

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD**  
**CATÓLICA**  
DEL PERÚ

**“APLICACIÓN DEL SISTEMA DE ENCOFRADO AUTOTREPANTE Y ANÁLISIS  
COMPARATIVO DE LA PRODUCTIVIDAD CON EL SISTEMA DE ENCOFRADO  
METÁLICO CONVENCIONAL EN EDIFICACIONES DE GRAN ALTURA”**

**Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, que presentan los bachilleres:**

**CHUNGA ZAÑA, JAHIR ROMÁN**  
**RAMIREZ TAFUR, KEVIN PAOLO**

**ASESOR: ING. BRAGAGNINI RODRIGUEZ, IVAN ENRIQUE**

**Lima, abril del 2019.**



A nuestros padres, madres y hermanos,  
por apoyarnos a lo largo de nuestra  
vida, de nuestra formación académica y  
ser mejores personas cada día.

*Jahir Roman Chunga Zaña y  
Kevin Paolo Ramírez Tafur*

## **AGRADECIMIENTOS**

A nuestro Señor Jesucristo ya que él está siempre con nosotros sin falta, ya sea en los buenos o en los malos momentos.

A nuestro asesor Iván Enrique Bragagnini Rodríguez por tener la buena disposición de asesorarnos con el buen desarrollo de la presente tesis.

Al Ingeniero Juan Franco, ingeniero de Métodos Constructivos de la empresa COSAPI, por tener la buena disposición de apoyarnos en la recopilación de información sobre la construcción de la Nueva Sede del Banco de la Nación, importante para nuestro tema de tesis.

Al Ingeniero Omar Ramos Munayco, responsable de ingeniería de DOKA Perú, por tener la buena disposición de poder explicarnos a más detalle el trabajo que DOKA desempeño en la construcción de la Nueva Sede del Banco de la Nación y su labor como proveedor para con la empresa constructora COSAPI.

A nuestra alma máter, la Pontificia Universidad Católica del Perú, por brindarnos los conocimientos de la Especialidad de Ingeniería Civil para aplicarlos en el presente trabajo y en nuestra futura labor profesional.

## RESUMEN

La finalidad principal del presente trabajo es la investigación del uso del Sistema de encofrado Autotrepante visto como una solución moderna en los procesos constructivos de edificaciones de gran altura. Para ello, primero se hizo una recopilación de información y segundo se desarrolló una comparación técnica y económica adecuada entre el Sistema Autotrepante y los encofrados metálicos convencionales. Se recopiló información de libros e internet, se programó visitas a empresas proveedoras y empresas constructoras en cuyas obras se empleó dichos sistemas de encofrados, obteniendo así características tales como rendimientos, datos de productividad, procesos constructivos, ventajas y desventajas. Además, se analizó la productividad que dichos sistemas pueden tener en el desarrollo de una obra de construcción. De esta manera, se completó la información necesaria para la realización de este proyecto, todo ello, con la finalidad de que ésta investigación pueda ser útil y tomada en cuenta para la construcción de futuras edificaciones.

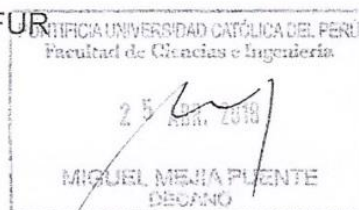
El empleo del Sistema de Encofrado Autotrepante es recomendable para edificaciones de gran altura y está conformado por varias plataformas de trabajo y de un molde de encofrado que varía entre los 2.4 m y 6 m de altura. Éste sistema se apoya sobre los muros de concreto ya construidos una vez que hayan alcanzado una resistencia mínima adecuada ( $150\text{kg/cm}^2$ ) y está sujetos a ellos por medio de anclajes, los cuales se encuentran embebidos en el concreto. Este tipo de sistema se caracteriza por el desplazamiento vertical automático por medio del accionar de gatos hidráulicos que trepan sobre rieles de nivel a nivel.

El Sistema de Encofrado Autotrepante permite mejorar la rapidez del proceso de construcción en comparación con los encofrados metálicos convencionales o tradicionales. A pesar de que su costo resulta ser mayor en comparación con el encofrado convencional, su mayor velocidad y la calidad que se adquiere compensa el costo de construcción.

Por lo tanto, es importante hacer un análisis de ambos Sistemas de Encofrado, ya que los dos brindan rapidez y calidad en el proceso de construcción. No obstante, existen ventajas y desventajas respecto uno del otro relacionadas con factores como lo son la seguridad, la complejidad del uso y la mano de obra, los cuales resultan ser puntos claves para determinar el tipo de encofrado a utilizar en determinado proyecto de construcción.

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Título : "Aplicación del sistema de encofrado autotrepante y análisis comparativo de la productividad con el sistema de encofrado metálico convencional en edificaciones de gran altura"  
Área : Construcción y Gestión  
Asesor : Ing. Iván Enrique Bragagnini Rodríguez  
Alumno : JAHIR ROMAN CHUNGA ZAÑA  
Código : 2010.1679.412  
Alumno : KEVIN PAOLO RAMIREZ TAFUR  
Código : 2010.1884.412  
Tema N° : # 303  
Fecha : Lima 17 de abril de 2018



INTRODUCCIÓN:

El trabajo de esta tesis es la investigación del uso de los encofrados autotrepantes, como solución para edificaciones de gran altura.

En el Perú su empleo es reciente, de poco uso y no tiene la difusión que debiera.

Para la investigación se recopilará información de libros, revistas técnicas, internet y visita a obras, donde se esté usando encofrados autotrepantes, y a las empresas proveedoras.

En obra obtener información de las características técnicas, proceso constructivo, tipos de encofrados autotrepantes, rendimientos, productividad, ventajas y desventajas.

Esta información in situ es de gran importancia para determinar sus costos y comparar con otros encofrados convencionales.

Actualmente en el país se construye una variedad de estructuras de gran altura, el investigar el sistema de encofrado autotrepante o sistema de encofrado ATR; el cual es un tipo de molde o plataforma que trepa de manera continua mediante el impulso de gatos hidráulicos y mecánicos.

El sistema da buenas ventajas respecto a los encofrados metálicos convencionales, se requiere poco apoyo de la torre grúa, adaptabilidad a geometrías complejas, mejor rendimiento (por mayor velocidad en el proceso de encofrado y desencofrado).

El encofrado autotrepante consiste en un molde de altura variable desde 2.40 metros a 6.0 metros, el cual va apoyado sobre muros construidos y sujeto con anclaje embebidos en el concreto.

Este trabajo investigará también beneficios de este sistema.

Existen proyectos ya aprobados de edificaciones de gran altura entre 91 y 210 metros, algunos de ellos se está publicitando como Rascacielo llamado Torre Rímac de 208 metros de altura y un proyecto habitacional Lux en el distrito de Lince de 91 metros de altura.

62

i



Es por ello que resulta importante estudiar la ampliación del sistema, analizando y comparando la productividad con otros sistemas.

El trabajo de esta investigación servirá de consulta a ingenieros civiles, especialmente a los consultores.

#### OBJETIVO:

- **Objetivo General**  
Estudiar el empleo o uso del Sistema de Encofrado Autotrepante (ATR) presentándolo como una solución técnica moderna, la cual brinda mayores beneficios que el Sistema Metálico Convencional, analizando y evaluando el aporte que tienen ellos en el aumento de la productividad y calidad en la construcción de edificaciones de gran altura.
- **Objetivos Específicos**
  - Estudiar y conocer los conceptos que involucra la aplicación del sistema ATR, tales como los componentes que lo conforman, su procedimiento constructivo, ventajas y desventajas entre otros.
  - Analizar y comparar los rendimientos y costos principalmente que involucran el uso del Sistema Autotrepante ATR y el Sistema de Encofrado Metálico Convencional.
  - Dar a conocer la aplicación que viene teniendo el Sistema ATR en la construcción de edificaciones de gran altura en el país.

#### DEFINICION DEL TIPO DE PROYECTO:

El presente tema de tesis se clasifica como un proyecto de investigación, ya que pretende demostrar una hipótesis planteada basada en el conocimiento de hechos reales acerca del tema propuesto.

#### HIPÓTESIS:

El Sistema de Encofrado Autotrepante ATR brinda mayores beneficios que el empleo del Sistema de Encofrado Metálico Convencional generando mayores ahorros de tiempo, costo y mejores rendimientos en la construcción de edificaciones de gran altura.

#### PLAN DE TESIS:

##### Generalidades:

- Resumen
- Introducción
- Objetivo general
- Objetivos específicos
- Definición del tipo de proyecto
- Hipótesis
- Alcance y justificación del proyecto
- Metodología

Estado del Arte:

- Sistema de Encofrado Metálico:
  - Encofrados verticales
  - Componentes
  - Problemas recurrentes en el empleo de encofrado metálico.
  - Empresas de encofrados metálicos en el Perú
  
- Sistema de Encofrado Autotrepante:
  - Encofrado
  - Elementos de conexión
  - Cilindros y bombas hidráulicas
  - Rieles
  - Plataformas de trabajo
  
- Tipos de sistemas:
  - Consola autotrepante ATR- B
  - Consola estrecha autotrepante ATR-N
  - Plataforma autotrepante ATR – P
  
- Encofrado autotrepante SKE 50 Plus:
  - Partes del sistema
  - Mecanismo de trepado
  
- Sistema de izado del sistema autotrepante ATR
  
- Sistema de anclaje del sistema autotrepante
  
- Sistema Hidráulico
  - Grupo Hidráulico RL
  - Grupo Hidráulico RL – K
  
- Control remoto SK
  
- Problemas recurrentes en el empleo del sistema de encofrado autotrepante
  - Factores de riesgo
  - Requisitos de seguridad
  - Consideraciones generales del sistema
  
- Sistema de encofrado deslizante
  - Antecedentes generales del sistema de encofrados deslizantes
  - Descripción del sistema
  - Componentes del sistema
  - Proceso constructivo
  - Problemas frecuentes de su uso
  - Ventajas y desventajas

AE

62

Q

Procedimientos Constructivos del Sistema Autotrepante: (ATR)

- Ejecución de trabajos previos
  - Replanteo de la construcción
  - Colocación del concreto en los cimientos
  - Preparación de la armadura
  - Preparación de los puntos de posicionado y de los puntos de suspensión
- Etapas de duración del vaciado de concreto
  - Fases del trepado
  - Fases estándar

Aplicaciones diversas del sistema de encofrados autotrepante, ventajas y desventajas:

- Aplicación del encofrados autotrepantes
  - Estructura de edificaciones
  - Estructuras hidráulicas, mineras y de fabrica
  - Construcciones industriales (Silos, depósitos, cisternas y torres industriales)
  - Torres elevadas
- Ventajas del empleo de encofrados autotrepantes
- Desventajas del empleo de los encofrados autotrepantes

Productividad entre el sistema de encofrado autotrepante y el sistema de encofrado metálico convencional

- Sistema de encofrado autotrepante
- Sistema de encofrado metálico convencional



Discusión de los resultados

Comentarios y Conclusiones

Bibliografía y anexos

NOTA

Extensión máxima: 100 páginas



# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS .....	VIII
INDICE DE TABLAS: .....	X
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	1
<b>1.- GENERALIDADES</b> .....	1
1.1.- INTRODUCCIÓN.....	1
1.2.- OBJETIVO:.....	2
1.2.1.- OBJETIVO GENERAL.....	2
1.2.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	2
1.3.- DEFINICIÓN DEL TIPO DE PROYECTO.....	2
1.4.- HIPÓTESIS .....	2
1.5.- ALCANCE DEL PROYECTO.....	2
1.6.- JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	3
1.7.- METODOLOGÍA.....	4
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	5
<b>2. ESTADO DEL ARTE</b> .....	5
2.1 SISTEMA DE ENCOFRADO METÁLICO .....	6
2.1.1 ENCOFRADOS VERTICALES.....	9
2.1.2 COMPONENTES.....	9
2.1.3 POSIBLES PROBLEMAS EN EL EMPLEO DEL SISTEMA DE ENCOFRADO METÁLICO.....	11
2.1.4 EMPRESAS DE ENCOFRADOS METÁLICOS EN EL PERÚ.....	12
2.2 SISTEMAS DE ENCOFRADO AUTOTREPANTE .....	12
1. Encofrado: .....	14
2. Elementos de conexión: .....	14
3. Cilindros y Bombas Hidráulicas:.....	14
4. Rieles: .....	15
5. Plataformas de trabajo:.....	15
2.2.1 TIPOS DE SISTEMAS .....	16
2.2.1.1 CONSOLA AUTOTREPANTE ATR-B.....	16
2.2.1.2 CONSOLA ESTRECHA AUTOTREPANTE ATR-N.....	17
2.2.1.3 PLATAFORMA AUTOTREPANTE ATR-P.....	18
2.2.2 PLATAFORMA SCP .....	18
2.2.3 ENCOFRADO AUTOTREPANTE SKE 50 PLUS .....	20
2.2.3.1 Partes del Sistema de Encofrado Autotrepante SKE 50 Plus.....	22

2.2.3.2 Mecanismo de Trepado SKE 50 .....	23
2.2.4 SISTEMA DE IZADO DEL SISTEMA AUTOTREPANTE ATR .....	25
2.2.5 SISTEMA DE ANCLAJE DEL SISTEMA AUTOTREPANTE .....	26
2.2.6 SISTEMA HIDRÁULICO.....	28
<b>Grupo Hidráulico RL:</b> .....	28
<b>Grupo Hidráulico RL-K:</b> .....	28
<b>CONTROL REMOTO SK</b> .....	29
2.2.7 POSIBLES PROBLEMAS EN EL EMPLEO DEL SISTEMA DE ENCOFRADO AUTOTREPANTE .....	29
2.2.8 PROCEDIMIENTOS SEGUROS EN EL SISTEMA ENCOFRADO AUTOTREPANTE ATR .....	31
2.2.8.1 FACTORES DE RIESGO.....	31
2.2.8.2 REQUISITOS DE SEGURIDAD DEL PROPIO SISTEMA. ....	32
2.2.9. CONSIDERACIONES GENERALES DEL SISTEMA.....	37
2.2.10 EMPRESAS PROVEEDORAS DE ENCOFRADO AUTOTREPANTE .....	41
2.2.10.1 ULMA ENCOFRADOS PERU .....	41
2.2.10.2 DOKA ENCOFRADOS PERU .....	46
2.3    MESAS VOLADORAS .....	47
2.4 SISTEMA DE ENCOFRADO DESLIZANTE .....	50
2.4.1 ANTECEDENTES GENERALES DEL SISTEMA DE ENCOFRADO DESLIZANTE.....	50
2.4.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DESLIZANTE.....	51
2.4.3 COMPONENTES DEL SISTEMA DESLIZANTE. ....	52
2.4.4 PROCESO CONSTRUCTIVO .....	54
2.4.5 POSIBLES PROBLEMAS EN EL USO DE SISTEMAS DESLIZANTES..	55
2.4.6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS ENCOFRADOS DESLIZANTES .....	57
2.4.6.1 VENTAJAS.....	57
2.4.6.2 DESVENTAJAS.....	58
2.4.7 CONTROL Y CUIDADOS ESPECIALES EN EL USO DE ENCOFRADOS DESLIZANTES. ....	59
<b>3.- PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL SISTEMA AUTOTREPANTE (ATR)</b> .....	62
3.1. EJECUCIÓN DE TRABAJOS PREVIOS .....	62
3.1.1. REPLANTEO DE LA CONSTRUCCIÓN .....	62
3.1.2. COLOCACIÓN DEL CONCRETO EN LOS CIMIENTOS .....	62
3.1.3. PREPARACIÓN DE LA ARMADURA.....	62

3.1.4. PREPARACIÓN DE LOS PUNTOS DE POSICIONADO Y DE LOS PUNTOS DE SUSPENSIÓN .....	63
<b>PUNTO DE POSICIONADO CON TORNILLO DE CONO B 7CM (CON PERFORACIÓN DE LA SUPERFICIE DE ENCOFRADO)</b> .....	63
<b>SOPORTES DE SUSPENSIÓN</b> .....	64
Soporte de Suspensión SKE 50 rígido .....	64
<b>PUNTO DE SUSPENSIÓN</b> .....	65
3.2. ETAPAS DURANTE EL VACIADO DE CONCRETO .....	66
3.2.1. FASES DE TREPADO.....	66
<b>Fases Iniciales del Sistema Autotrepante SKE 50</b> .....	66
Vaciado de la 1ra capa .....	66
Vaciado de la segunda capa.....	67
Primer Trepado Hidráulico .....	67
Vaciado de concreto de la 3° capa: .....	67
<b>Fases estándar</b> .....	68
Trepado.....	68
Vaciado de Concreto.....	68
<b>4.- APLICACIONES DIVERSAS DEL SISTEMA DE ENCOFRADO AUTOTREPANTE, VENTAJAS Y DESVENTAJAS.</b> .....	70
4.1. APLICACIÓN DE LOS ENCOFRADOS AUTOTREPANTES.....	70
4.1.1 ESTRUCTURAS DE EDIFICACIONES.....	70
4.1.2 ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS, MINERAS Y DE FÁBRICA.....	71
4.1.3 CONSTRUCCIONES INDUSTRIALES .....	71
• Silos.....	71
• Torres industriales .....	72
• Muros y pilares de edificios industriales .....	72
Construcciones de gran altura y sección constante. ....	72
4.1.4 TORRES ELEVADAS.....	72
4.2.- VENTAJAS DEL EMPLEO DE LOS ENCOFRADOS AUTOTREPANTES...72	
4.3.- DESVENTAJAS DEL EMPLEO DE LOS ENCOFRADOS AUTOTREPANTES.....	74
<b>5. PRODUCTIVIDAD ENTRE EL SISTEMA DE ENCOFRADO AUTOTREPANTE Y EL SISTEMA DE ENCOFRADO METÁLICO CONVENCIONAL.</b> .....	75
5.1 SISTEMA DE ENCOFRADO AUTOTREPANTE.....	80
5.2 SISTEMA DE ENCOFRADO METÁLICO CONVENCIONAL.....	84
<b>6. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.</b> .....	89
<b>7. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES.</b> .....	93

BIBLIOGRAFÍA:.....	97
GLOSARIO: .....	99

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2. 1 Encofrado de una Cara (ALSINA, s.f.) .....	7
Fig. 2. 2 Encofrado a dos caras (MAQUIBAÑEZ S.L., s.f.) .....	7
Fig. 2. 3 Encofrado en Vigas (EFCO, s.f.) .....	7
Fig. 2. 4 Encofrado en Columnas (Metal Machine Ecuador, s.f.) .....	8
Fig. 2. 5 Encofrado en Losas (NOPIN ALAVESA S.A., s.f.) .....	8
Fig. 2. 6 Encofrado en Metálicos (Alva Yosep, 2014) .....	9
Fig. 2. 7 Paneles (Alva Yosep, 2014) .....	9
Fig. 2. 8 Grapas (Alva Yosep, 2014) .....	10
Fig. 2. 9 Ganchos de Izado (Alva Yosep, 2014) .....	10
Fig. 2. 10 Ménsula/ Consola de Trabajo (ULMA CONSTRUCCION, s.f.).....	10
Fig. 2. 11 Típico Sistema de Encofrado Autotrepante para la Construcción de un Muro Central (ULMA CONSTRUCCION, s.f.) .....	13
Fig. 2. 12 Componentes básicos de un Sistema de Encofrado Autotrepante Típico (ULMA CONSTRUCCION, s.f.) .....	15
Fig. 2. 13 (A) Sistema Encofrado Autotrepante Horizontal. (B) Sistema Encofrado Autotrepante Inclinado. (C) Sistema de Encofrado Autotrepante Vertical (Ramesh Kannan. M, 2013).....	16
Fig. 2. 14 Típica Consola Autotrepante ATR-B (ULMA CONSTRUCCION, s.f.).....	17
Fig. 2. 15 Componentes Consola Autotrepante ATR-B (ULMA CONSTRUCCION, s.f.) .....	17
Fig. 2. 16 (A) Típica Consola Autotrepante ATR-N. (B) Componentes Consola Autotrepante ATR-N (ULMA CONSTRUCCION, s.f.).....	17
Fig. 2. 17 Plataforma Autotrepante ATR-P (ULMA CONSTRUCCION, s.f.).....	18
Fig. 2. 18 Vista en planta de plataforma SCP nivel 0 y nivel +1 (DOKA, 2016) .....	19
Fig. 2. 19 Plataforma SCP (DOKA, 2016) .....	19
Fig. 2. 20 Desplazamiento de la Plataforma SCP (DOKA, 2016) .....	20
Fig. 2. 21 Núcleo de Trepado por Adelantado (DOKA, 2016) .....	20
Fig. 2. 22 Vista en planta de Sistema SKE 50 nivel 0 y nivel +1 (DOKA, 2016) .....	20
Fig. 2. 23 Estructura general del Encofrado Autotrepante SKE 50 Plus (Doka Perú SAC, 2008) .....	21
Fig. 2. 24 Seguridad Sistema ATR cubiertas en todo su perímetro (CosapiOficial, 2015) .....	21
Fig. 2. 25 Amplias áreas de trabajo cubiertas en todo su perímetro (Doka Perú SAC, 2008) .....	22
Fig. 2. 26 Sistema de Encofrado Autotrepante SKE 50 Plus (Doka Perú SAC, 2008) .....	22
Fig. 2. 27 Mecanismo de Trepado SKE 50 (Doka Perú SAC, 2008) .....	23
Fig. 2. 28 Cargas Admisibles del Sistema SKE 50 (Doka Perú SAC, 2008) .....	24
Fig. 2. 29 Fuerzas en las reacciones (Doka Perú SAC, 2008) .....	25
Fig. 2. 30 Secuencia de Izado del Sistema Autotrepante ATR (ULMA CONSTRUCCION, 2011) .....	25
Fig. 2. 31 Elementos que lo conforman el Sistema de Anclaje (Doka Perú SAC, 2008) .....	26
Fig. 2. 32 Piezas del Sistema de Anclaje con anclaje muerto o con anclaje cola de cochino (Doka Perú SAC, 2008) .....	26
Fig. 2. 33 Protección de la superficie del encofrado (Doka Perú SAC, 2008) .....	27

Fig. 2. 34 Punto de posicionado con disco posicionador (Doka Perú SAC, 2008) .....	28
Fig. 2. 35 (A) Grupo hidráulico RL. (B) Grupo hidráulico RL-K. Ambos equipos son suministrados a la obra lista para su funcionamiento. (Doka Perú SAC, 2008) .....	29
Fig. 2. 36 Partes que conforman el Control Remoto SK (Doka Perú SAC, 2008) .....	29
Fig. 2. 37 Piezas de anclaje del Sistema Autotrepante ATR. (Doka Perú SAC, 2008) .....	33
Fig. 2. 38 Mal colocación de los puntos de suspensión del Sistema ATR. (Doka Perú SAC, 2008) .....	34
Fig. 2. 39 Vista en planta de anclajes del Sistema ATR. (Doka Perú SAC, 2008) .....	34
Fig. 2. 40 Desviación en el Sistema de Anclaje. Se puede observar el retraimiento del cono y pérdida de ortogonalidad con el muro (Guardiola Crespo, 2015) .....	35
Fig. 2. 41 Núcleo de ascensores – Proyecto Torre Javier Prado (ULMA CONSTRUCCION, s.f.) .....	42
Fig. 2. 42 Sistema Autotrepante Torre Javier Prado (ULMA CONSTRUCCION, 2011) .....	42
Fig. 2. 43 Factura Sistema Autotrepante – Torre Javier Prado (ULMA CONSTRUCCION, 2011) .....	43
Fig. 2. 44 Factura Sistema Autotrepante – Torre Javier Prado (ULMA CONSTRUCCION, 2011) .....	44
Fig. 2. 45 Dokamatic Table (DOKA, 2016) .....	48
Fig. 2. 46 TLS (Table Lifting System) (DOKA, 2016) .....	49
Fig. 2. 47 Dokart Plus y Dokamatic Table – Edificio Banco de la Nación (DOKA, 2016) .....	49
Fig. 2. 48 Protección Perimetral X-Climb60 (DOKA, 2016) .....	49
Fig. 2. 49 Aplicación del Sistema de Encofrados Deslizantes en Silo Yura –Arequipa (Pinao Elera, 2011) .....	51
Fig. 2. 50 Elementos que conforman el Sistema de Encofrado Deslizante (Besomi Molina, 2009) .....	53
Fig. 3. 1 Punto de posicionado con tornillo de cono B 7cm (Doka Perú SAC, 2008) .....	64
Fig. 3. 2 Soporte de Suspensión SKE 50 rígido (Doka Perú SAC, 2008) .....	64
Fig. 3. 3 Punto de Suspensión SKE 50 rígido (Doka Perú SAC, 2008) .....	65
Fig. 3. 4 Forma de uso del tornillo de cono B 7 cm (Doka Perú SAC, 2008) .....	65
Fig. 3. 5 Vaciado de la 1° capa (Doka Perú SAC, 2008) .....	67
Fig. 3. 6 Vaciado de la 2° capa (Doka Perú SAC, 2008) .....	67
Fig. 3. 7 Primer trepado hidráulico (Doka Perú SAC, 2008) .....	67
Fig. 3. 8 Vaciado de concreto de la 3° capa (Doka Perú SAC, 2008) .....	68
Fig. 3. 9 Trepado (Doka Perú SAC, 2008) .....	68
Fig. 3. 10 Vaciado de Concreto (Doka Perú SAC, 2008) .....	69
Fig. 3. 11 Proceso constructivo de trepado (Doka Perú SAC, 2008) .....	69
Fig. 4. 1 Sistema ATR en núcleo de estructuras de edificaciones (CosapiOficial, 2015) .....	70
Fig. 4. 2 Sistema ATR en ejecución de pilas (ULMA CONSTRUCCION, s.f.) .....	71
Fig. 4. 3 Sistema ATR en silos (PERI, s.f.) .....	72
Fig. 4. 4 Empleo del Sistema ATR en núcleos con geometría irregular (ULMA CONSTRUCCION, 2011) .....	72
Fig. 4. 5 Seguridad Perimetral en Sistema Autotrepante (CosapiOficial, 2015) .....	73
Fig. 5. 1 Placas del Núcleo de ascensores del Edificio del Banco de la Nación (CosapiOficial, 2015) .....	76

Fig. 5. 2 Vista Planta del Sistema ATR y Núcleo de ascensores-Edificio Banco de la Nación (CosapiOficial, 2015) .....	76
Fig. 5. 3 Elevación del Sistema ATR en Núcleo de ascensores-Edificio Banco de la Nación (CosapiOficial, 2015) .....	77
Fig. 5. 4 Plano de Arquitectura – Núcleo de Ascensores – Edificio Banco de la Nación (CosapiOficial, 2015) .....	78
Fig. 5. 5 Análisis de precios Unitarios para Encofrado en Placas (CosapiOficial, 2015) .....	81
Fig. 5. 6 Análisis de precios Unitarios para Encofrado en Placas (en superestructura) (CosapiOficial, 2015) .....	87
Fig. 6. 1 Gráfico “Altura vs Costo” para cada Sistema de Encofrado. ....	90
Fig. 6. 2 Sistema de Encofrado Autotrepante- Edificio Banco de la Nación (CosapiOficial, 2015).....	92
Fig. 6. 3 Sistema de Encofrado Metálico Convencional- Edificio Banco de la Nación (CosapiOficial, 2015) .....	92

## INDICE DE TABLAS:

Tabla 2. 1 Precios de alquiler de productos – Sistema ATR .....	45
Tabla 2. 2 Comparación de precios entre SKE50 + SKE100, SCP + SKE50 y PERI ASC.....	46
Tabla 5. 1 Área de muros a considerar para cada altura.....	79
Tabla 5. 2 Plazos de moldajes autotrepante .....	80
Tabla 5. 3 N° de hombres para cumplir los plazos.....	80
Tabla 5. 4 Costo de encofrados autotrepantes .....	81
Tabla 5. 5 Gastos Generales de los encofrados autotrepantes h=36m .....	82
Tabla 5. 6 Gastos Generales de los Encofrados Autotrepantes h=132m .....	83
Tabla 5. 7 Plazos de encofrados metálicos .....	84
Tabla 5. 8 Número de hombres para cumplir los plazos .....	84
Tabla 5. 9 Costo de encofrados metálicos.....	85
Tabla 5. 10 Gastos generales de los encofrados tradicionales h=36m .....	85
Tabla 5. 11 Gastos Generales de los encofrados tradicionales h=132m .....	86
Tabla 6. 1 Cuadro comparativo de costos para las alturas estudiadas: Sistema ATR vs Sistema Metálico Convencional .....	89

# CAPÍTULO 1

## 1.- GENERALIDADES

### 1.1.- INTRODUCCIÓN

Con el pasar de los años, diferentes técnicas de construcción han venido apareciendo como resultado a una necesidad de mejoras en la productividad, calidad y seguridad de las obras a construir. El desarrollo urbano e industrial ha conllevado a que el incremento de las construcciones sea cada vez mayor. Además, factores como el plazo y costo de un proyecto se han convertido en índices importantes cada vez que se analiza la productividad de un proyecto. Es por ello que, después de un proceso de desarrollo industrial, el Sistema de Encofrado Autotrepante ATR hace su aparición en el sector construcción, trayendo consigo mayores beneficios en la productividad, calidad y seguridad.

Actualmente en el Perú, se viene construyendo gran variedad de estructuras de gran altura, entre las cuales, los proyectos de edificaciones son los que más predominan en el sector urbano. El Sistema de Encofrado Autotrepante o Sistema de Encofrado ATR es un sistema que asciende de manera pareja mediante el impulso de gatos hidráulicos y mecánicos. Este accionar permite que el Sistema ATR cuente con ciertas ventajas respecto a los encofrados metálicos convencionales tales como su versatilidad, autonomía casi total respecto a la torre grúa, adaptabilidad a geometrías complejas, entre otras. Como consecuencia de ello, los costos y rendimientos en una construcción de gran altura resultan ser más beneficiosos haciendo que el Sistema de Encofrado ATR se convierta en una tecnología moderna, eficiente, segura y de alta productividad.

Si bien es cierto, el encofrado metálico ha prevalecido con mayor uso en el sector construcción durante los últimos 15 años y ha traído consigo mejoras en los procesos de encofrado; para proyectos de gran altura, el uso del Sistema Autotrepante (ATR) puede resultar más eficiente y seguro por las ventajas mencionadas líneas arriba.

El Perú se encuentra en un desarrollo urbano constante y Lima sigue creciendo verticalmente. Además, se sabe que, en los próximos dos años, se estarán construyendo más edificios de gran altura que oscilarán entre los 91 y 200 metros.

Es por ello, que resulta importante estudiar la aplicación del Sistema de Encofrado ATR analizando sus beneficios y mejoras en la productividad que trae consigo. El Sistema de Encofrado ATR resulta ser una tecnología moderna, eficiente y segura y su empleo en las construcciones del país puede generar un gran avance en el Sector Construcción.

## 1.2.- OBJETIVO:

### 1.2.1.- OBJETIVO GENERAL

Estudiar el empleo o uso del Sistema de Encofrado Autotrepante (ATR) presentándolo como una solución técnica moderna, la cual brinda mayores beneficios que el Sistema de Encofrado Metálico Convencional, analizando y evaluando el aporte que tiene en el aumento de la productividad, calidad y seguridad en la construcción de edificaciones de gran altura.

### 1.2.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar y conocer los conceptos que involucra la aplicación del Sistema ATR tales como los componentes que lo conforman, su procedimiento constructivo, ventajas y desventajas, entre otros
- Analizar y comparar los rendimientos y costos que involucran el uso del Sistema Autotrepante (ATR) y el Sistema de Encofrado Metálico convencional
- Dar a conocer la aplicación que viene teniendo el Sistema ATR en la construcción de edificaciones de gran altura en el país

## 1.3.- DEFINICIÓN DEL TIPO DE PROYECTO

El presente tema de tesis se clasifica como un PROYECTO DE INVESTIGACIÓN, ya que pretende demostrar una Hipótesis planteada basada en el conocimiento de hechos reales acerca del tema propuesto. Esta hipótesis es presentada a continuación.

## 1.4.- HIPÓTESIS

El Sistema de Encofrado Autotrepante brinda mayores beneficios que el empleo del Sistema de Encofrado Metálico Convencional generando mayores ahorros de tiempo, costo y mejores rendimientos en la construcción de edificaciones de gran altura.

## 1.5.- ALCANCE DEL PROYECTO

El presente proyecto de Tesis pretende, en primera instancia, explicar la definición del Sistema de Encofrado Autotrepante (ATR) dando una descripción detallada del Sistema y estudiando las partes que lo conforman.

A continuación, se explicará el proceso constructivo del Sistema ATR: trabajos previos a realizar, armado y montaje del encofrado, tolerancias admisibles, proceso post vaciado etc. Además, se analizará y comparará la productividad del Sistema ATR frente al Sistema de Encofrado Metálico de una construcción de edificación de gran altura en una obra específica evaluando costos, rendimientos, ente otros.

Seguidamente, se explicará las ventajas, desventajas, condiciones de uso que presenta el Sistema ATR frente al sistema de encofrado metálico, muy difundido en el Perú.

Finalmente, se darán conclusiones y pautas acerca del empleo del Sistema ATR en la construcción de edificaciones de gran altura, presentándolo como una solución moderna que permite mayor velocidad en la construcción, mejor nivel de calidad y seguridad, mejoras en los índices de productividad, entre otros.

#### 1.6.- JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El Sistema de Encofrado Autotrepante ha sido utilizado principalmente en Europa y Norteamérica para la construcción de estructuras verticales de gran altura, en las cuales su empleo ha resultado ser bastante eficiente generando mayores beneficios en la construcción. Con el Sistema Encofrado ATR, se puede minimizar el uso de grúas y reducir el número de personal durante la ejecución de obra generando un aumento de la productividad y haciendo que el proceso constructivo sea más seguro.

Hoy en día, el Sistema ATR se ha empleado en ciertas construcciones del Perú. Un ejemplo claro, en el empleo de este tipo de encofrado, es la construcción del edificio de la nueva sede del Banco de La Nación a cargo de la empresa COSAPI S.A. con 140 m de altura, obteniendo un récord de construcción de un piso cada 6 días.

En el Perú, en el transcurso de los próximos dos años, se estrenarán 5 proyectos de edificaciones entre los 91 y 210 metros de altura; por ejemplo, entre los que más resaltan se encuentra el próximo rascacielos llamado EDIFICIO MET de 100 m de alto o el proyecto Torre RIMAC en San Isidro de 208 m de altura. No cabe duda que Lima sigue creciendo verticalmente y el empleo de este Sistema moderno de Encofrado (ATR) traería beneficios en el ahorro de tiempo y costo en la construcción de las estructuras mencionadas. Es éste el motivo por el cual se desarrollará el presente proyecto de investigación, ya que se considera que ayudará de manera importante en la construcción de las futuras edificaciones verticales de gran altura en el país. (CONSTRUCTIVO, 2016).

### 1.7.- METODOLOGÍA

Para la presente investigación, se seguirá la siguiente metodología:

- Búsqueda y obtención de información de antecedentes para cada tipo de sistemas de encofrados.
- Visita a empresas proveedoras de encofrados con la finalidad de obtener asesoría sobre los precios de venta y arriendo.
- Obtención de los rendimientos de cada sistema de encofrado, a partir de la experiencia e información recopilada.
- Realizar una comparación y estimación económica entre el Sistema Metálico Convencional y el Sistema de Encofrado Autotrepante.



## CAPÍTULO 2

### 2. ESTADO DEL ARTE

El ritmo de evolución del encofrado ha sido lento hasta la época de la Edad Media, y es que, con la aparición de nuevos materiales y nuevos sistemas de fabricación, aparecen en el mercado industrial nuevos tipos de encofrados ofreciendo usos más prácticos, de mayor seguridad, durabilidad y de mejores costos.

Se conoce que los romanos usaban el concreto en grandes masas, lo que ha hecho que sea también el primer país propulsor de la construcción para el uso de encofrados, ya que son éstos los que reciben al concreto para su posterior proceso de fragua. A partir del siglo XIX, las construcciones con concreto habían crecido considerablemente y junto con ellas el uso de encofrados (verticales, horizontales, personalizados, etc.).

Los primeros tipos de encofrados fueron a base de madera como material primario; sin embargo, las estructuras obtenidas no eran tan eficientes, ya que los acabados en sus superficies eran toscos a consecuencia de la pérdida de material. Es por ello que la madera ha sido empleada cada vez más como un material suplementario. Posteriormente, con la inserción del material metálico para la fabricación de encofrados, se ha podido fabricar planchas con el fin de obtener estructuras con un acabado superior, de mejor durabilidad y menos porosidad. No obstante, el costo de producción aumenta, pero esto se minimiza en la construcción de estructuras posteriores debido a la reutilización del encofrado. Asimismo, el sistema de montaje también ha mejorado considerablemente, ya que se reduce el tiempo requerido por el operario a más de la mitad, además del número de trabajadores.

Los sistemas de encofrado se han ido desarrollando a medida que el sector construcción ha ido avanzando. Es así cómo, con el transcurrir de los años, la moderna idea del empleo de Sistemas de Encofrado Autotrepante (ATR) hace su aparición resolviendo una necesidad para la construcción de estructuras verticales de gran altura. Por ejemplo, para la construcción de edificaciones, el sistema de encofrado ATR resulta ser uno de los más eficientes ya que brinda mejores resultados en cuanto tiempo y costo. (Cid Ripollés, 2016).

Este moderno sistema consiste en una estructura movida por pistones hidráulicos, los cuales elevan en conjunto todo el sistema (plataformas y panel de encofrado) sin necesidad de desarmarlos y sin el uso de grúas para el izaje. Es así como el Sistema ATR brinda reducción en tiempos de entrega del proyecto, mayor seguridad al trabajar, mejor calidad en la superficie de las estructuras, entre otros. (CosapiOficial, 2015).

Aunque el método tradicional para la construcción de edificios de gran altura es económico, comparado con el sistema ATR, éste cuenta con mejores factores de tiempo, calidad, seguridad y sostenibilidad. Este Sistema es la mejor solución para satisfacer la necesidad de ahorro en tiempo y costos para edificaciones de gran altura, a la vez que satisface la gran demanda que está teniendo el rápido crecimiento de la población en forma vertical.

## 2.1 SISTEMA DE ENCOFRADO METÁLICO

El encofrado es un conjunto de elementos que sirve como molde para recibir a la masa del concreto y contenerlo hasta su total endurecimiento. Este molde ha sido elaborado de diferentes materiales tales como madera, metal, plástico, fibra, etc.

Como se mencionó anteriormente, los primeros encofrados a usar fueron los encofrados de madera. Sin embargo, con el avance de la tecnología, el proceso de industrialización de los materiales para los encofrados fue cambiando y mejorando, pues éstos que cada vez resultaban ser más económicos, resistentes y fáciles de usar.

Los encofrados metálicos comenzaron a aparecer con mayor fuerza a partir del año 2001. Este sistema de encofrado está compuesto por cierta cantidad de piezas rígidas, las cuales solo se ajustan a una forma exclusiva; es decir, solo sirven como molde a una sola forma en la que haya sido proyectada. Ello sería una desventaja contra los encofrados de madera, puesto que éstos sí se pueden utilizar para diversas formas (cortando, añadiendo más piezas, clavando, etc.). Sin embargo, la ventaja de los encofrados metálicos se resalta en la facilidad y rapidez tanto en la colocación como en el momento de retirarlos, además de su duración casi ilimitada, ya que su deterioro con el uso es poco. (CivilGeek, s.f.)

Los encofrados metálicos se suelen emplear para los siguientes procesos de construcción:

- Encofrado de muros a una cara: Utilizados para muros o pantallas con encofrado a una cara, se emplean frecuentemente contra los terrenos o taludes (Ver figura 2.1)



Fig. 2. 1 Encofrado de una Cara (ALSINA, s.f.)

- Encofrado de muros a dos caras: Como su mismo nombre lo indica, está orientado para la ejecución de muros con encofrado en las dos caras de la estructura. (Ver figura 2.2)



Fig. 2. 2 Encofrado a dos caras (MAQUIBAÑEZ S.L., s.f.)

- Encofrado en vigas. Ver Figura 2.3



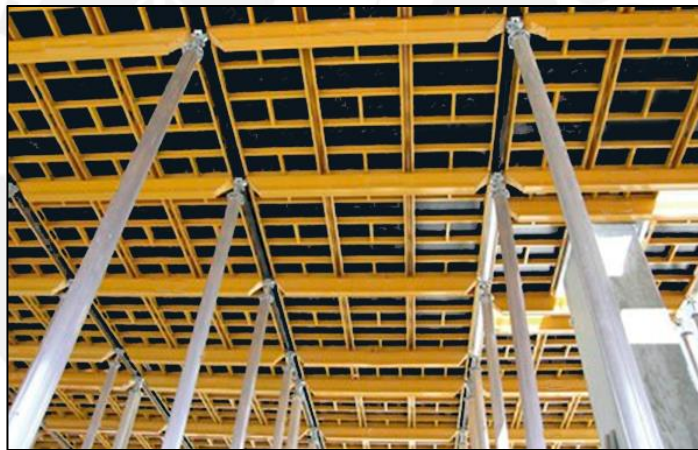
Fig. 2. 3 Encofrado en Vigas (EFCO, s.f.)

- Encofrado en columnas, ver figura 2.4



*Fig. 2. 4 Encofrado en Columnas (Metal Machine Ecuador, s.f.)*

- Encofrado de losas, ver figura 2.5  
(Tamborero del pino, 2009)



*Fig. 2. 5 Encofrado en Losas (NOPIN ALAVESA S.A., s.f.)*

Los encofrados metálicos son adquiridos por medio de empresas proveedoras especializadas y son seleccionados por el sistema comercial que mejor se adapte a las necesidades o procesos de los trabajos previstos (ver figura 2.6). Aquellos encofrados son utilizados para los levantamientos de pilares, muros, pantallas, entre otros, ver figura 2.6. (Alva Yosep, 2014)

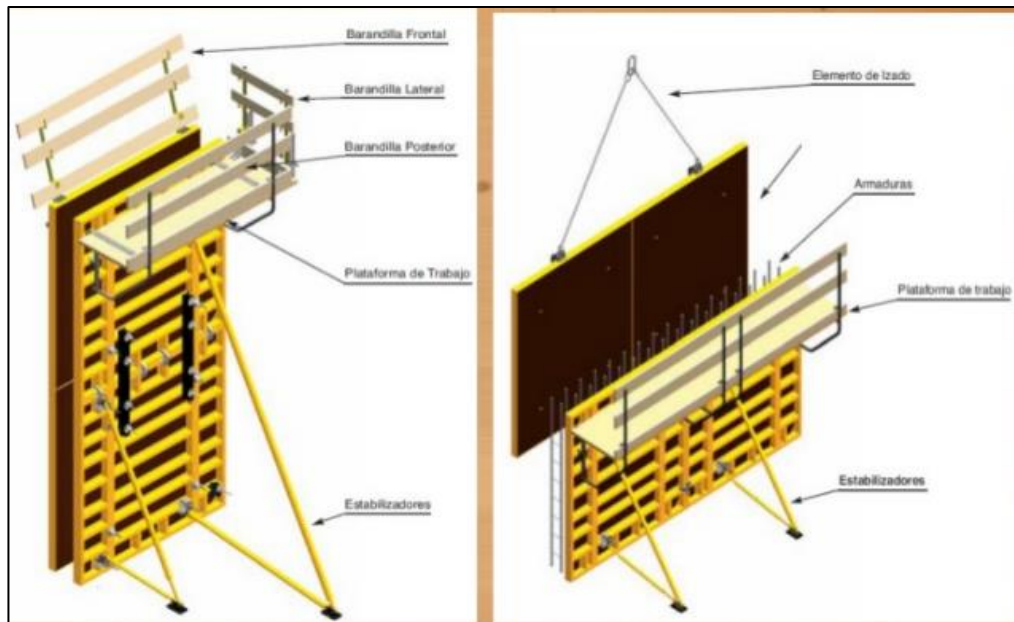


Fig. 2. 6 Encofrado en Metálicos (Alva Yosep, 2014)

### 2.1.1 ENCOFRADOS VERTICALES

Los encofrados verticales son aquellos encofrados utilizados para la construcción de muros (a una cara y a dos caras) y columnas, donde los más empleados son los módulos prefabricados, ya que ofrecen un menor costo y mejor rendimiento comparado con los encofrados tradicionales (madera). Antes de escoger un sistema de encofrado, se debe establecer todas las dimensiones según el proyecto, el acabado final, la mano de obra especializada, las maquinarias y grúas, y no olvidar las condiciones del clima de la región del proyecto. (Alva Yosep, 2014)

### 2.1.2 COMPONENTES

Como principales componentes, se encuentran los siguientes:

- Paneles: O bien son modulares o bien de forma, ver figura 2.7

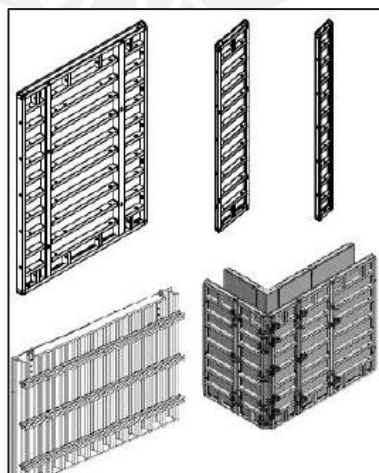


Fig. 2. 7 Paneles (Alva Yosep, 2014)

- Grapas: Usado para unir paneles, ver figura 2.8

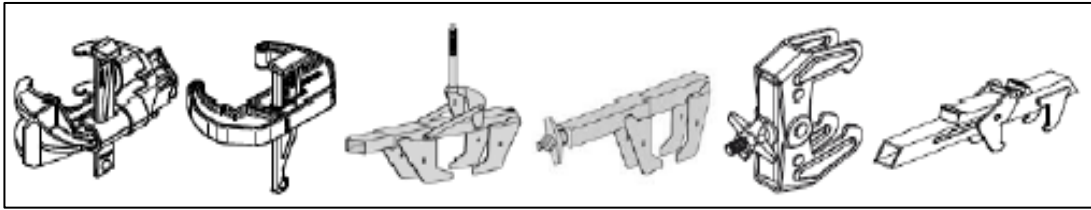


Fig. 2. 8 Grapas (Alva Yosep, 2014)

- Ganchos de izado: Usado para levantar objetos pesados, ver figura 2.9

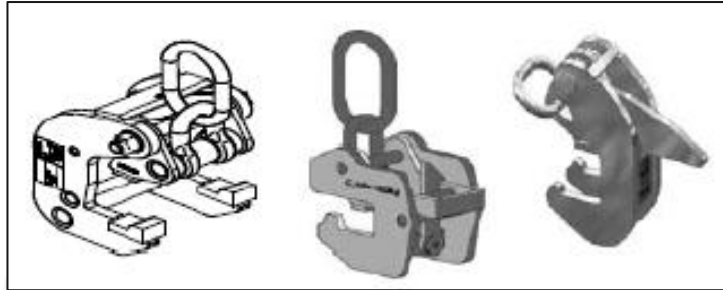


Fig. 2. 9 Ganchos de Izado (Alva Yosep, 2014)

- Ménsulas/ Consolas de trabajo: Plataformas o apoyos en voladizo, ver figura 2.10



Fig. 2. 10 Ménsula/ Consola de Trabajo (ULMA CONSTRUCCION, s.f.)

- Tensores o estabilizadores/ tornapuntas: Utilizado para estabilizar los paneles de encofrado de muros o a un elemento aéreo a empujes laterales.
- Accesos: Formado por una escalera de andamio tubular, escalera integrada en el encofrado o una escalera de mano.

(Peña, s.f)

### 2.1.3 POSIBLES PROBLEMAS EN EL EMPLEO DEL SISTEMA DE ENCOFRADO METÁLICO.

- **CANGREJERAS**

También conocidas como nidos de concreto, son producidas principalmente por un mal vibrado de la mezcla haciéndose evidentes al momento de desencofrar el panel de encofrado. Sin embargo, no es la única causa. Existen otras como la salida de agua o de la mezcla de concreto a través de las juntas mal selladas (mal cierre de los paneles de encofrado). Esto puede crear masas de aire y cambios del color en la superficie del concreto.

Es importante tener en cuenta la capacitación de los trabajadores para el correcto vaciado y vibrado del concreto con tal que no ocurran los problemas mencionados. Además, es posible evitarlos mediante el empleo de plastificantes o mediante el uso del concreto autocompactante con tal de que se realice un llenado correcto de la mezcla y abarque todas las superficies del encofrado con solo la acción de su propio peso.

- **MEZCLA DE CONCRETO CON AIRE**

Durante el fraguado de la mezcla de concreto, puede quedar incorporado en ésta, pequeñas burbujas de aire al no haber realizado un correcto vibrado. Dichas burbujas pueden quedar evidenciadas en la superficie del concreto, aumentando el trabajo en las terminaciones.

Un error común es aplicar capas de desmoldante muy gruesas en la superficie de contacto del encofrado, las cuales pueden contener burbujas y quedar adheridas al concreto. Es recomendable aplicar desmoldante con capas finas menor a 0.05 mm, además de realizar el correcto vibrado.

- **DESPLOMES**

Muchas veces se generan desplomes en los muros vaciados, lo cual puede generar un alto costo para repararlo y es que muchas veces es necesario rehacer el muro. Para ello, es siempre necesario verificar la verticalidad de los encofrados con el uso de un plomo en cada uno de los paneles.

- **RECUBRIMIENTO ESCASO**

Los denominados tacos son usados para generar un recubrimiento mínimo entre el acero de la estructura y los paneles de encofrado. Esta especie de separadores deben ser colocados de manera uniforme en la armadura, ya

que al momento de desencofrar pueden quedar expuestas y generar desmoronamientos del concreto.

(Besomi Molina, 2009)

#### 2.1.4 EMPRESAS DE ENCOFRADOS METÁLICOS EN EL PERÚ

Las empresas más representativas de Perú son las siguientes:

- ULMA
- UNISPAN
- PERI
- DOKA

#### 2.2 SISTEMAS DE ENCOFRADO AUTOTREPANTE

El Sistema de Encofrado Autotrepante (ATR) es una estructura de soporte empleada para la construcción de estructuras verticales sin la necesidad del uso de la torre grúa. El trepado se realiza a base de mecanismos hidráulicos y mecánicos optimizando el tiempo de construcción.

Dicho sistema involucra a su alrededor zonas de trabajo que constan de cuatro plataformas, las cuales en conjunto forman un área de trabajo de hasta cuatro pisos de altura. La primera plataforma (nivel +1) es empleada para trabajos de vaciado de concreto y para trabajos con acero. Un segundo nivel, llamado plataforma de trabajo (nivel 0) en la cual se desarrolla el manejo de los elementos de encofrado propiamente dichos. En un siguiente nivel (nivel -1) se encuentra una plataforma suspendida empleada para el manejo de los mecanismos de trepado y para los trabajos de acabado del concreto. Finalmente se encuentra una última plataforma suspendida (nivel-2) desde la cual se pueden cerrar los orificios de los conos, desmontar el soporte de suspensión y también realizar trabajos de acabado del concreto.

El Sistema Autotrepante consiste en moldes que cuentan con una altura que varía desde los 2.4 m a 6 m de altura. Este sistema se apoya sobre los muros ya construidos mediante pernos de anclaje empotrados en el concreto. Además, mediante el empleo de los gatos hidráulicos, todo el sistema incluido los paneles del encofrado, se elevan de forma pareja y suave a la posición siguiente, permitiendo así una mayor velocidad en los procesos constructivos. (Alva Yosep, 2014). La figura 2.11 muestra una vista general del Sistema de ATR en obra.



*Fig. 2. 11 Típico Sistema de Encofrado Autotrepante para la Construcción de un Muro Central (ULMA CONSTRUCCION, s.f.)*

La forma de trabajo del Sistema Autotrepante se realiza de la siguiente manera:

En un muro de concreto recién fraguado se colocan unas piezas de acero, las cuales son empleadas para la elevación del encofrado y cuelgan de éste de cada extremo. Posteriormente, se coloca una la malla de acero dentro, se cierra el encofrado, se vacía el concreto y una vez fraguado, se eleva el sistema. De esta forma se obtiene un nuevo muro vaciado y se repite el proceso.

El concreto, en su estado primario, se comporta como un líquido y mientras éste se encuentre fraguando, intentará expandirse, por lo que el panel de encofrado deberá contar con todas las medidas de seguridad necesarias y estar adecuadamente reforzado.

La finalidad con el concreto es que al cabo de 1 o 2 días de encofrado, éste ya obtenga una cierta resistencia a la compresión. En este estimado de tiempo, el Sistema Autotrepante desencofra y empieza a elevarse sobre el muro ya vaciado y fraguado, tomándolo como especie de apoyo a través de pernos de anclaje empotrados a éste.

Se especifica algunos detalles de los tipos de concreto a continuación. (UNICON, s.f.)

- Concreto Convencional: Concreto que a los 28 días de fraguado obtiene una resistencia a la compresión entre 175 a 350 kg/cm<sup>2</sup>.
- Concreto de resistencia acelerada: Concreto que a sus 24 o 48 horas de vaciado se obtiene aproximadamente 420kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a la compresión
- Concreto de fraguado retardado: Concreto que a sus 28 días de fraguado obtiene aproximadamente entre 80 a 420 kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a la

compresión (su denominación se debe a que posee mayores tiempos de manejabilidad y un proceso de fraguado más lento que el concreto convencional)

Se puede decir entonces, a modo general, que el Sistema de Encofrado Autotrepante es un sistema flexible, casi totalmente independiente de la torre grúa, cuenta con accesos seguros en sus plataformas de trabajo, opera en condiciones meteorológicas adversas, tiene altos ritmos de ejecución, entre otros.

Podemos además mencionar los principales componentes generales que conforman el Sistema de Encofrado Autotrepante. Ver figura 2.12.

1. **Encofrado:** Los encofrados trepantes son derivados de los sistemas tradicionales y se apoyan al muro ya fraguado por medio de pernos de anclaje insertos en el concreto.  
Estos encofrados disminuyen los tiempos de montaje y de desencofrado debido a la forma de trabajar de su mecanismo. A su vez dicho mecanismo incorpora gatos hidráulicos, los cuales hacen que el sistema trabaje independientemente de la torre grúa.
2. **Elementos de conexión:** Generalmente, en las obras se presenta pérdidas de piezas de construcción; es por ello, que el Sistema ATR cuenta con elementos de conexión que han aumentado su tamaño, pero a la vez han simplificado los elementos que lo conforman. Un ejemplo de lo mencionado ocurre con las piezas que encontramos en los sistemas de anclaje, las cuales ciertas piezas quedan embebidas en el concreto (barra de anclaje, contra placa) y otras son recuperables (perno, cono de anclaje). Dichas piezas serán explicadas más adelante.
3. **Cilindros y Bombas Hidráulicas:** Mediante un motor hidráulico que distribuye aceite y se conecta mediante mangueras a cilindros hidráulicos es posible la elevación de toda la consola del Sistema Autotrepante. La capacidad de izaje debe ser obviamente mayor que la carga que actúa sobre cada uno de ellos (detalle a considerar en el diseño al determinar la separación entre los cilindros hidráulicos).

La bomba hidráulica está conformada por un motor y un estanque de aceite, la cual cuenta con un manómetro y mide la presión distribuida a las mangueras. El número de mecanismos de trepado que es capaz de abastecer una bomba hidráulica generalmente oscila entre 15 a 30 veces.

Cabe mencionar también que este mecanismo es controlado por un control remoto, el cual puede activar la extensión, retracción de los cilindros, además, del encendido y apagado de la bomba.

4. **Rieles:** Los llamados rieles son elementos en los cuales se afirma el encofrado y las plataformas y a través de ellos los cilindros hidráulicos trepan hacia el siguiente nivel. A la vez, los rieles se apoyan sobre bases denominadas cajetines, las cuales se encuentran ancladas al muro de concreto ya vaciado anteriormente.
5. **Plataformas de trabajo:** El Sistema ATR cuenta con 4 plataformas básicas. Una plataforma superior para los trabajos de vaciado de concreto; una plataforma intermedia, donde se coloca el encofrado, el acero y los pernos de anclaje, una tercera plataforma para la recuperación de elementos del sistema de anclaje (conos, pernos), además de retoques al concreto de ser necesario. Por último, una cuarta plataforma llamada plataforma de operación donde va instalada el sistema hidráulico.

(Besomi Molina, 2009)

Cabe resaltar que la plataforma intermedia o también llamada plataforma de trabajo es la que soporta más carga (500 kg/m<sup>2</sup> aprox.), ya que sostiene el panel de encofrado, los puntales que la afirman y a los trabajadores que operan en ella. Además, dicha plataforma tiene un ancho mayor de 2 m. a diferencia de las otras plataformas cuyas dimensiones de ancho son 1.5 m aproximadamente. (ULMA CONSTRUCCION, s.f.)



Fig. 2. 12 Componentes básicos de un Sistema de Encofrado Autotrepante Típico (ULMA CONSTRUCCION, s.f.)

### 2.2.1 TIPOS DE SISTEMAS

Los tipos de Sistemas de Encofrados Autotrepantes están clasificados de manera general basados en la verticalidad, la horizontalidad o inclinación de la construcción, como lo muestra en la figura 2.13.

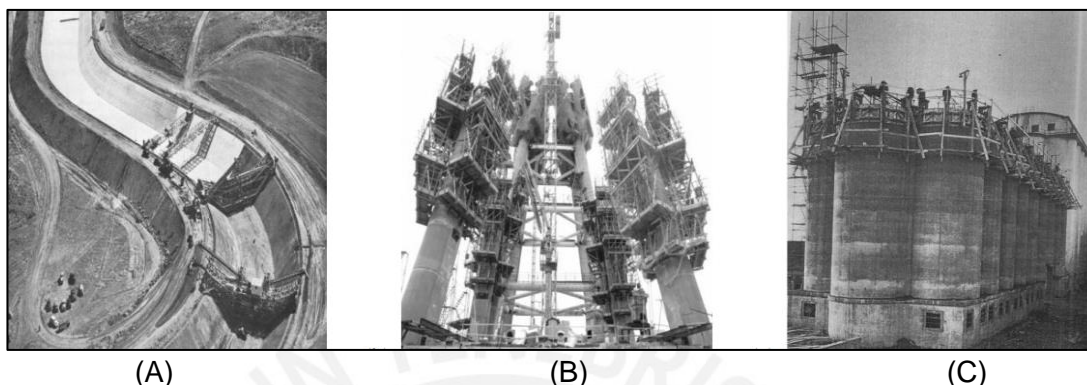


Fig. 2. 13 (A) Sistema Encofrado Autotrepante Horizontal. (B) Sistema Encofrado Autotrepante Inclinado. (C) Sistema de Encofrado Autotrepante Vertical (Ramesh Kannan. M, 2013)

Existen además otras clasificaciones del Sistema ATR dadas por las diferentes empresas proveedoras de encofrado. Los tipos de sistemas que se mencionarán a continuación han tomado como fuente la información provista por la empresa ULMA CONSTRUCCION. De la misma forma, los sistemas en las demás empresas proveedoras solo varían en nombre y en alguna otra característica. (Ramesh Kannan. M, 2013)

#### 2.2.1.1 CONSOLA AUTOTREPANTE ATR-B.

La configuración de la consola de este Sistema, donde el retranqueo es de 70cm, se realiza mediante carros situados sobre el propio sistema y consta también de elementos de control que permiten aplomar y posicionar el encofrado horizontal y vertical. Se emplea una amplia plataforma de trabajo de un ancho de 2.5 metros y otra de accionamiento del sistema hidráulico. Además, es posible el uso de 3 plataformas más para tareas de vaciado, recuperación de elementos, entre otras. Una parte importante es su sistema de retranqueo o voladizos. (Villanueva, 2013). En las figuras 2.14 y 2.15 se muestran consolas típicas autotrepantes ATR-B del proveedor ULMA.



Fig. 2. 14 Típica Consola Autotrepante ATR-B (ULMA CONSTRUCCION, s.f.)

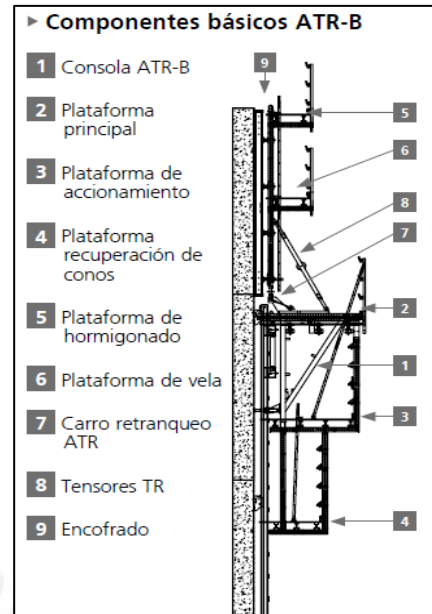


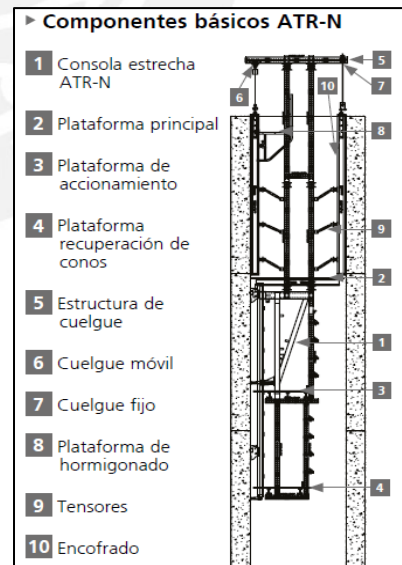
Fig. 2. 15 Componentes Consola Autotrepante ATR-B (ULMA CONSTRUCCION, s.f.)

### 2.2.1.2 CONSOLA ESTRECHA AUTOTREPANTE ATR-N.

Es empleado para trabajar en lugares de difícil acceso o en espacios estrechos con anchos entre 1.75m y 2.5m, en donde no es accesible introducir una consola ATR-B. Este tipo de sistema se suspende de una estructura superior dando lugar a las labores de desencofrado, retranqueo y posicionamiento del mismo, ver figura 2.16. (ULMA CONSTRUCCION, s.f.)



(A)



(B)

Fig. 2. 16 (A) Típica Consola Autotrepante ATR-N. (B) Componentes Consola Autotrepante ATR-N (ULMA CONSTRUCCION, s.f.)

### 2.2.1.3 PLATAFORMA AUTOTREPANTE ATR-P.

Plataformas empleadas en vacíos, las cuales, por sus dimensiones, cargas o geometría, proporcionan un uso más óptimo que las consolas autotrepantes. Esto debido a que su estructura, mediante perfiles MK, adopta diferentes geometrías y sistemas de retranqueo del encofrado como carros o estructuras de cuelgue. Además, dichas plataformas permiten montar estructuras para dar soporte a elementos auxiliares como distribuidores de concreto y pequeñas grúas. (ULMA CONSTRUCCION, s.f.). En la figura 2.17 se muestra una plataforma autotrepante ATR-P del proveedor ULMA.

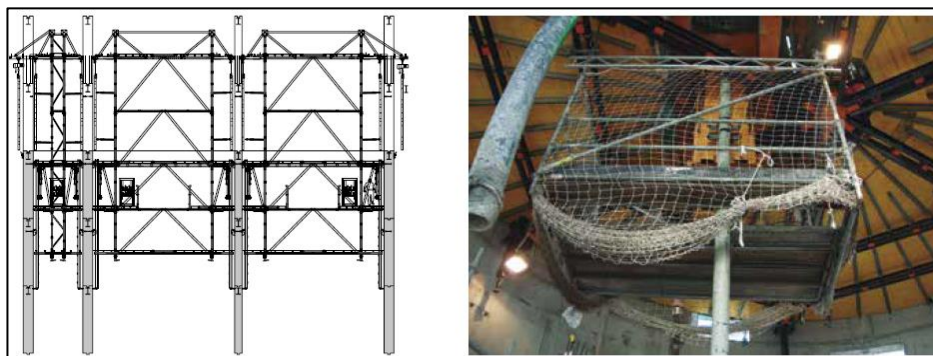


Fig. 2. 17 Plataforma Autotrepante ATR-P (ULMA CONSTRUCCION, s.f.)

### 2.2.2 PLATAFORMA SCP

La PLATAFORMA SCP es una plataforma de formación y trabajo de elevación automática para cualquier núcleo de gran altura y tiene un amplio espacio para el equipo necesario. Además, está completamente cerrada por los contornos para mayor seguridad en el trabajo y mayor protección contra la intemperie. Los cilindros hidráulicos tienen la suficiente potencia para elevar sin mayor esfuerzo la plataforma, el encofrado, los contenedores de los equipos y el brazo de colocación del concreto al siguiente nivel, lo cual es realizado después del vaciado de concreto, lo que le da mayor rapidez en la construcción.

Este tipo de plataforma ha sido usado en la construcción de la nueva sede del Banco de la Nación para el levantamiento del núcleo de ascensores, ver figura 2.18 y 2.19.

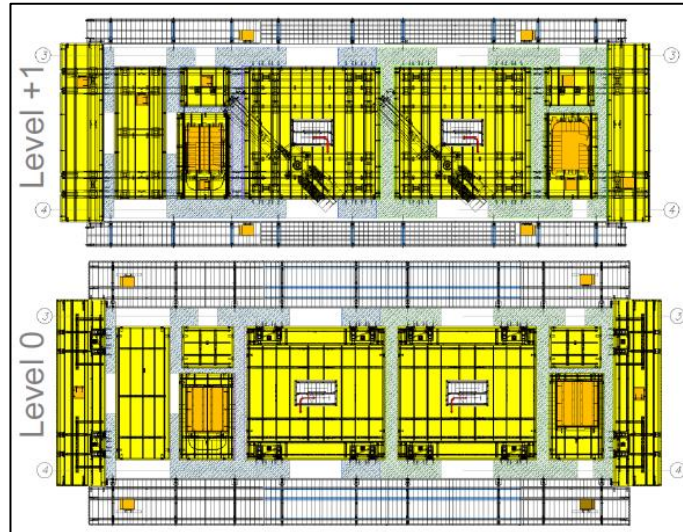


Fig. 2. 18 Vista en planta de plataforma SCP nivel 0 y nivel +1 (DOKA, 2016)



Fig. 2. 19 Plataforma SCP (DOKA, 2016)

Con la plataforma SCP la zona del núcleo, lugar donde se levantará los ascensores y escaleras, trepa por encima de las losas (método de construcción núcleo por delante) haciendo que la separación de dichas piezas (núcleo y losas) brinde mayor velocidad de construcción y seguridad contra la intemperie. Ver figura 2.20 y 2.21

Entre los beneficios que ofrece el Sistema Autotrepante SCP se encuentra que optimiza los tiempos de construcción (hasta 4.5 días por piso típico), cuenta con áreas de trabajo completamente cerradas en cada secuencia, alta capacidad de almacenaje (aprox. 400 kg/m<sup>2</sup>), entre otros. (Doka Perú SAC, 2008)



Fig. 2. 20 Desplazamiento de la Plataforma SCP (DOKA, 2016)

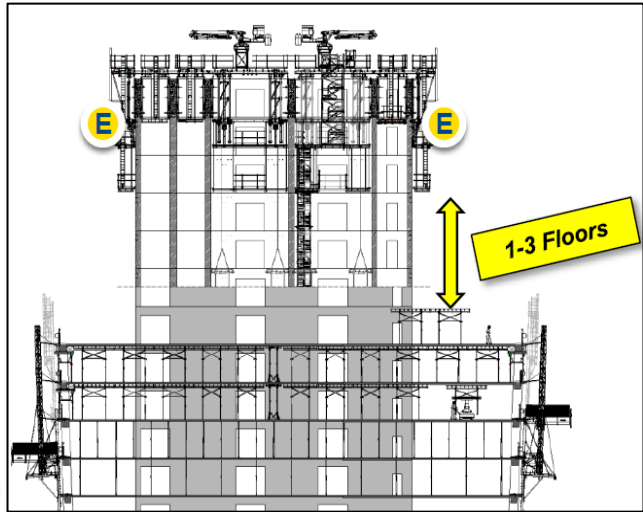


Fig. 2. 21 Núcleo de Trepado por Adelantado (DOKA, 2016)

### 2.2.3 ENCOFRADO AUTOTREPANTE SKE 50 PLUS

El Sistema de Encofrado presentado a continuación también ha sido empleado en la construcción de la Nueva Sede del Banco de la Nación a cargo de la empresa COSAPI. Dicho sistema es el Encofrado Autotrepante SKE 50 Plus (Ver figuras 2.22 y 2.23), el cual fue suministrado por la empresa proveedora DOKA.

El encofrado Autotrepante SKE 50 puede llegar a tener una altura de hasta 5.50 m y cuenta con una capacidad de carga de 5 toneladas por ménsula o unidad de trepado.

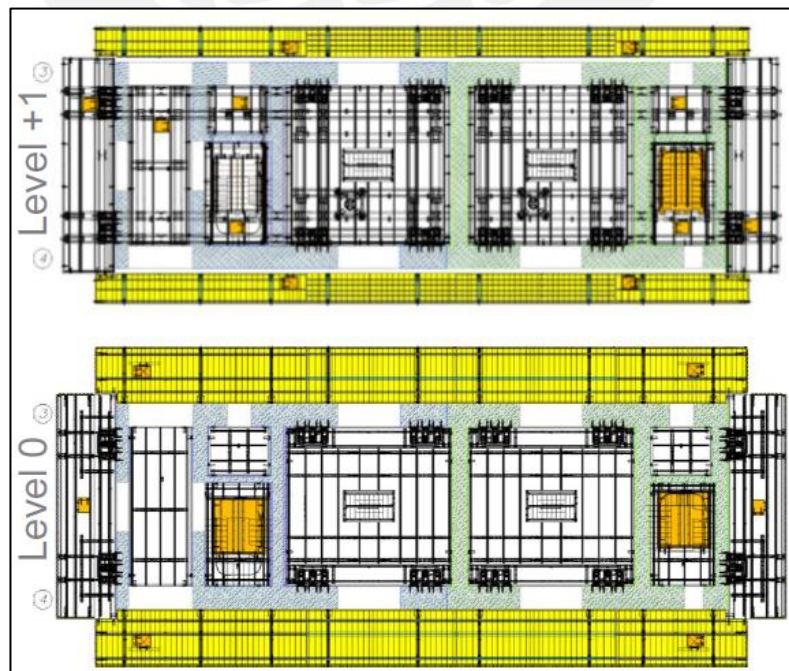


Fig. 2. 22 Vista en planta de Sistema SKE 50 nivel 0 y nivel +1 (DOKA, 2016)

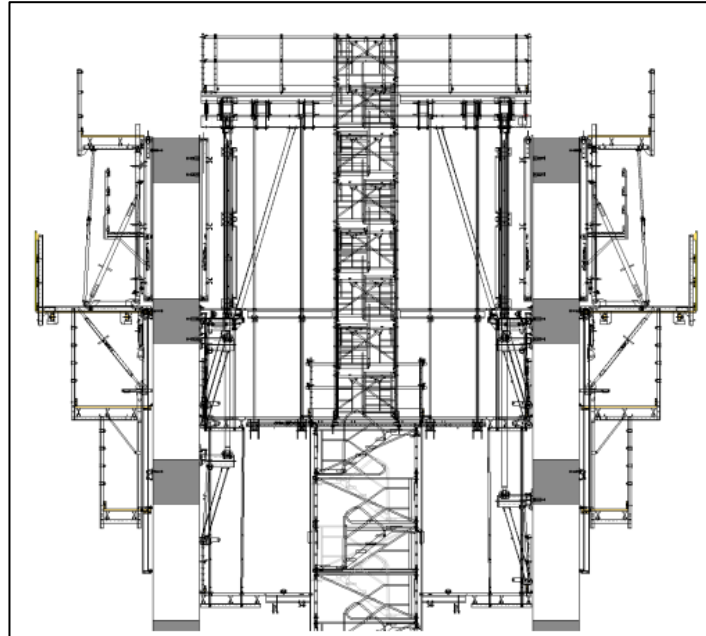


Fig. 2. 23 Estructura general del Encofrado Autotrepante SKE 50 Plus  
(Doka Perú SAC, 2008)

Este sistema de encofrado ofrece toda su versatilidad, ya que puede ser adaptado a cualquier planta y altura de construcción al tener un eficaz sistema modular. Además, ofrece con gran seguridad un trabajo rápido protegido de la intemperie al contar con amplias áreas de trabajo cerradas en todo su perímetro y al presentar escaleras integradas, torres escalera, logrando así brindar la mayor seguridad al subir y bajar de un nivel a otro (ver figuras 2.24 y 2.25 ). (Doka Perú SAC, 2008)

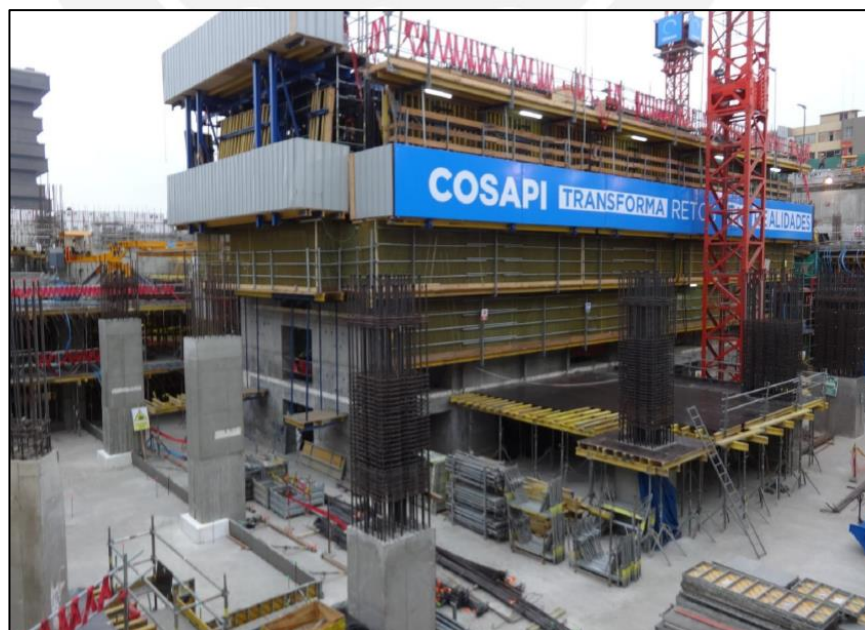


Fig. 2. 24 Seguridad Sistema ATR cubiertas en todo su perímetro (CosapiOficial, 2015)



Fig. 2. 25 Amplias áreas de trabajo cubiertas en todo su perímetro (Doka Perú SAC, 2008)

### 2.2.3.1 Partes del Sistema de Encofrado Autotrepante SKE 50 Plus.

En la figura 2.26 se muestra las principales partes del Sistema de Encofrado SKE 50 Plus.

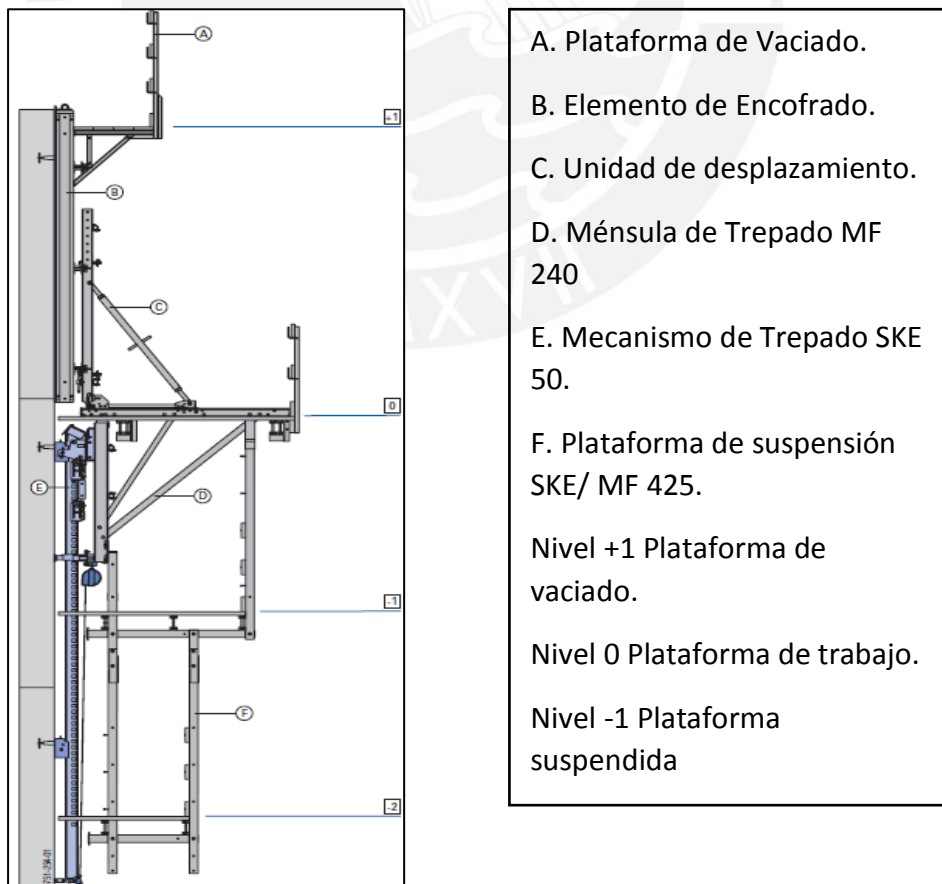
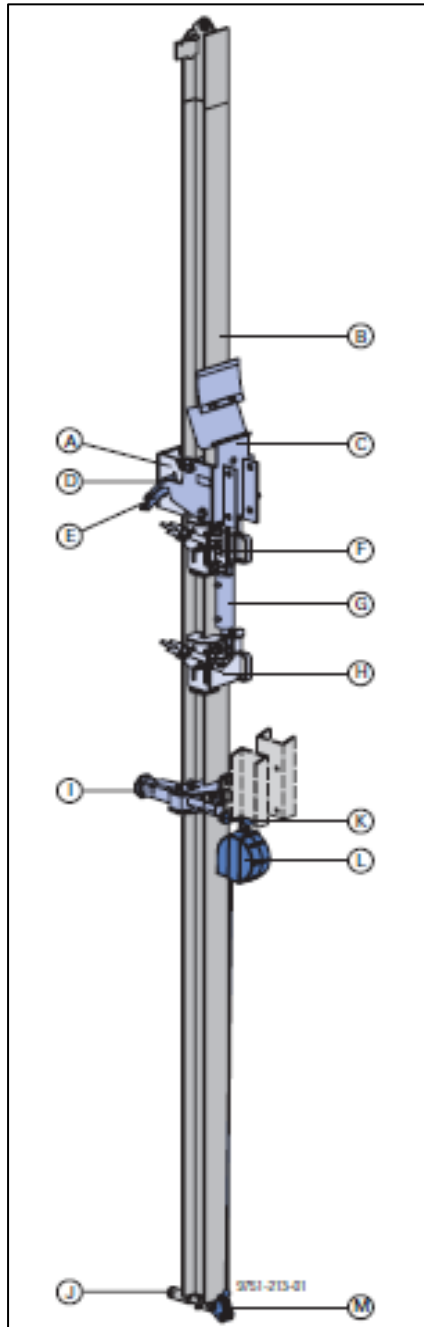


Fig. 2. 26 Sistema de Encofrado Autotrepante SKE 50 Plus (Doka Perú SAC, 2008)

### 2.2.3.2 Mecanismo de Trepado SKE 50

En la figura 2.27 se muestra las principales componentes del Mecanismo de Trepado SKE 50.



- A. Soporte de suspensión SKE 50 rígido.
- B. Perfil de trepado SKE 50.
- C. Carro de trepado SKE 50.
- D. Perno de seguridad SKE 50.
- E. Perno de suspensión SKE 50.
- F. Mecanismo de elevación SKE 50 arriba.
- G. Cilindro hidráulico SKE 50 RL.
- H. Mecanismo de elevación SKE 50 abajo.
- I. Carro de soporte SKE 50.
- J. Zapata de soporte SKE 50.
- K. Placa de seguridad del perfil SKE 50 arriba.
- L. Sujeción del perfil SKE 50.
- M. Placa de seguridad del perfil SKE 50 abajo.

Fig. 2. 27 Mecanismo de Trepado SKE 50  
(Doka Perú SAC, 2008)

## DATOS DE CARGA DEL SISTEMA SKE 50

Existen dos estados que se deben tomar en cuenta al momento de dimensionar los mecanismos de trepado SKE 50

1. Carga en estado anclado y estático con la cual se llevan a cabo los trabajos de construcción.
2. Carga durante el proceso de trepado donde las plataformas ascienden a una nueva posición de trabajo.

En la figura 2.28 se muestran los dos estados de cargas mencionadas y en la figura 2.29 las máximas cargas admisibles para el caso estático.

Máx. cargas admisibles	
estático	durante el trepado
	A <sub>2</sub> ... 55,0 kN
	B <sub>2</sub> ... 50,0 kN
C <sub>1</sub> ... 69,0 kN	C <sub>2</sub> ... 33,0 kN
—	D <sub>2</sub> ... 21,2 kN

Fig. 2. 28 Cargas Admisibles del Sistema SKE 50 (Doka Perú SAC, 2008)

- a: 1494 mm b: max. 5500 mm (Perfil de trepado SKE 50/550/S355)
- b: max 4250 mm ( Perfil de trepado SKE 50/ 425/ S355)
- c: unos 700 mm

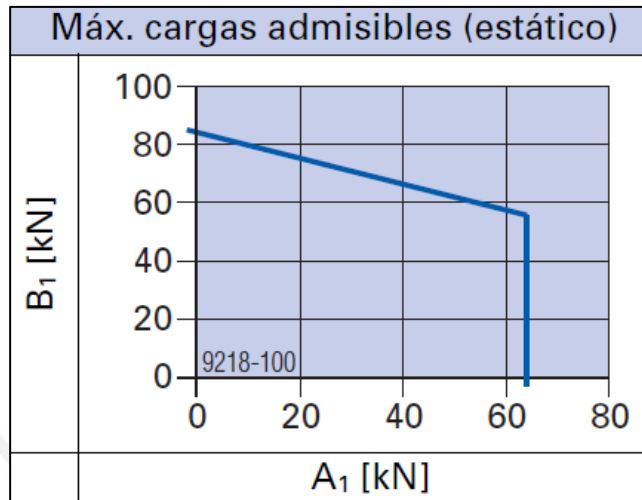


Fig. 2. 29 Fuerzas en las reacciones (Doka Perú SAC, 2008)

#### 2.2.4 SISTEMA DE IZADO DEL SISTEMA AUTOTREPANTE ATR

El primer paso para el sistema de izado es el vaciado de concreto; seguidamente, una vez que el concreto haya fraguado, se procede a desencofrar para luego realizar la colocación de los anclajes de elevación. Se procede a la elevación del mástil y a la recuperación de los anclajes inferiores. Por último, se eleva la estructura, se cierra el encofrado y se procede nuevamente al vaciado de la mezcla. (ULMA CONSTRUCCION, s.f.). La figura 2.30 muestra una secuencia de Izado del Sistema Autotrepante.

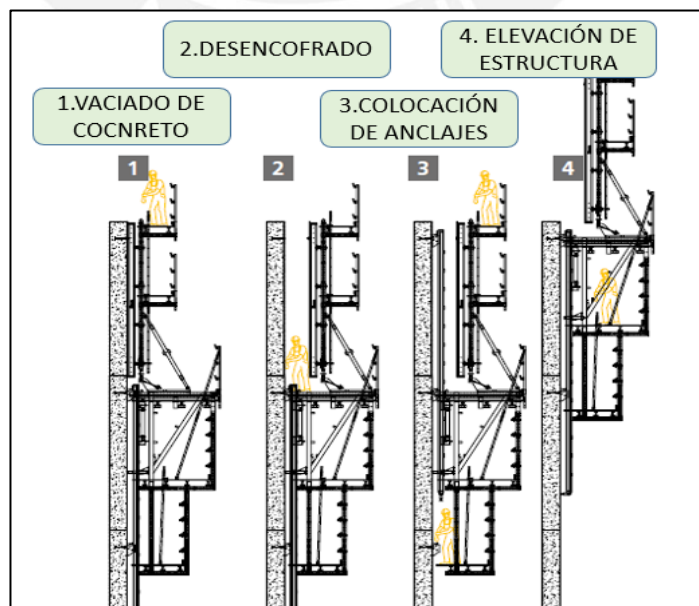


Fig. 2. 30 Secuencia de Izado del Sistema Autotrepante ATR (ULMA CONSTRUCCION, 2011)

### 2.2.5 SISTEMA DE ANCLAJE DEL SISTEMA AUTOTREPANTE

Los sistemas de anclaje son elementos que al estar embebidos en el concreto son capaces de resistir las cargas de los diferentes sistemas de trepado en la construcción de muros o montaje de las diferentes plataformas de trabajo y en su mayoría son recuperables. La figura 2.31 muestra los elementos básicos que conforman un sistema de anclaje.

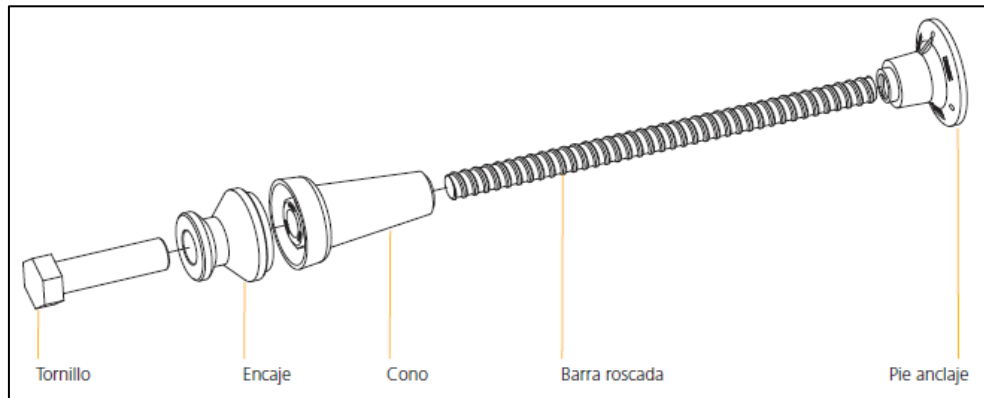


Fig. 2. 31 Elementos que lo conforman el Sistema de Anclaje (Doka Perú SAC, 2008)

Existen Sistemas de Anclajes cuyo elemento llamado **pie de anclaje** pueden ser de dos tipos: anclajes muertos o anclajes cola de cochino (piezas de anclajes perdidos) como se muestra en la figura 2.32.

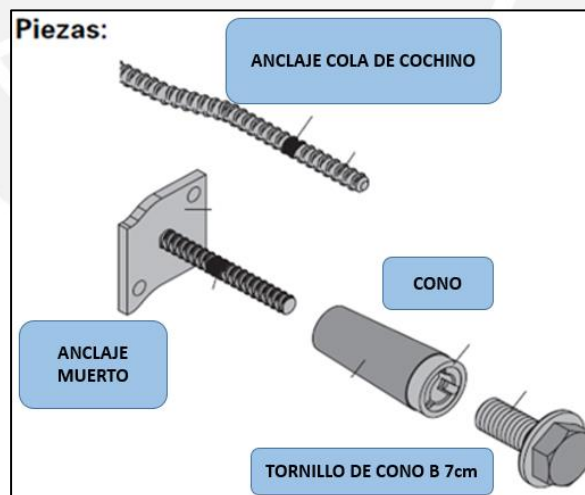


Fig. 2. 32 Piezas del Sistema de Anclaje con anclaje muerto o con anclaje cola de cochino (Doka Perú SAC, 2008)

El CONO DE TREPADO UNIVERSAL o simplemente CONO se emplea para los puntos de posicionado y para los puntos de suspensión.

El tornillo de cono B 7 cm cumple dos funciones: sujeta el cono de trepado universal en el punto de posicionado y suspende con seguridad el sistema de trepado en el punto de suspensión.

Cabe resaltar que el sistema de anclajes es seleccionado según las características de la obra y preferiblemente se emplean anclajes muertos o anclajes cola de cochino.

### Protección de la superficie del encofrado

Para proteger el forro del encofrado se emplea la protección para cono 15,0 (ancho de llave 70 mm) protegiéndolo de los daños que puedan ocurrir en el punto de posicionamiento, siendo ventajoso en encofrados usados con mucha frecuencia.

Esta protección generalmente se emplea en espesores de encofrado de 18 a 27 mm

(Ver figura 2.33).

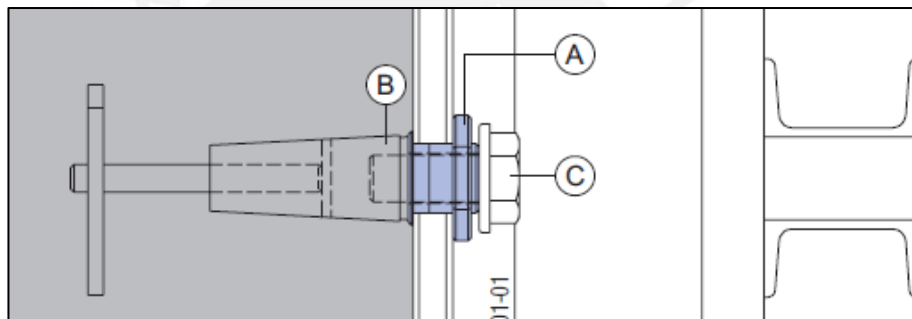


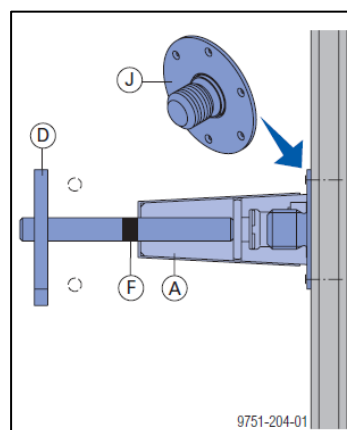
Fig. 2.33 Protección de la superficie del encofrado (Doka Perú SAC, 2008)

- A. Protección de forro para cono 15,0 (ancho de llave 70 mm)
- B. Cono de trepado universal.
- C. Tornillo de cono B 7cm.

### Punto de posicionado con disco posicionador (sin perforación de la superficie del encofrado)

Empleado cuando no se hace posible perforar la superficie del encofrado por ejemplo cuando las vigas Doka se encuentran directamente detrás del punto de posicionamiento. Ver figura 2.34

(Doka Perú SAC, 2008).



- A. Cono de trepado universal
- D. Anclaje Muerto
- F. Marca
- J. Disco Posicionador

## 2.2.6 SISTEMA

Fig. 2. 34 Punto de posicionado con disco posicionador (Doka Perú SAC, 2008)

El sistema hidráulico de la elevación de todo el sistema de encofrado Autotrepante. Para explicar este sistema, se ha tomado como ejemplo el Sistema Hidráulico que la empresa proveedora DOKA emplea en sus proyectos. Dicho sistema está basado en un circuito en bucle, el cual consiste en un grupo hidráulico estacionario capaz de realizar hasta 30 mecanismos de trepado SKE de accionamiento uniforme. El número de mecanismos de trepado elevados en un ciclo son determinados según el desarrollo de la obra.

Características:

- Equipado con calefacción, refrigeración y regleta de mando.
- Bucle cerrado para un gran número de mecanismos (genera presión desde los 2 extremos) y bucle abierto para un número pequeño de mecanismos.
- Control a distancia
- Manejo simultáneo de elevado número de cilindros.

**Grupo Hidráulico RL:** SKE 50 (capaz de actuar hasta con 30 cilindros de trepado al mismo tiempo); SKE100 (capaz de actuar hasta con 15 cilindros al mismo tiempo).

**Grupo Hidráulico RL-K:** SKE 50 (capaz de actuar hasta con 15 cilindros al mismo tiempo); SKE100 (capaz de actuar hasta con 8 cilindros al mismo tiempo).

(Doka Perú SAC, 2008)

Se muestra en la figura 2.35 los Grupos hidráulicos RL Y RL-K



**A****B**

Fig. 2. 35 (A) Grupo hidráulico RL. (B) Grupo hidráulico RL-K. Ambos equipos son suministrados a la obra lista para su funcionamiento. (Doka Perú SAC, 2008).

### CONTROL REMOTO SK

Este control es suministrado a la obra con todo en orden listo para su funcionamiento. Ver figura 2.36



Fig. 2. 36 Partes que conforman el Control Remoto SK (Doka Perú SAC, 2008)

- A. Emisor.
- B. Aparato de Carga.
- C. Acumulador alterno, 2 unidades.
- D. Cinturón portador.
- E. Receptor.
- F. Antena de recepción
- G. Cable de conexión del receptor al grupo hidráulico.
- H. Enchufe de conexión receptor.
- I. Enchufe conexión grupo hidráulico.
- X. Aparato de carga (antigua versión)

(Doka Perú SAC, 2008)

### 2.2.7 POSIBLES PROBLEMAS EN EL EMPLEO DEL SISTEMA DE ENCOFRADO AUTOTREPANTE

- DESPLOME AL ELEVAR EL SISTEMA DE ENCOFRADO.

Puede ocurrir que durante la elevación del encofrado y de la consola del sistema autotrepante puedan darse ciertas inclinaciones (desplome) a medida

que la estructura crece. Esto puede ser causado por una incorrecta nivelación o por un incorrecto aplomado de los encofrados generando una posición no adecuada de los moldes. Es por ello que se tiene que verificar la correcta verticalidad y horizontalidad del sistema y así evitar futuros problemas.

- **MOVIMIENTO DE LOS CONOS DE ANCLAJE**

Existen los llamados anclajes o elementos de conexión los cuales cuentan con conos que son adaptables a un tornillo con el fin de asegurar la conexión y principalmente el peso de las consolas y los encofrados. Dichos anclajes deben ser correctamente posicionados (bien nivelados) de tal manera que queden firmes en la estructura evitando así que el encofrado quede desnivelado cuando se le apoya sobre ellos.

Los desniveles que puede ocasionar dicho problema pueden ser causados también por la caída del concreto al momento del vaciado o al momento de realizar el vibrado del mismo. Es por ello, que se debe realizar la constante verificación de la nivelación de los conos y su correcta fijación con la estructura.

- **UNIÓN ENTRE MURO Y LOSA**

Puede ocurrir que al emplear el Sistema Autotrepante los muros construidos estén desfasados respecto de las losas; es por ello, que para la unión entre muro y losa, se deben dejar previstos en los muros los arranques respectivos para que un segundo proceso se conecte con la armadura de las losas. Este proceso puede realizarse de varias formas.

Una de las formas y la más económica es dejar las barras ancladas horizontalmente en los muros con un tramo escondido y doblado en el muro con tal que cubra el espesor de éste, además se coloca tecnopor con tal que complete el espesor del muro. Luego del vaciado se retira el tecnopor, se enderezan las barras y se empalman con la armadura de la losa.

Otra forma es realizar el vaciado de los muros para que en un segundo proceso se realice la perforación de ellos y con el empleo de un epóxico adecuado se proceda a la unión de la armadura de las losas con los muros.

Otra alternativa es dejar en los muros arranques con conectores mecánicos en sus extremos, sin sobresalir del espesor del muro. Luego vendrá la armadura de la losa y se atornillará a dichos conectores.

Para cualquier solución que se proceda a realizar, se debe asegurar la correcta posición de los arranques de los muros, principalmente al momento

de realizarse el vaciado. Se sabe que la caída de la mezcla puede desplazar cualquier elemento en el interior de la estructura y puede hacer que las armaduras de las losas no calcen correctamente con los arranques dejados inicialmente en los muros. (Besomi Molina, 2009)

## 2.2.8 PROCEDIMIENTOS SEGUROS EN EL SISTEMA ENCOFRADO AUTOTREPANTE ATR

Si bien es cierto que los diversos sistemas de encofrados que se emplean en la construcción son sistemas industrializados, éstos no dejan de estar libres de sufrir algún desperfecto que pueda causar algún accidente en la obra de construcción. Como bien se sabe, en todo proceso constructivo pueden presentarse ciertos riesgos que pueden llegar a ser, en algunos casos, muy graves. Es por ello que, a pesar de que dichos sistemas cumplen con estándares de calidad y seguridad, siempre se deben tomar medidas de seguridad adicionales, conocer la documentación del proyecto, ficha del fabricante, etc. con el fin de conseguir así el máximo nivel de seguridad posible. (Guardiola Crespo, 2015).

### 2.2.8.1 FACTORES DE RIESGO.

Como se sabe, en toda obra existen riesgos que si no son controlados pueden conllevar a algún accidente. Para ello se toman medidas preventivas que en este caso en específico están asociadas a la utilización de maquinaria y equipos, las cuales se encuentran desarrolladas en el Plan de Seguridad de cada obra. Aquellos riesgos y los factores que involucra se explican a continuación.

- Riesgos por caída de objetos desprendidos en las operaciones de trepado, cuyos factores pueden ser causados debido a la existencia de objetos sobre las plataformas, utilización de métodos de elevación incorrectos o sobrecarga.
- Riesgo por caídas sobre las plataformas al mismo nivel. Esto debido a materiales depositados sobre las plataformas o existencia de restos de desencofrado.
- Riesgo por caídas a niveles distintos sobre las plataformas al momento de desplazarse sobre ellas. Dicho riesgo puede darse durante las fases de montaje y utilización si es que no se contara con las cubiertas perimetrales. Puede darse por la posible la existencia de pequeños espacios abiertos entre las plataformas o por un incorrecto acceso a éstas trepando por el mismo encofrado.

- Riesgo de caída de objetos por derrumbamiento o desplome. Factores de este riesgo pueden ser por ejemplo subir las consolas sin estar bien colocadas o estabilizadas, aflojar la sujeción del sistema de trepado antes de estar en la correcta posición o trepar sin haber comprobado la resistencia del concreto vertido anteriormente.

(Guardiola Crespo, 2015)

#### 2.2.8.2 REQUISITOS DE SEGURIDAD DEL PROPIO SISTEMA.

El requisito fundamental en el empleo de los sistemas de trepado es que éstos se encuentren bien instalados. Para lograr ello, es de suma importancia contar con un manual de montaje, el cual es provisto por el fabricante y debe estar descrito lo más claro posible.

Al emplear estos sistemas de encofrado, se debe verificar antes el perfecto estado del material inspeccionando, que no existan piezas dañadas, debilitadas por el desgaste o corrosión, además de que el montaje sea realizado por empleados que cuentan con la respectiva cualificación.

En lo que respecta a los aspectos seguros para realizar algún movimiento antes del trepado se deben asegurar los siguientes

- Asegurar el movimiento relativo entre las diferentes piezas que se encuentren, sobre todo, en contacto directo con los mástiles, de tal manera que se encuentren limpias y debidamente engrasadas.
- Prevenir que el movimiento del sistema no ponga en peligro a personal que este a los alrededores del mismo.
- Asegurar que el sistema a elevarse no choque o sea interrumpido por algún objeto durante su recorrido, así como revisar que no se produzca ningún enganche de la estructura a elevarse con la estructura que queda fija.
- Se debe revisar que todas las conexiones que unen la estructura a elevar con el sistema hidráulico estén correctamente realizadas.
- Se debe tomar medidas de prevención para evitar caídas por los accesos laterales al sistema de encofrado, cerrándolos de manera adecuada.
- Se debe asegurar que para todos los movimientos se cuente con todo el personal suficiente de tal manera que todos los cilindros hidráulicos puedan ser controlados.
- Los operarios deben controlar en todo momento las acciones descritas para que los movimientos se ejecuten correctamente.

En relación a los anclajes que emplean los Sistemas de Encofrados Autotrepantes, los manuales de los fabricantes dan ciertas advertencias e indicaciones. A continuación, se detallan algunas de ellas. (ULMA CONSTRUCCION, 2011)

### **Punto de posicionado y de suspensión**

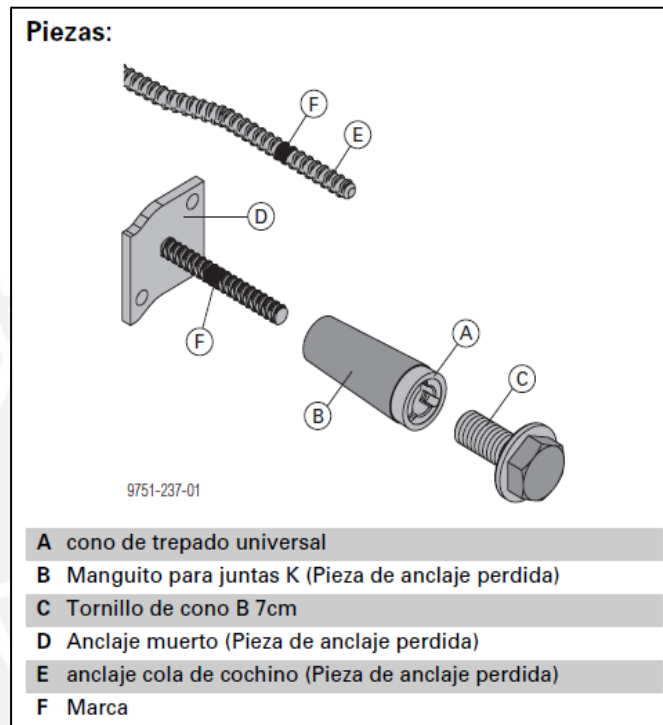


Fig. 2. 37 Piezas de anclaje del Sistema Autotrepante ATR. (Doka Perú SAC, 2008)

### **Riesgo de caída con la colocación de un cono enfrente de otro con barra de anclaje**

Puede ser que ocurra la ruptura de un punto de anclaje si es que se suelta una de las partes de enfrente del anclaje

- Cada punto de suspensión debe tener su propio anclaje  
Excepción: Punto de suspensión con "Anclaje muerto por ambos lados 15,0". Ver figura 2.38

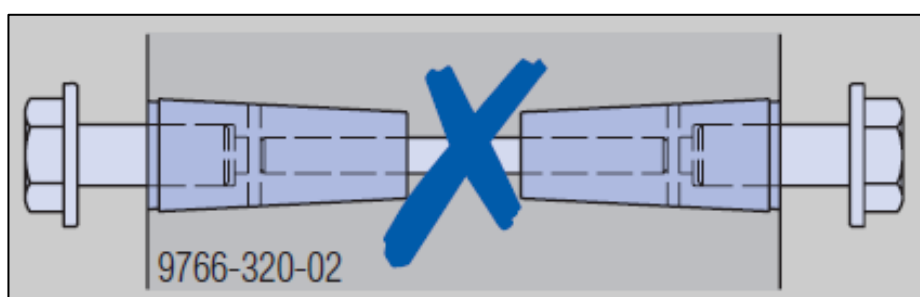


Fig. 2. 38 Mal colocación de los puntos de suspensión del Sistema ATR. (Doka Perú SAC, 2008)

### Indicación

En los encofrados trepantes, los anclajes muertos deben colocarse por ambos lados y desplazados dependiendo del espesor del muro. Se muestra en la figura 2.39 la vista en planta del anclaje del Sistema ATR.

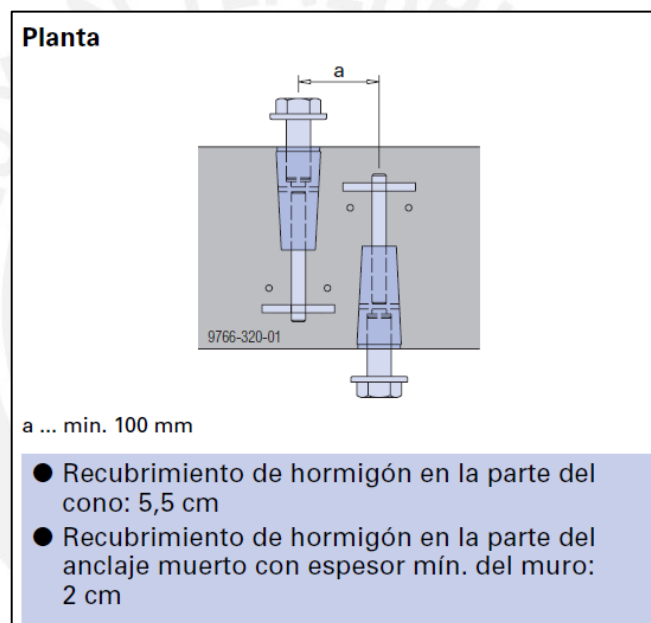


Fig. 2. 39 Vista en planta de anclajes del Sistema ATR. (Doka Perú SAC, 2008)

### Preparación de los puntos de posicionado y de los puntos de suspensión

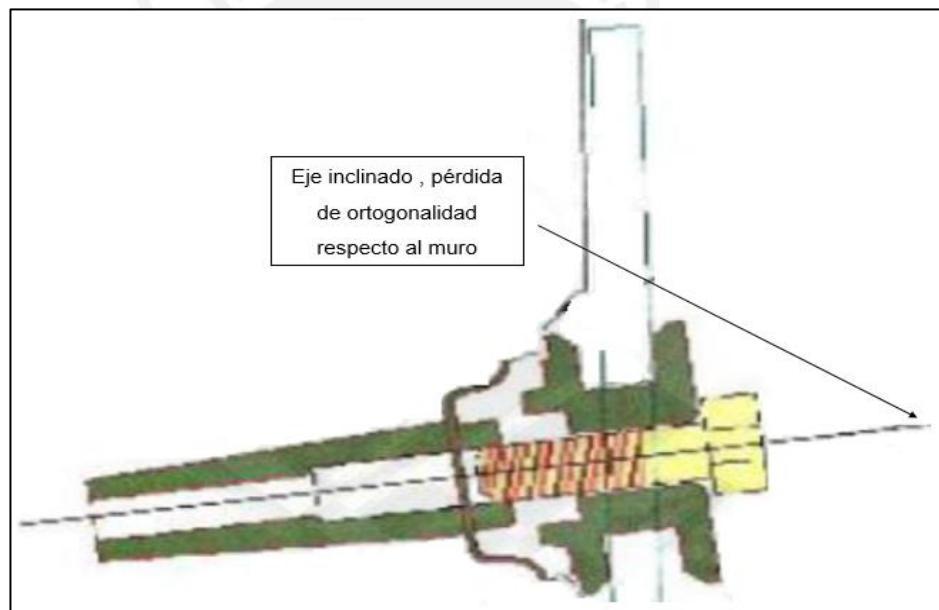
#### Advertencia

- Introducir en el cono de trepado universal siempre hasta el tope (marca), los anclajes cola de cochino o los anclajes muertos
- No soldar ni calentar las barras de anclaje, existe riesgo de rotura
- Emplear solo tornillos de cono B 7 cm para puntos de suspensión y de posicionado

- El concreto no debe ser vertido de manera directa sobre el anclaje muerto o cola de cochino, así mismo evitar que el vibrador los choque, evitando que el anclaje se suelte en el vaciado o vibrado.
- El eje del cono de trepado universal debe situarse en ángulo recto con la superficie del concreto teniendo en cuenta una desviación máxima de 2°

Uno de los fallos más comunes con relación a los sistemas de anclajes es la desviación que se puede dar en éstos durante la fase de vaciado y vibrado del muro. Ésta desviación es producida debido a la fuerza que ejerce el concreto en su caída sobre el sistema de anclaje (ver figura 2.40).

Dicha fuerza de caída puede producir en el mejor de los casos que el cono se encuentre retraído con respecto a la cara exterior del muro y haber perdido su perpendicularidad con éste. En el peor de los casos, el conjunto tirante más el cono, se pierden en el interior del muro.



*Fig. 2. 40 Desviación en el Sistema de Anclaje. Se puede observar el retraimiento del cono y pérdida de ortogonalidad con el muro (Guardiola Crespo, 2015)*

### ¿Qué implicaciones puede traer la desviación descrita anteriormente?

En el sistema de anclaje existen esfuerzos de tracción, cortante y flexión a los cuales está sometido el elemento de fijación. En particular, los esfuerzos de flexión dependen de la distancia que hay entre el punto donde se aplica la fuerza debida al peso de la consola Autotrepante y el punto de empotramiento o fijación donde el elemento enrosca con el cono de metal. Por lo tanto, si dicho brazo de flexión aumenta, entonces aumenta también el par de empotramiento.

Se ha comprobado que el estado tensional en la sección de empotramiento puede alcanzar el límite elástico del material para unos pocos centímetros del brazo de flexión, pudiendo así provocar el fallo del elemento de fijación y el colapso del sistema.

Al producirse la desviación mencionada líneas arriba, y debido al retraimiento del cono respecto al muro, el brazo de flexión aumenta provocando que el esfuerzo también incremente y haya mayor tensión en la sección de empotramiento.

Además, la no existencia de la ortogonalidad inicial hace que la configuración de las fuerzas de reacción en el elemento de fijación varíe.

Si se produjera el fallo en alguno de los 2 anclajes que disponen las consolas autotrepantes se produciría el colapso de ésta. Esto debido a que al fallar uno de los anclajes, la consola con todos los equipos de trabajo, herramientas, trabajadores ubicados sobre la plataforma quedan sin soporte y se produciría el giro de todo el conjunto con centro de rotación en el anclaje que no ha fallado. El peso de toda la consola sería soportado por este único anclaje, sin embargo, estos esfuerzos transmitidos son mayores a los que el anclaje puede soportar provocando la caída total del sistema y la de los trabajadores que estuvieron trabajando sobre él.

Para el peligro anteriormente presentado se dan las siguientes medidas preventivas:

- El origen del riesgo de colapso del Sistema Autotrepante que causa la desviación mencionada reside en la deficiente fijación del cono metal al encofrado. Para evitar dicha falla se recomienda realizar el estudio y revisión de dicha fijación por parte de los fabricantes y realizar las modificaciones oportunas al sistema de anclaje con tal de que éste sea capaz de resistir los esfuerzos que ocasiona el concreto en su caída.
- Se recomienda que el sistema de anclaje sea mediante fijación con tornillo. En este sistema se emplea placas o arandelas colocadas entre la cabeza del tornillo y la cara exterior del encofrado cumpliendo dos funciones: repartir la carga del apriete sobre el encofrado y no romperlo y dar garantía de que el cono quede perfectamente enrasado y ajustado a la cara interior del encofrado.
- Es necesario una adecuada capacitación del personal de montaje, impartida por personal técnico por parte de la empresa proveedora del sistema. Dicha capacitación debe incluir aquellas medidas de prevención tomadas para

todas las fases de montaje, verificaciones en la ejecución de los anclajes, sistemática normal del montaje, entre otras.

(Guardiola Crespo, 2015).

### 2.2.9. CONSIDERACIONES GENERALES DEL SISTEMA

Como se ha podido explicar resulta ser de suma importancia la información que el fabricante brinda acerca de los equipos que provee. Dicha información debe ser suficiente y relevante con el fin de que ésta pueda ser utilizada por las empresas constructoras de manera correcta y segura.

Se sabe que el fabricante es el que conoce mejor que nadie el producto que ofrece y/o comercializa, por ende, es el encargado de informar a sus clientes, no solo el proceso normal del empleo de sus equipos, sino también el uso inadecuado previsible de éstos.

A continuación, a modo de resumen se mencionan algunas consideraciones generales a tener en el empleo del Sistema Autotrepante.

- Siempre se deberá seguir las indicaciones del Plan de Seguridad y Salud de la obra del Proyecto de Ejecución u algún otro requisito técnico aplicable a la construcción. Además, se debe elaborar un informe detallado y documentado que contenga las indicaciones para las medidas de precaución necesarias y revisión de las mismas. Este informe será elaborado por el empresario al momento de analizar los peligros de la obra y deberá ser legalmente cumplido por los empleados.
- La empresa constructora debe asegurar que todos sus trabajadores estén debidamente capacitados para hacer uso del Sistema de Encofrado y que cumplan con todos los requisitos indicados en la GUIA DEL USUARIO provista por la empresa proveedora del Sistema, con especial énfasis en los aspectos de seguridad.
- Para evitar caídas, se realizará la instalación de rodapiés en la parte exterior de las plataformas. Además, se podrá colocar redes de protección y, en lo que respecta la parte interna, se cubrirá los espacios vacíos de la plataforma. En lo posible se debe evitar realizar trabajos cuando no se encuentre ejecutando actividades que puedan conllevar a caídas de objetos.
- Previo a realizar el desencofrado o desmontaje se deberá verificar la no existencia de objetos o material suelto sobre las plataformas, susceptibles a caer al suelo.
- El arrendatario o comprador deberá revisar eventualmente el sistema de encofrado, verificándose los elementos críticos y la retirada o modificación de ellos por terceros.

- Los sistemas de encofrado son un medio de trabajo destinado a trabajadores calificados y supervisado por personal cualificado. Además, se sabe que el manual de montaje y su utilización deben contener un mínimo de indicaciones para la seguridad, uso y aplicación. En caso hubiera modificaciones de las mismas, deben ser debidamente justificadas mediante una evaluación de riesgos y peligros dentro del manual de montaje siempre bajo las leyes y normas de seguridad.  
(ULMA CONSTRUCCION, 2011)

### **ASPECTOS ESPECÍFICOS DEL SISTEMA ATR**

- Todas las piezas, conexiones, elementos del sistema deben ser ensamblados conforme lo ha de especificar las instrucciones facilitadas por la empresa proveedora del Sistema de Encofrado.
- Es muy importante realizar la correcta instalación de los anclajes, de tal manera de las cargas del Sistema se transmitan al concreto adecuadamente. Es responsabilidad del cliente verificar lo mencionado.
- Al ser un sistema de encofrado de elevación, éstos no deben ser usados para el transporte de materiales o de personal. Siempre se debe verificar que, para cada operación, el personal presente en las plataformas no exceda del necesario.
- Durante la fase de elevación, los trabajadores encargados de la operación, no tocarán ningún elemento del Sistema de Encofrado o del Sistema Hidráulico, para así evitar posibles golpes o aplastamientos.
- Los sistemas hidráulicos se apagarán desde el interruptor general una vez que las operaciones terminen de realizarse.
- Para evitar la posible entrada de concreto a los anclajes, se sugiere usar engrasantes, facilitando así también la posterior extracción de los elementos que los conforman.  
(ULMA CONSTRUCCION, 2011)

### **ASPECTOS A CONSIDERAR EN EL PROCESO DE ENCOFRADO**

#### **Encofrado**

- Se deberá tener cuidado de no dejar un elemento semi-montado.

- Antes del vaciado se verificará la limpieza de la superficie del encofrado. Evitar uso de cepillos de alambre que deterioren la superficie del encofrado.
- Los paneles deberán almacenarse colocando un taco de madera entre ellos para que los separe y no se dañen entre ellos, además evitar no apilarlos expuestos de manera prolongada al sol.

#### **Desmoldante**

- Se aplicará el desmoldante en capas finas y de manera uniforme.
- Se hará la respectiva limpieza del encofrado antes de aplicar el desmoldante
- El desmoldante desempeña un rol importante en la calidad de la superficie del concreto, además permite el cuidado del panel, incrementando el número de usos del mismo.

(ULMA CONSTRUCCION, 2011)

#### **Vaciado de concreto**

- El vaciado del concreto se deberá realizar por capas que oscilan entre los 30 a 45 cm.
- Se recomienda verter el hormigón lo más cerca posible a la base, si no se realizará mediante alguna conexión u otro accesorio, siempre teniendo cuidado de no verter la mezcla directamente sobre el panel de encofrado.
- Se deberá evitar salpicaduras de concreto en los paneles de encofrado para que no queden posibles manchas en el futuro.

#### **Curado del concreto y desencofrado**

- Para que la superficie de la mezcla de concreto no seque rápidamente, el tiempo de curado deberá de aumentarse, si se estuviese en climas con temperaturas bajas o con altas corrientes de aire.
- Antes de realizar el desencofrado, se debe verificar la resistencia mínima del concreto, ya que aspectos como su durabilidad y su resistencia misma influyen significativamente en la duración de la estructura.
- Una vez desencofrado, y en caso de no realizarse más puestas, los paneles se apoyaran en bastidores para que se proceda a realizarse su respectiva limpieza y desmontaje
- No deberá haber más personal del necesario al momento del desencofrado.

(ULMA CONSTRUCCION, 2011)

### **ASPECTOS A CONSIDERAR PARA EL TRANSPORTE, MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO**

#### **Aspectos generales**

- No se deberá hacer uso de los equipos de trabajo sin la respectiva capacitación, autorización e información detallada para ello.
- Se tendrá cuidado en mantener una distancia de seguridad suficiente a los equipos de trabajos móviles o a las zonas de riesgo de caídas.
- Durante el transporte, manipulación y /o almacenamiento se evitará que las piezas sufran de golpes o aplastamientos.
- No se permitirá permanecer a las personas, por ningún motivo, estar debajo del proceso de recorrido de las cargas que son elevadas.

### **Transporte**

- Se deberá asegurar la estabilidad de la carga, cumpliendo siempre las instrucciones del transportista.
- Tener cuidado de estar fuera del alcance al momento de abrir el contenedor o las cajas debido a una posible caída de las piezas.

### **Manipulación**

#### Manipulación manual de cargas

- Se debe revisar la carga, suciedad, esquinas puntiagudas, con tal de detectar el mejor lugar para sujetarla.
- En caso la manipulación de las cargas que sean pesadas, emplear medios mecánicos o recurrir a más personal de ayuda.

#### Manipulación mecánica de cargas

- Se emplearán elementos de elevación que cumplan con los reglamentos y requisitos para realizar las operaciones.
- La grúa empleada para el montaje del Sistema ATR, deberá ser la adecuada con tal que pueda realizar el manejo y montaje de los componentes.
- Se deberá contar con un rigger, el cual se comunicará con el operador de la torre grúa, sobre todo en caso de operaciones peligrosas o complejas o cuando éste no tenga una visión total de la trayectoria de la carga.

### **Almacenamiento**

- Se recomienda almacenar las piezas en un lugar que esté protegido de los efectos agresivos del ambiente.
- Colocar las piezas de similares características en espacios destinados específicos para ellos.

(ULMA CONSTRUCCION, 2011)

## **ASPECTOS A CONSIDERAR PARA EL MANTENIMIENTO**

- El proveedor del Sistema de Encofrado suministra el producto en correctas condiciones.
- Una vez realizada el suministro del producto, es responsabilidad del comprador o arrendatario la adecuada operación, revisión y mantenimiento del mismo.

#### **Mantenimiento**

- Siempre se deberá comprobar el buen estado de uso del sistema previo a realizar el montaje.
- Se deberá tener especial cuidado en el proceso de elevación del sistema, con los cilindros hidráulicos, grupos hidráulicos cabezales, entre otros.
- Se revisará el correcto estado de las mangueras hidráulicas y la comprobación del apriete de las mismas al grupo y a los cilindros.
- Todas las partes que se encuentre involucradas en el movimiento del Sistema, deberán ser debidamente engrasadas, con tal que se minimice el rozamiento entre ellas.

(ULMA CONSTRUCCION, 2011)

### **2.2.10 EMPRESAS PROVEEDORAS DE ENCOFRADO AUTOTREPANTE**

Como se ha podido notar, existen dos empresas proveedoras de encofrado que más destacan en el mercado peruano: ULMA Y DOKA. Dichas empresas cuentan con una gran variedad de tipos Sistemas ATR, cuyos costos de venta y/o alquiler varían de acuerdo al tipo de obra para el cual son empleados.

Para contar con la siguiente información, se hizo unas breves visitas a los proveedores de dichos sistemas de encofrado (ULMA Y DOKA), de tal forma de tener una visión general respecto a los costos que involucra el sistema ATR.

#### **2.2.10.1 ULMA ENCOFRADOS PERU**

Se hizo el contacto con la empresa ULMA por medio del Asesor Comercial Carlos Saettone quién brindó datos relacionados al proyecto Torre Javier Prado ejecutado en los años 2015 y 2016, en el cual se hizo empleo del Sistema Autotrepante y estuvo a cargo por la empresa constructora HV CONTRATISTAS. Ver figuras 2.41 y 2.42.



Fig. 2. 41 Núcleo de ascensores – Proyecto Torre Javier Prado (ULMA CONSTRUCCION, s.f.)



Fig. 2. 42 Sistema Autotrepante Torre Javier Prado (ULMA CONSTRUCCION, 2011)

En dicho proyecto el costo de arrendamiento con descuento variaba entre los S/.40 000 y S/. 50 000 en promedio sin IGV (Ver Figura 2.43). Dicho costo puede variar de acuerdo al área a encofrar, el tiempo de alquiler y al contrato que haya entre la empresa proveedora y la constructora. En el caso de la obra TORRE JAVIER PRADO pudo hacerse efecto un descuento de hasta el 50% en favor al cliente. Lo mencionado se puede corroborar en la Figura 2.44, donde se muestra la factura por el alquiler del sistema ATR. En dicha factura se puede observar el costo real de alquiler del encofrado Autotrepante por mes (S/ 93336.88) y también se puede corroborar un descuento de hasta 50 %, haciendo que el costo final a pagar sea la mitad del costo real.



Facturar a : HV CONTRATISTAS S.A.

Dirección : Av. El Derby N° 055 Torre 3 Oficina 606 - Santiago de Surco - Lima

RUC : 20100318696

Central Telefónica : 712-7100

www.hvcontratistas.com.pe

N° Orden de Compra

611

1. DATOS DEL PROVEEDOR				2. CONDICIONES GENERALES				
Señor(es)	: ULMA ENCOFRADOS PERU SA			Fecha Emisión	: 10/12/2015			
R.U.C.	: 20501918343			Centro Resp (CR)	: C288 - TORRE JAVIER PRADO			
Contacto	: ANDAMIO: ING. ALEX CANO (835*4107)			Tipo Orden	: PM			
Teléfono	: 6136700			Forma de Pago	: 45 DIAS DESDE LA RECEPCION DE LA FACTURA			
Email	: acano@ulmaperu.com.pe			No PM	: 493			
Dirección	: AV ARGENTINA 2882 LIMA URB. INDUSTRIAL			Cotización	:			
3. DATOS DE ENTREGA								
Dirección	: EDIFICIO TORRE JAVIER PRADO - AV. JAVIER PRADO ESTE 456-462,SAN ISIDRO						<b>S/. 46 668.44 más I.G.V</b>	
Contacto	: DOMINGO CHOQUEHUANCA		E-mail		: DCHOQUEHUANCA@HVCONTRATISTAS.COM			
Item	Cuenta	Código	Descripción	Und	Cant.	P. Unitario	% Dcto	Importe
1	928504075	010708	ENCOFRADO ULMA - ALQUILER ENCOFRADO AUTOTREPANTE	MES	1.00	55,068.7600	0.00	55,068.76
<small>NOTA DEBERA ENVIARSE : CERTIFICADO DE CALIDAD, CERTIFICADO DE CALIBRAC OBSERVACIÓN : NOVIEMBRE- ULMA</small>								
2	928504075	480709	ALQUILER ENCOFRADO	MES	1.00	130,643.1000	0.00	130,643.10
<small>NOTA DEBERA ENVIARSE : CERTIFICADO DE CALIDAD, CERTIFICADO DE CALIBRAC OBSERVACIÓN : ULMA- NOVIEMBRE</small>								
3	928504075	581315	ALQUILER ANDAMIO	MES	1.00	19,639.5400	0.00	19,639.54
<small>NOTA DEBERA ENVIARSE : CERTIFICADO DE CALIDAD, CERTIFICADO DE CALIBRAC OBSERVACIÓN : ULMA- NOVIEMBRE</small>								

Fig. 2. 43 Factura Sistema Autotrepante – Torre Javier Prado (ULMA CONSTRUCCION, 2011)


		<b>R.U.C. N° 20501918343</b>		
<b>ULMA ENCOFRADOS PERU S.A.</b> Av. Argentina 2882 Urb. Industrial Wiseo - Lima - Perú Distrito: Lima Provincia: Lima Telf.: (51) 1 613-6700 - Fax: (51) 1 613-6710 E-mail: ventas@ulmaperu.com.pe www.ulmaconstruction.com.pe		Almacén: Cal. S/N Lote 24 Las Piedras Sur Distrito: Lurín Provincia: Lima		
Lima 30 de <b>NOVIEMBRE</b> del 201 5		<b>FACTURA</b> <b>001 - N° 0049781</b>		
Señores <b>HY CONTRATISTAS S.A.</b>		R.U.C. 20100318096 N° Guía		
Dirección <b>AV. EL DERBY NRO. 065 INT. TOR3 URB. LIMA POLO HUNT SANTIAGO DE SURCO</b> <b>LIMA</b>		U.P. EN.0086/2015		
Condiciones de Venta		Telf:		
CODIGO	DESCRIPCION	CANTIDAD	P. UNITARIO	TOTAL
Z000001	<b>POR ALQUILER DE EQUIPO</b>	1	93,336.88	<b>93,336.88</b>
Z000001	<b>POR DESCUENTO</b>	1	-46,668.44	<b>-46,668.44</b>
<p>NO AFECTO A RETENCION DEL IGV SEGUN RS 219-2006/SUNAT, A PARTIR DEL 01/01/2007 POR HABER SIDO DESIGNADO AGENTE RETENEDOR</p> <p>OPERACION SUJETA AL SISTEMA DE PAGO DE OBLIGACIONES TRIBUTARIAS CON EL GOBIERNO CENTRAL - 10.00 %</p> <p>Favor depositar la respectiva detracción en la Cta. Cte. del Banco de la Nación MN Nro 00-000-536016</p> <p><b>SON: CINCUENTA Y CINCO MIL SESENTA Y OCHO Y 76/100 NUEVOS SOLES</b></p>				
<b>CANCELADO</b>		VALOR VENTA S/. <b>46,668.4</b>		
Lima, ..... de ..... Del 201 .....		I.G.V. 18 % S/. <b>8,400.3</b>		
P. ULMA ENCOFRADOS PERU S.A.		PRECIO TOTAL S/. <b>55,068.7</b>		

Fig. 2. 44 Factura Sistema Autotrepante – Torre Javier Prado (ULMA CONSTRUCCION, 2011)

Por otro lado, dicho costo de arrendamiento está sujeto a costos de los diferentes elementos que entran a conformar el montaje del Sistema Autotrepante. Entre ellos se encuentran paneles de encofrado (paneles comain), rodapiés, escuadras, vigas ulma flex, escaleras, perfiles MK, plataformas, entre otros. En la tabla 2.1 se muestra algunos precios de alquiler por mes y por día.

Tabla 2. 1 Precios de alquiler de productos – Sistema ATR

<b>NOMBRE PRODUCTO</b>	<b>PRECIO ALQUILER CONTRATO MES (S/)</b>	<b>PRECIO ALQUILER CONTRATO DIA (S/)</b>
PANEL COMAIN 1.20X0.60 (0.72M2)	15.861	0.5287
PANEL COMAIN 1.20X0.45 (0.54M2)	14.235	0.4745
PANEL COMAIN 1.20X0.30 (0.36M2)	9.099	0.3033
PANEL COMAIN 1.20X0.20 (0.24M2)	8.319	0.2773
CERROJO	0.21	0.007
ESCUADRA EXT 1.20	4.2	0.14
PANEL COMAIN 2.40X0.45 (1.08M2)	24.699	0.8233
PANEL COMAIN 2.40X0.30 (0.72M2)	17.289	0.5763
ESCUADRA EXT 2.40	8.34	0.278
VIGA ULMA FLEX 20 / 2.10 M	8.4	0.28
VIGA ULMA FLEX 20 / 2.60 M	10.401	0.3467
VIGA ULMA FLEX 20 / 4.40 M	17.601	0.5867
TUBO 48/3.00 M	4.5	0.15
TUBO 48/2.60 M	3.9	0.13
TUBO 48/4.00 M	6	0.2
TUBO 48/3.60 M	5.4	0.18
RIGIDIZADOR COMAIN 1.50	6.324	0.2108
GRUPILLAS R/3	0	0
VIGA ULMA FLEX 20 / 3.30 M	13.2	0.44
TUERCA C/SEG NYLON M-20	0.051	0.0017
TORNILLO M16X70 DIN-931-8.8	0.009	0.0003
TUERCA M10 DIN 934 5.6	0.009	0.0003
TORNILLO M16X140 DIN-931-8.8	0.159	0.0053
TORNILLO M16X160 DIN-931-8.8	0.201	0.0067
TORNILLO M16X90 DIN-931-8.8	0.09	0.003
TORNILLO M30x80 DIN-933 8.8	0.621	0.0207
CONJUNTO HUSILLO VELA TR53X6	15.879	0.5293
CADENA+2G LT/842 (2TN)	6.51	0.217
CABEZAL BRIO/RIOSTRA DU	2.34	0.078
SOPORTE PLAT PRINCIPAL 2	7.191	0.2397
PIE CONSOLA ATR NV	46.971	1.5657

## 2.2.10.2 DOKA ENCOFRADOS PERU

De la misma manera se hizo el contacto con la empresa proveedora Doka por medio del responsable del área de Ingeniería, el Ing. Omar Ramos Munayco. Se obtuvo información acerca de la consulta de los costos que la empresa COSAPI hizo a la empresa DOKA para que sea proveedor del encofrado a emplear en la construcción del núcleo de ascensores de la Nueva Sede del Banco de la Nación. Se sabe que, por parte de DOKA, a la constructora COSAPI se le planteó inicialmente dos alternativas: Emplear el Sistema Autotrepante SKE50 + SE100 plus ó el SCP + SKE 50 plus.

Teniendo como base la tabla 2.2 y después de un pequeño cálculo, para la primera alternativa, se obtuvo un costo aproximado de alquiler por mes de S/.225 727.000, mientras que para la segunda alternativa se obtuvo un costo promedio de S/.248 196.000 (tipo de cambio dolar año 2014).

Tabla 2. 2 Comparación de precios entre SKE50 + SKE100, SCP + SKE50 y PERI ASC

		DOKA		PERI
		SKE50 + SKE 100	SCP+ SKE 50	ASC
Tipo de material		Sistema ligero	Sistema PESADO	Sistema ligero
<b>Condicion</b>	ESTADO	70% NUEVO	70% NUEVO	95% USADO
	Procedencia	Austria	Austria	Chile
		Austria	Austria	USA
<b>Plazo de importacion</b>				
	Plazo de importacion+desaduanaje	9 semanas	13 semanas	7 semanas
	Primer vaciado	18/04/2014	18/04/2014	15/04/2014
	Segundo vaciado	09/05/2014	09/05/2014	26/04/2014
	Tercer vaciado	29/05/2014	06/06/2014	03/05/2014
<b>Resistencia</b>	Capacidad de carga (t)	66t	90t	
	Plataforma alta (kN)	1027,5		1249,35
	Plataforma exterior	6t		5,5t
	Plataforma interior	13t	40t	14t
	Presion maxima de concreto (kN/m <sup>2</sup> )	50		
<b>Preensamblaje</b>	Pre ensamblaje	terreno 3eros	Terreno 3eros	70% PERI Yard
	Necesidad de espacio en obra	800m <sup>2</sup>	800m <sup>2</sup>	800m <sup>2</sup>
<b>Trabajabilidad</b>	peso de Shoe (kg)	24,1	24,1	36
		13	13	
	Altura al comando hidraulico	1,8	1,8	2,6
	Unidades hidraulicas a operar	1	1	
	Distancia entre la plataforma y el concreto	0,35	1,5	0,94
	Abertura maxima del encofrado	0,9	0,9	0,8
	Abertura minima del encofrado			0,66
	Abertura para escalera prefabricada	2,6x2,6	2,6x2,6	1,1x
<b>Montaje</b>	Maniobrabilidad encofrado de angulo	buena	buena	complicada
	Acceso a las barras pasantes	buena	complicada	complicada
	Instructor extranjero con mini 5 montajes	2	2	1
<b>Precio (sin IGV 18%)</b>	Alquiler 13 meses (\$)	\$ 1 051 775	\$ 1 156 471	\$ 1 147 938
	Diferencia con el mas barato	0%	10%	9%

Ambos casos incluyen costos de transporte, costos de importación, sistema de seguridad, entre otros. Cabe aclarar que dichos valores son los costos únicamente para el sistema de encofrado del núcleo de ascensores y no incluye al encofrado de losas para lo que es el sistema de mesas voladoras. Esto ya que el método constructivo empleado era de núcleo por delante.

De acuerdo al proyecto desarrollado y por las características de éste, se decidió emplear el Sistema SCP + SKE 50 plus. Sin embargo, cabe aclarar, que la empresa COSAPI, decidió no alquilar, sino comprar el sistema ATR, pudiendo así sacarle mejor provecho de ahorro en costos para el empleo de futuros proyectos.

### 2.3 MESAS VOLADORAS

Se ha podido desarrollar, a modo general, la labor que tuvo el Sistema Autotrepante en la construcción de la Nueva Sede del Banco de la Nación. Se sabe que, en dicha estructura, el método constructivo fue de núcleo por delante (el núcleo de ascensores iba por delante de la construcción de las losas). Es por ello que se puede decir que la construcción del núcleo era independiente que la de las losas, así como también las cuadrillas que las conformaban.

Se sabe también, que para la construcción de las losas se empleó el sistema de mesas voladoras, sistema que está conformado por varios equipos que hace que el sistema de encofrado y desencofrado sea más rápido. A continuación, a modo de conocimiento, se hará una breve descripción explicando el funcionamiento de dicho sistema para encofrado horizontal.

Las mesas voladoras son un sistema de encofrado especializado para el vaciado de losas y generalmente es utilizado para construcciones de gran altura. Dicho Sistema está compuesto por módulos que pueden cubrir un área de 12m<sup>2</sup> y que pueden ser desplazados de forma horizontal por medio de un carro transportador hidráulico. A su vez, dichos módulos pueden ser desplazados de un piso a otro mediante el movimiento vertical de una plataforma en voladizo, evitando así ser desarmados y armados nuevamente para cada vaciado.



*Fig. 2. 45 Dokamatic Table (DOKA, 2016)*

Para la construcción de las losas en el Banco de la Nación se emplearon los sistemas **Dokart Plus**, un equipo diseñado para el traslado de mesas voladoras (ver figura 2.47); **Dokamatic Table**, encofrado de losa de gran superficie (12m<sup>2</sup>) movido como una unidad completa por el Dokart Plus (ver figuras 2.45 y 2.47); el **TLS (Table Lifting System)**, una plataforma que transporta la mesa de un nivel a otro evitando la utilización de grúa (ver figura 2.46) y, por último, la **Protección Perimetral X-Climb60**, una protección que abarca todo el perímetro de la estructura y que puede resistir fuerzas de viento de hasta 72km/h. Dicha protección se emplea para evitar las caídas de objetos y proteger a los trabajadores que realizan sus labores en diferentes niveles. Además, disminuye la sensación de vértigo aumentando la productividad de los trabajadores (ver figura 2.48).

El TLS tiene un servicio de hasta 4 pisos, además cuenta con un cruce seguro entre el edificio y la misma plataforma. Para transportar el Dokamatic Table de un nivel a otro, éste primero es trasladado horizontalmente con el Dokart Plus hasta la plataforma TLS. Luego, se retira temporalmente algunos accesorios de encofrados que están justo en frente de las compuertas del TLS y luego éste, se desplaza verticalmente llevando el sistema a un siguiente nivel sin necesidad de grúa. En dicho siguiente nivel el Dokamatic Table es recibido por un segundo Dokart Plus para ser nuevamente trasladado horizontalmente hasta su nueva posición.



Fig. 2. 46 TLS (Table Lifting System) (DOKA, 2016)



Fig. 2. 47 Dokart Plus y Dokamatic Table – Edificio Banco de la Nación (DOKA, 2016)



Fig. 2. 48 Protección Perimetral X-Climb60 (DOKA, 2016)

## 2.4 SISTEMA DE ENCOFRADO DESLIZANTE

Antes de comenzar a estudiar el Sistema de Encofrado Autotrepante con mayor profundidad, también se hará una breve explicación en lo que se refiere al Sistema de Encofrado Deslizante, el cual ha constituido también una importante aplicación para lo que es la construcción de estructuras elevadas a lo largo de la historia.

### 2.4.1 ANTECEDENTES GENERALES DEL SISTEMA DE ENCOFRADO DESLIZANTE.

El Sistema de Encofrado Deslizante fue una innovación tecnológica que fue desarrollándose a partir del año 1903 en los Estados Unidos iniciando su aparición en la construcción de silos.

En un primer momento, se tenían ciertas limitaciones ya que su sistema de elevación era mecánico. Una principal limitación era que el levantamiento que se realizaba era de forma escalonada haciendo que el sistema no se eleve de manera uniforme. Esto hacía que se genere choques bruscos con el encofrado, los cuales que repercutían en la calidad del concreto y su acabado monolítico.

Sin embargo, con la aparición de los gatos hidráulicos, el sistema de elevación se hizo más eficaz, rápido, conduciendo así a la reducción de los costos, tiempo, número de trabajadores. De esta manera, el producto fue masificándose debido a la mejora de la productividad que permitía en la construcción.

Con el pasar de los años, el sistema de encofrado deslizante fue desarrollándose considerablemente en América del Norte para luego extender su aplicación a los países Sudamericanos. A comienzos de su aplicación, el sistema fue usado para obras industriales, luego extendió sus campos a obras de edificaciones y a diferentes sectores de la construcción.

La primera obra de concreto armado en la cual se empleó el sistema deslizante en el Perú fue en el año 1955 para la construcción de los Silos para granos en el terminal Marítimo del Callao.

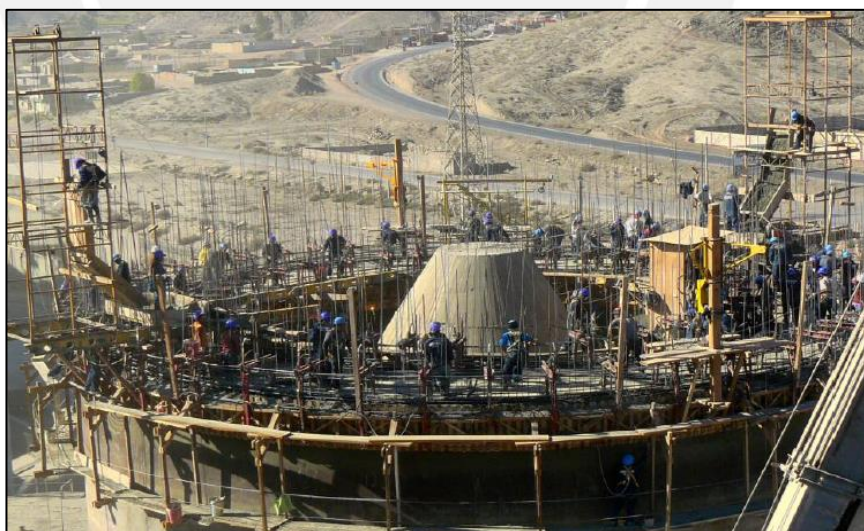
A partir de ahí el sistema deslizante fue ganando aplicación principalmente en la construcción de reservorios elevados, silos, estructuras industriales, más que en el rubro de las edificaciones. (Pinao Elera, 2011).

#### 2.4.2 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DESLIZANTE.

El Sistema de Encofrado deslizante es un sistema que permite construir de manera rápida y continua estructuras verticales de gran altura. El sistema se eleva mediante el accionar de gatos hidráulicos, a velocidades que varían entre los 15 cm/h y 30 cm/h, las cuales por lo general son influenciadas por la velocidad del fraguado del concreto.

El sistema consiste en el empleo de un encofrado de poca altura (1m), el cual puede variar entre 0.90 m a 1.20 m permitiendo el correcto empleo del sistema.

El encofrado deslizante recorre todo el perímetro exterior e interior, tiene construcción sólida y precisa y es montado a nivel de la cimentación. Conforme se eleva el sistema, se va colocando, cada cierto tramo, un arnés metálico que permite afirmar y soportar el encofrado y a la vez sujeta los gatos hidráulicos que permiten la elevación. Los gatos hidráulicos se desplazan sobre una barra maciza, la cual a su vez se apoya sobre el concreto ya fraguado. Posteriormente, se realiza el vaciado del concreto y conforme endurece el sistema se eleva de manera uniforme. Además, se cuenta con la plataforma principal de trabajo, desde la cual se realizan las actividades de vaciado del concreto. Existen también unas plataformas inferiores adicionales a la principal, en las cuales se realizan los trabajos de control de calidad del concreto, trabajos de terminaciones, retiro de marcos dejados para la formación de vanos, entre otras. (Besomi Molina, 2009).



*Fig. 2. 49 Aplicación del Sistema de Encofrados Deslizantes en Silo Yura –Arequipa (Pinao Elera, 2011)*

### 2.4.3 COMPONENTES DEL SISTEMA DESLIZANTE.

Se explicará a continuación a manera general los elementos que conforman el sistema de encofrado deslizante (ver figura 2.50).

- **PANEL DE ENCOFRADO**

El panel de encofrado es el elemento que está en contacto con el concreto, recibe la fuerza de su empuje y le da la forma del mismo.

Los paneles de los encofrados de los sistemas deslizantes se encuentran ensamblados y a diferencia del sistema autotrepantes muchas veces son previstos por la misma empresa que construye, a diferencia de los demás sistemas que por lo general son encargados a empresas externas especializadas.

Se tiene que tener en cuenta que los paneles no deben ser menor a los 0.90 m de altura ya que, al ser el proceso constructivo un proceso continuo, podría darse que el concreto no alcance su fraguado y la mezcla llegue a caer por la parte inferior del encofrado. A su vez, es recomendable que los paneles no sean mayores a 1.20 m de altura ya que la presión del empuje que ejerce el concreto sobre el panel aumentaría teniendo que reforzarse cada vez más el sistema. Suponiendo que los casos mencionados no puedan cumplirse se debe emplear acelerantes que disminuyan el tiempo de fraguado, usar cementos de resistencia alta o usar una dosificación del concreto con baja relación A/C.

- **GATO Y BOMBA HIDRÁULICA.**

Los elementos que permiten el deslizamiento vertical uniforme son los llamados gatos hidráulicos, los cuales recorren todo el perímetro de la estructura a construir y son capaces de levantar la carga vertical que actúa sobre cada uno de ellos.

Adicionalmente, cabe mencionar que nunca se debe trabajar con la capacidad máxima de levante, por lo que se recomienda que la carga que soporte los gatos hidráulicos no sobrepase los 2/3 de la capacidad que pueden soportar.

Además, los gatos hidráulicos pueden operar gracias a la presión de aceite generada por una bomba hidráulica, la cual es capaz de abastecer hasta 50 gatos hidráulicos eficientemente.

- **CABALLETES**

Los caballetes son elementos que soportan a los paneles de encofrado y dan apoyo al sistema de elevación formando un arco rígido conformado por montantes ubicados a cada lado del muro y unidos mediante un travesaño. Adicionalmente, los caballetes dan soporte a las plataformas de trabajo y funcionan también para resistir los empujes del concreto sobre los paneles de encofrado.

Respecto al material, los caballetes son metálicos para asegurar su estabilidad al igual que los gatos hidráulicos, compatibles también con los paneles de encofrado.

- **BARRAS METÁLICAS**

Las barras metálicas funcionan como soporte de todo el sistema deslizante. Éste transmite su carga a las barras metálicas a través de los gatos hidráulicos y finalmente a los muros inferiores o cimentaciones. Dichas barras quedan embebidas en el concreto para evitar que se pandeen. A medida que el sistema se eleva, las barras metálicas van empalmándose unas con otras mediante un atornillado o con soldadura.

- **PLATAFORMAS DE TRABAJO**

El Sistema de Encofrado Deslizante cuenta con una plataforma principal superior y 1 o 2 plataformas inferiores. En la plataforma superior, la cual debe ser mayor a 1.20 m de ancho por la multitud de actividades que se realiza sobre esta, se da la circulación de los trabajadores, funciona como soporte de herramientas, maquinarias e instalaciones, se da los trabajos de vaciado de muros, trabajos de armado de acero, compactación, transporte de materiales, entre otros. En las plataformas inferiores, se realizan trabajos de terminaciones sobre la superficie del concreto, curado del concreto, extracción de marcos para puertas, ventanas o vanos, etc.

(Besomi Molina, 2009)

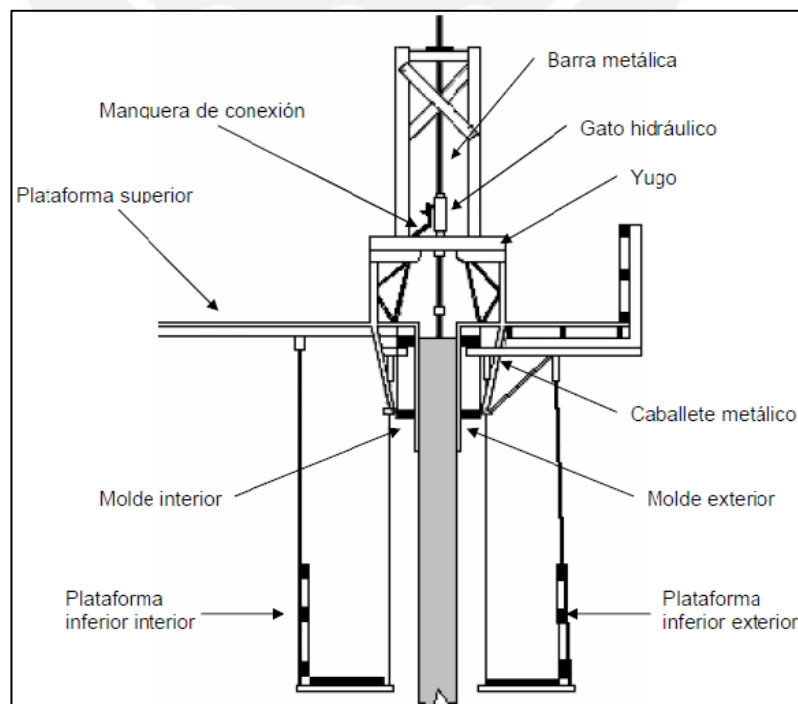


Fig. 2. 50 Elementos que conforman el Sistema de Encofrado Deslizante (Besomi Molina, 2009)

#### 2.4.4 PROCESO CONSTRUCTIVO.

Antes de operar el sistema, y debido a que el encofrado a emplear será usado en toda la construcción, se tendrá especial cuidado en el armado. Para ello se dan los siguientes cuidados.

- Se deberá haber realizado el armado de todo el acero, tanto verticales como sus estribos horizontales. Esto se realizará antes del armado del encofrado y se hará hasta la altura de los travesaños o yugos que soportan los gatos hidráulicos.
- Luego se comienza con el armado del encofrado y, posteriormente, se construye la plataforma superior.
- Los encofrados exteriores deben instalarse e ir muy bien nivelados con su respectivo caballete.
- Los caballetes exteriores e interiores se conectan mediante los yugos metálicos, sobre los cuales se apoyan los gatos hidráulicos y, éstos a la vez, se conectan al sistema hidráulico elevando el sistema a presión.
- Una vez terminado la preparación del encofrado y el aplomado del mismo, se comienza con el vaciado de concreto en capas menores a 25 cm y bien compactadas.
- Como el concreto es vaciado en capas, se posee edades diferentes para cada una de ellas, siendo la capa inferior la de mayor rigidez y la superior la de menor rigidez. La capa inferior permite al concreto mantenerse estable y en su forma, luego se da la elevación de los gatos deslizando el encofrado sobre la superficie del concreto. Es así como el sistema realiza el vaciado de concreto y su respectiva elevación partiendo de una salida rígida.
- AL haber realizado la elevación, ya es posible comenzar las operaciones de armado de acero.
- Conforme la estructura avanza se deberá ir revisando los niveles, así como posibles movimientos laterales que pueda ir sufriendo el sistema de encofrado. Además, se controlará la calidad de la superficie del concreto y de los restos de mezcla que puede salir por la parte inferior del molde. En este caso, se deberá disminuir la velocidad de elevación.

Al ser el sistema de encofrado deslizante un proceso continuo, éste depende de realizar una buena planificación de las partidas de acero y de vaciado de concreto, así como en el transporte de los materiales, de esta manera, se evitará interrumpir el izado del sistema y el proceso continuo de su mecanismo. (Besomi Molina, 2009)

#### 2.4.5 POSIBLES PROBLEMAS EN EL USO DE SISTEMAS DESLIZANTES.

El encofrado deslizante, a diferencia del encofrado autotrepante, es elevado por un sistema hidráulico en un proceso continuo; por lo tanto, el cuidado y el control durante la elevación es mayor. A continuación, se mencionarán los problemas más resaltantes a tener en cuenta para su uso en construcciones verticales.

##### • **DESPLOMES EN LA ELEVACIÓN DE LA ESTRUCTURA**

Son producidos por el movimiento horizontal de las plataformas durante la elevación que pueden ser originados por los vientos, por las deformaciones en los moldes, presiones del concreto fresco, por las diferencias de peso a lo largo de las plataformas u otros.

Para ello, se colocan plomos que cuelgan debajo de la plataforma superior como punto de referencia en el muro hasta la altura de los cimientos de la estructura. Se anota la distancia entre el plomo y el muro, dicha distancia debe permanecer constante. Caso contrario, si el desplome supere los 5mm se pasa a corregir.

El procedimiento para corregir los posibles desplomes es desnivelar el molde repartiendo el desnivel en cada gato hidráulico según su ubicación para luego tomar de nuevo la posición correcta y corregir los errores de plomo.

El desplome no controlado puede conllevar a la demolición de la estructura hasta la altura en la que se pueda corregir el problema. Por esta razón si se detecta algún desplome se debe corregir inmediatamente.

##### • **GIROS DEL SISTEMA**

Es posible que el sistema presente una rotación durante el deslizamiento, lo que puede ocasionar el pandeo de las barras metálicas, pues, al pandearse una barra, deja de tomar carga y, debido a la rigidez del sistema, aquella se transmite a los dos gatos lindantes. Esto ocasionaría el pandeo de las demás barras, generando de esta manera un problema de estabilidad y de un ciclo vicioso y obligando a detener el deslizamiento.

Estos giros son producidos por la elevación discontinua de los gatos, por mayor deslizamiento cuando el concreto se encuentra muy fresco o por mayor velocidad de elevación de los gatos hidráulicos, entre otros.

Para el control de este problema se utilizan los mismos plomos mencionados anteriormente. Se observa en el muro, a nivel de los cimientos, el desplazamiento horizontal del plomo respecto del punto de referencia. Si se concreta que el giro es

mayor a 1cm, entonces se pasa a corregir, colocando fierros diagonales de diámetros que sean mayores a 28mm y de 3 m de longitud en el concreto fresco apoyados contra los yugos. Estos se disponen en sentido opuesto al giro para que provoque una fuerza en sentido contrario del molde a medida que avanza el deslizado; de esta manera, recuperar la correcta posición de deslizamiento.

#### • **ENDURECIMIENTO DEL CONCRETO**

La velocidad del deslizamiento depende de la velocidad del fraguado del concreto y de la temperatura del concreto. Si la temperatura es menor, el endurecimiento del concreto será menor y, por consecuencia, la velocidad de deslizado también será menor.

#### • **CANGREJERAS**

Se pueden producir por arrastre de áridos (partículas sueltas por el mal secado del concreto) durante el deslizado. Su causa es dada por la baja trabajabilidad del concreto, por lo que se debe agregar un aditivo plastificante que no afecte la resistencia del concreto si se mantiene la misma relación A/C.

#### • **FISURAS EN EL CONCRETO**

Cuando el molde no tiene la inclinación correcta, se produce un arrastre del concreto por el encofrado. La alta adherencia del concreto al molde o un relleno del concreto en capas muy altas también son causas que originan dicho problema.

Para prevenirlas, se debe asegurar un buen curado del concreto, manteniéndolo cubierto de agua o cubierto con membranas de curado durante todo su proceso.

#### • **POBRE RECUBRIMIENTO DE ARMADURAS**

Es producida por inadecuada colocación de aceros o falta de separadores para la armadura. Esto ocasiona que la armadura se pegue a la superficie del encofrado y pierda su recubrimiento mínimo, pues al retirar el molde deslizante, el concreto se despegue de aquella armadura.

Para solucionar este problema, se debe tener especial cuidado en la colocación de separadores garantizando el recubrimiento mínimo.

#### • **DETENCIÓN DE DESLIZAMIENTO**

El encofrado deslizante se caracteriza por ser un proceso continuo y no detenerse. Si por alguna razón se detiene, el concreto se endurece y los moldes quedan pegados al muro, por lo que se debería desencofrar, limpiar y armar nuevamente los moldes; provocando así una mayor duración de la obra y desgaste de los

encofrados. Si esto ocurriese a gran altura se debería armar andamios para el desmoldaje y volverlos a armar. La causa principal de la detención del encofrado es por desperfecciones de la maquinaria, por lo que es necesario contar con repuestos para poder sustituir los dispositivos perjudicados.

(Besomi Molina, 2009)

#### 2.4.6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS ENCOFRADOS DESLIZANTES

De manera general, se explicarán a continuación las principales ventajas y desventajas del sistema deslizante.

##### 2.4.6.1 VENTAJAS

- **JUNTAS DE CONCRETO**

Al ser el Sistema de Encofrado deslizante un proceso continuo, no existen juntas en el concreto, como sí las hay en el Sistema Autotrepante. Ello hace que la estructura resulte tener mayor resistencia y la no necesidad del empleo de epóxicos para su tratamiento.

- **BAJO USO DE RECURSOS**

Al ser un mecanismo de proceso continuo, la planificación de la obra no se ve afectada por la pérdida de tiempo de acopio de materiales por mucho tiempo. Además, el proceso es repetitivo, haciendo que se emplee el mismo encofrado conforme el sistema se va elevando. Al ser un proceso repetitivo, se logran ahorros en costo de mano de obra y materiales, ya que los trabajadores van especializando y optimizando su trabajo a medida que la construcción avanza.

- **BUENA DE TERMINACIÓN EN LA SUPERFICIE DEL CONCRETO**

El Sistema de Encofrado Deslizante no produce juntas frías al ser un proceso de elevación continuo. Las marcas que se generan son por la misma elevación del encofrado; sin embargo, la superficie del encofrado sigue siendo lisa y fáciles de tratar en las plataformas inferiores.

- **SISTEMA REUTILIZABLE**

Todos los elementos que conforman el Sistema de Encofrado Deslizante pueden ser reutilizables en alguna otra obra ya que no sufren daños importantes y es que con un adecuado mantenimiento quedan listos para ser usados nuevamente.

De todos los elementos que conforman el sistema, los gatos hidráulicos y el panel de encofrado son los que más sufren desgaste. En el caso de los gatos hidráulicos se debe desarmar y hacer limpieza de cada parte que lo conforma, en el caso del

encofrado, se deber hacerse el mantenimiento adecuado ya que es el elemento que está en contacto roce con el concreto.

(Pinao Elera, 2011)

#### 2.4.6.2 DESVENTAJAS

- **MANO DE OBRA ESPECIALIZADA**

Al no ser un sistema de encofrado muy utilizado, se requiere de trabajadores que estén familiarizados con él, ya que puede ocurrir cualquier eventualidad o un mal funcionamiento de algún elemento, pudiendo así, originar una detención prolongada del sistema y grandes pérdidas económicas. Además, al ser un trabajo en altura, los obreros deben estar capacitados con las normas de seguridad correspondientes.

- **MONTAJE PRECISO DEL SISTEMA**

El sistema de montado entre todos los elementos del sistema debe ser preciso. De no ser así, se puede dar origen a los desplomes y giros de la estructura. Es por ello que los encofrados deben quedar perfectamente nivelados desde el inicio de la construcción.

- **REVISIÓN RIGUROSA ANTES Y DURANTE LA ELEVACIÓN**

Se debe dar revisión y prueba de cada componente para evitar detenciones en la obra. Se debe además contar con duplicados de los elementos, ya que, si uno de ellos sufriera algún desperfecto, no es fácil encontrarlos en el mercado.

- **LIMITACIÓN EN EL ESPESOR DE LA ESTRUCTURA**

Es recomendable construir muros con espesores mayores a 0.15 m. Esto debido a que el peso del concreto que se encuentra en el interior del encofrado debe ser mayor a la fuerza de roce que produce la cara de éste sobre la mezcla para que no arrastre a la misma. Es cierto que la fuerza de roce depende de la rugosidad del encofrado y la dosificación de la mezcla, pero también es importante considerar el espesor del muro para efectos del peso que pueda tener el concreto.

(Pinao Elera, 2011).

#### 2.4.7 CONTROL Y CUIDADOS ESPECIALES EN EL USO DE ENCOFRADOS DESLIZANTES.

En el inicio del deslizamiento del encofrado es probable que sucedan defectos por causa de errores previos, ya sea en el montaje y/o armado del encofrado o los errores momentáneos que también pueden suceder. Para evitar estos problemas se debe llevar un correcto control de calidad de todo el proceso del encofrado.

Los problemas típicos de este tipo de encofrados son, en especial, relacionados al concreto, tales como las segregaciones, zonas macroporosas, roturas o arrastres. No obstante, estos problemas pueden ser solucionados cuando el concreto aún se encuentra en estado plástico.

A continuación, se mencionarán los problemas más comunes que presentan los encofrados deslizantes y las soluciones a tener en cuenta:

##### **a. DETERIORO DE UNA GRÚA O DEL WINCHE DE ELEVACIÓN**

Para este caso se debe contar con un medio de elevación de reserva y continuar con el proceso de deslizamiento a la cadencia que lo permita, la cual debe ser mayor a la cadencia mínima que impida que el molde se pegue y que permita colocar el concreto sin que la capa precedente haya fraguado.

Sin embargo, en el caso que solo se cuente con un medio de elevación, se debe nivelar la última capa de concreto y continuar deslizando el molde en vacío hasta que el concreto se haya fraguado para luego paralizar el deslizamiento. Cuando se haya terminado de reparar el medio de elevación, se procede a reanudar el proceso de deslizamiento, para lo cual ya se debió haber limpiado el molde y las plataformas de trabajo.

De igual modo se recomienda consultar, de antemano, al calculista si alguna zona de la estructura requerirá de algún refuerzo extra si se llega a paralizar el proceso de deslizamiento.

##### **b. DESPERFECTO EN LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA**

Reparar la avería. Si la falla es la falta de alimentación, se procede a utilizar el generador eléctrico de reserva con un tiempo de interrupción de la energía como máximo de media hora. No obstante, si la avería es general, el encofrado se eleva con bombas de mano evitando que éste se pegue al concreto.

##### **c. DESPERFECTO DE UNA BOMBA DE ACEITE**

La elevación continúa por medio de la segunda bomba, recurriendo del circuito que conecta las dos bombas entre sí, mientras se repara o reemplaza la bomba averiada.

#### **d. AVERÍA DE UN GATO HIDRÁULICO**

Reemplazar el gato por uno en buen estado, por lo que primero se debe transferir las cargas a los gatos vecinos por medio de vigas metálicas o de madera. Este trabajo, de desmontar y reemplazar el gato hidráulico debe durar menos de media hora.

#### **e. DESPLOME DE PAREDES Y PÉRDIDA DEL CONTROL DE NIVEL**

Primero, se debe determinar hacia qué lado el molde se está inclinando, por lo que se determina la resultante del desplazamiento del molde y se traza una línea perpendicular a dicha resultante. Luego, las gatas que se han adelantado más, son bloqueadas y el resto se siguen elevando durante dos o más elevaciones hasta que el sistema se haya equilibrado. Cada 1 o 2 metros se deben verificar las elevaciones para corregir el sistema.

Normalmente, la inclinación del encofrado se da para el lado donde se encuentra la plataforma de elevación del concreto, ya que es el lugar donde hay más carga, debido a su distribución no uniforme.

En caso de que no se la inclinación no se pueda corregir del todo, evitar que aumente y se salga de los límites permisibles (+/- 3mm/m).

#### **f. GIRO DEL MOLDE EN CÉLULAS CIRCULARES**

Cuando se mide la posición horizontal de los ejes principales que controla el deslizamiento, también se observa cuánto giraron estos ejes respecto a su posición inicial.

La distribución no uniforme de las cargas, circulación y colocación del concreto en un solo sentido, montaje inclinado de las barras y gatos, y la colocación del acero horizontal en espiral en un mismo sentido son causas del giro en las estructuras circulares

Para el control y corrección del giro del molde, se recomienda usar tragables o tirfors, y/o tecles. Estos se fijan al molde a un punto de la estructura o algún punto fijo exterior, en la que el cable se irá soltando suavemente mientras se desliza el encofrado. Cada dos horas se irá controlando la corrección del giro para evitar que el sentido se invierta. Además, la circulación del personal para la colocación del concreto se deberá invertir hasta que el giro sea estabilizado y luego rotar la circulación del personal cada dos horas.

#### **g. PANDEO DE LAS BARRAS DE APOYO**

Los que presentan mayor tendencia al pandeo son las barras que atraviesan los vanos. Cuando esto sucede, las barras deben ser cambiadas y el vano y el dintel deben ser bien apuntalados, transmitir las cargas a los gatos vecinos y desmontar

las barras que han sido pandeadas para ser reemplazadas por otras barras apoyadas sobre una plancha metálica que distribuya la carga en la zona de concreto ya endurecido. Determinar la causa de la falla de las barras y las barras que no han fallado, verificar, arriostrar, apuntalar y reforzar.

#### **h. SURCOS VERTICALES EN LAS PAREDES**

Aparecen a la altura de las piezas de separación para conservar el recubrimiento de concreto en el acero de refuerzo. La causa puede ser la longitud excesiva de las piezas o la velocidad reducida del deslizamiento del concreto, por lo que la longitud de las piezas debe estar entre 15 y 25 cm y aumentar la velocidad del deslizamiento al punto que corresponda con la calidad del concreto y las condiciones ambientales.

Los surcos verticales se deben arreglar desde la plataforma inferior con el uso de mortero de cemento para cubrirlos y resanarlos.

#### **i. ZONAS DE CONCRETO POROSAS Y CON CANGREJERAS**

Por lo general se presentan en zonas que no se hayan compactado correctamente. Para ello se debe indicar al capataz de vaciado que verifique el correcto vibrado del concreto.

Para su solución, se retira el concreto superficial que se encuentra suelto y pañetar dicha zona con un concreto de la misma calidad. Sin embargo, si la zona dañada es grave, se recomienda colocar un grouting de mayor calidad o usar un mortero de reparación

#### **j. EL CAMBIO DE LA FORMA EN PLANTA DEL ENCOFRADO**

Para evitarlo y controlarlo, se recomienda utilizar tirantes radiales, los cuales se conservan tensos o flojos según se necesite. El principio de funcionamiento es igual al aro de una bicicleta.

#### **k. LLUVIAS Y/O GRANIZADAS**

Prever con anticipación el suministro, habilitación, montaje y colocación de un toldo que proteja las plataformas interiores y exteriores de trabajo. La plataforma de trabajo superior debe estar inclinada en forma contraria a las paredes de concreto, con el fin de evitar que el agua desagüe hacia el molde. Asimismo, evaluar de anticipo la calidad y dosificación del concreto a emplear. Se recomienda utilizar concreto seco y mantener lleno el molde en todo momento.

#### **l. CLIMAS FRÍOS**

Proteger el concreto hasta que supere su resistencia crítica de 35 kg/cm<sup>2</sup>. Para esto, se cubren las plataformas exteriores con manta de yute o geo textil; asimismo,

colocar estufas eléctricas distribuidas en todo su perímetro con el fin de mantener el concreto a 13°C según se indica en la normal ACI 306 R-88.

(Pinao Elera, 2011)

## **CAPÍTULO 3**

### **3.- PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL SISTEMA AUTOTREPANTE (ATR)**

#### **3.1. EJECUCIÓN DE TRABAJOS PREVIOS**

Se detalla a continuación los trabajos previos que se ejecutan antes de comenzar el proceso de encofrado autotrepante.

##### **3.1.1. REPLANTEO DE LA CONSTRUCCIÓN**

Para la construcción, se realiza un replanteo con suma precisión teniendo en cuenta las tolerancias admisibles dentro del proyecto. Para este trabajo se emplea hitos de concreto y equipos de alta precisión (teodolito o la estación total), los cuales deben ser operados por profesionales capacitados.

Para evitar que los hitos sean modificados o manipulados se sugiere ubicarlos fuera de la construcción de obra.

##### **3.1.2. COLOCACIÓN DEL CONCRETO EN LOS CIMENTOS**

Se debe ser sumamente riguroso con la buena supervisión de la colocación de la armadura vertical. Ésta debe estar asegurada contra posibles desplazamientos laterales que pueden darse debido al empuje que recibe por parte del concreto durante el vaciado de la cimentación. De no ser así, la desviación de la armadura podría dar como consecuencia un montaje incorrecto del Sistema de Encofrado o causar problemas en el izaje del molde.

Para el inicio de las paredes, es recomendable usar varillas de 3, 4.5 y 6 m como armadura vertical para que los empalmes no resulten estar en un mismo plano horizontal. Adicionalmente evita posibles retrasos en el ascenso del encofrado, en el acopio excesivo en la plataforma de trabajo, entre otros.

Por último, para el apoyo del encofrado se debe asegurar una perfecta horizontalidad para que más adelante no se presente problemas con el montaje del encofrado.

(Pinao Elera, 2011)

##### **3.1.3. PREPARACIÓN DE LA ARMADURA**

Toda la armadura de refuerzo de los muros debe estar habilitada, correctamente catalogada y separadas por paquetes según las zonas donde se emplearán de acuerdo como dicen los planos antes de empezar con los trabajos con el encofrado.

Para las barras verticales de refuerzo, es recomendable que sean de una longitud de 4.5m, puesto que, a mayor longitud, mayor tendencia a inclinarse, por tanto, será más difícil mantener la barra en posición vertical. (Pinao Elera, 2011)

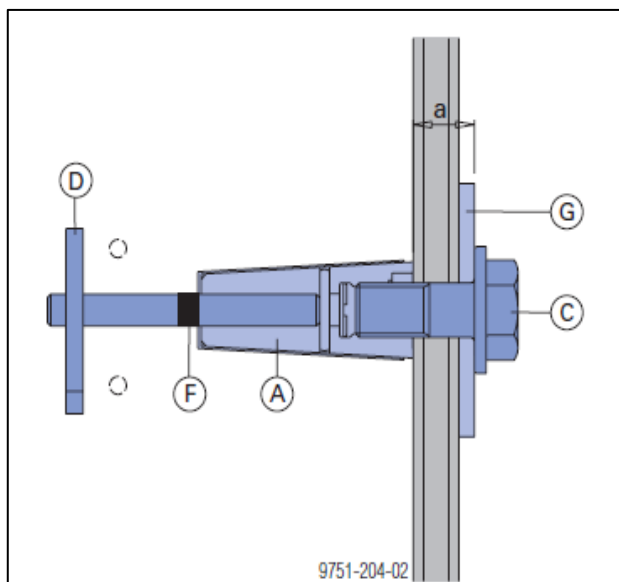
#### 3.1.4. PREPARACIÓN DE LOS PUNTOS DE POSICIONADO Y DE LOS PUNTOS DE SUSPENSIÓN

Se detallan algunos cuidados que se tienen que tener en cuenta al momento de la preparación de los anclajes

- Se debe introducir los anclajes cola de cochino o los anclajes muertos en el cono de trepado universal siempre hasta el tope (marca). El hecho de que se atornille muy poco puede generar que se reduzca la capacidad de carga y el punto de suspensión pueda fallar generando accidentes.
- Emplear de manera exclusiva los tornillos de cono B7 cm para los puntos de posicionado y puntos de suspensión.
- Se debe evitar que el concreto sea vertido directamente sobre el anclaje cola de cochino y anclaje muerto, además al momento de vibrar el concreto, éste no debe chocarlos. De esta manera, se evita que los anclajes se suelten durante el proceso de vaciado y vibrado.
- El eje del cono de trepado universal debe ubicarse en ángulo recto con la superficie de concreto (2 grados de desviación máxima).
- Para la colocación de los puntos de posicionado y de suspensión se debe tener una tolerancia de  $\pm 1$  cm en sentido vertical y horizontal.

(Doka Perú SAC, 2008)

#### PUNTO DE POSICIONADO CON TORNILLO DE CONO B 7CM (CON PERFORACIÓN DE LA SUPERFICIE DE ENCOFRADO)



- A. Cono de trepado universal
- C. Tornillo de cono B 7cm
- D. Anclaje muerto
- F. Marca
- G. Protección de forro de cono B 7cm

Fig. 3. 1 Punto de posicionado con tornillo de cono B 7cm (Doka Perú SAC, 2008)

- sujetar placa universal C en el forro del encofrado
- Perforar orificio de  $\varnothing = 30$  mm en la superficie del encofrado.
- Introducir el tornillo de cono B 7cm (C) a través del forro del encofrado, atornillarlo en el cono de trepado universal (A) y sujetarlo firmemente.
- Atornillar el anclaje muerto o el anclaje cola de cochino (D) en el cono de trepado universal A hasta el tope (marca) F. En caso del anclaje cola de cochino, éste debe estar mirando hacia abajo

### SOPORTES DE SUSPENSIÓN

La función de los soportes de suspensión es suspender de manera segura los mecanismos de trepado en todas las fases del proceso constructivo.

#### Soporte de Suspensión SKE 50 rígido

Empleados para una suspensión segura del carro de trepado y del perfil de trepado.

Se sujeta con los siguientes:

- tornillos de cono B 7 cm en el
- cono de trepado universal.

Ver figura 3.2

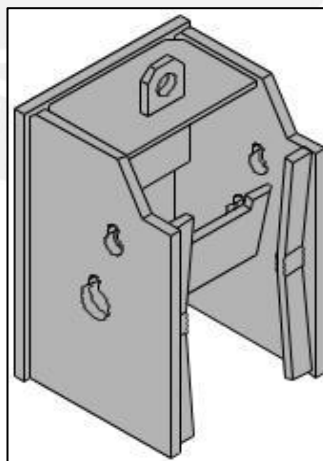


Fig. 3. 2 Soporte de Suspensión SKE 50 rígido (Doka Perú SAC, 2008)

## PUNTO DE SUSPENSIÓN

Fijar el soporte de suspensión SKE (K) con el tornillo de cono B 7 cm (C) en el cono de trepado universal 15,0 (A). Es suficiente un momento de apriete de 100 Nm (20 kg con unos 50 cm de longitud). Ver figura 3.3

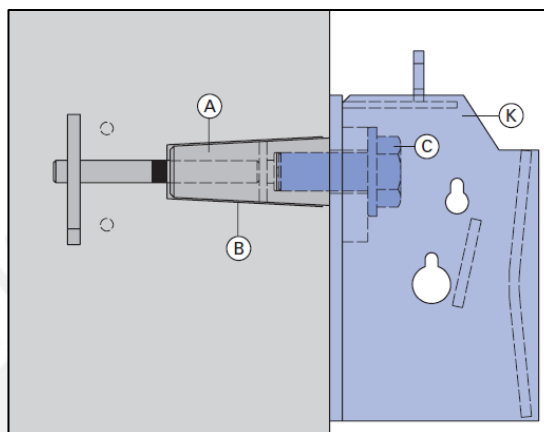


Fig. 3. 3 Punto de Suspensión SKE 50 rígido (Doka Perú SAC, 2008)

Para enroscar y fijar el tornillo de cono B 7 cm en el cono de trepado universal solo se puede emplear la carraca reversible  $\frac{3}{4}$ ". Ver figura 3.4

Carraca reversible 3/4"	Carraca reversible 3/4" con prolongación	Elemento accionador MF 3/4"
 Tr687-200-01	 Tr687-200-01	 Tr687-200-01

Fig. 3. 4 Forma de uso del tornillo de cono B 7 cm (Doka Perú SAC, 2008)

La resistencia cúbica necesaria del concreto para soportar las cargas de anclaje existentes depende de los siguientes factores:

- Longitud del anclaje muerto o anclaje cola de cochino
- Armadura
- Distancia al borde

Valor mínimo de la resistencia cúbica característica ( $f_{ck, cube}$ ):  $10 \text{ N/mm}^2$   
( $100\text{kg/cm}^2$ )

(Doka Perú SAC, 2008)

### 3.2. ETAPAS DURANTE EL VACIADO DE CONCRETO

Para explicar a detalle las etapas del vaciado de concreto, se ha tomado como base el empleo del Sistema de Encofrado Autotrepante SKE 50, el cual fue un tipo de Sistema ATR empleado por la empresa COSAPI para la construcción de la Nueva Sede del Banco de la Nación.

#### 3.2.1. FASES DE TREPADO

El ciclo promedio de una fase de trepado es de 5 días, el cual se distribuye de la siguiente manera:

- Día 1 y 2:

Se coloca la armadura

- Día 3:

Se cierra el panel de encofrado y vacía el muro

- Día 4:

El concreto se queda encofrado y se espera que la resistencia del concreto alcance una resistencia mínima aproximada de  $150\text{kg/cm}^2$

- Día 5:

El muro vaciado y habiendo ganado la resistencia mínima, se desencofra, se realiza el curado y se procede al trepado.

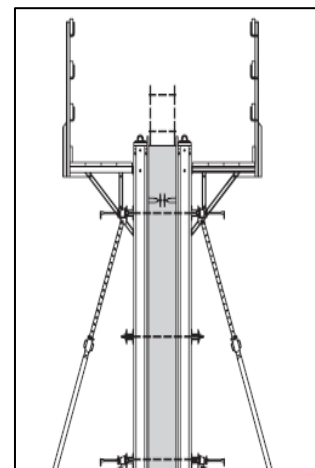
Se debe respetar esta resistencia mínima especificada; caso contrario, es muy probable que el concreto se fisure y que no llegue a la resistencia final adecuada.

El uso de este sistema es recomendable para construcciones de edificaciones de gran altura. Esto, debido a que la productividad resulta ser mejor comparada con otros sistemas conforme va aumentando la altura. (Besomi Molina, 2009)

### Fases Iniciales del Sistema Autotrepante SKE 50

#### Vaciado de la 1ra capa

- Se prepara el encofrado de un lado
- Se monta los puntos de posicionado (puntos de anclaje)
- Colocación del acero para el concreto
- Se cierra el encofrado



- Se vacía la capa

Ver figura 3.5

Fig. 3. 5 Vaciado de la 1° capa  
(Doka Perú SAC, 2008)

#### Vaciado de la segunda capa

- Se monta el soporte de suspensión
- Se cuelga la unidad de trepado en el soporte de suspensión
- Se coloca el encofrado en la ménsula de trepado
- Se monta los puntos de posicionado (puntos de anclaje)
- Colocación del acero para el concreto
- Se cierra el encofrado
- Se vacía la capa

Ver figura 3.6

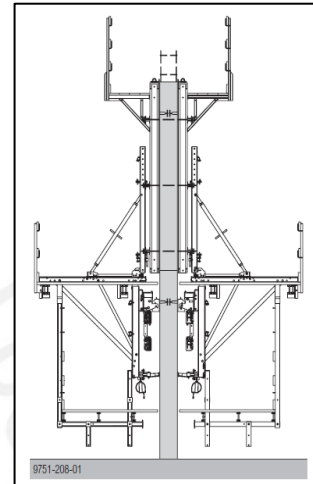


Fig. 3. 6 Vaciado de la 2° capa  
(Doka Perú SAC, 2008)

#### Primer Trepado Hidráulico

- Se realiza el desencofrado y se limpia el encofrado
- Se monta el soporte de suspensión superior
- Se engancha el perfil de trepado con la grúa
- Se monta la placa de trepado del perfil SKE50
- Se realiza la elevación hidráulica de la unidad de trepado junto con el encofrado

Ver figura 3.7

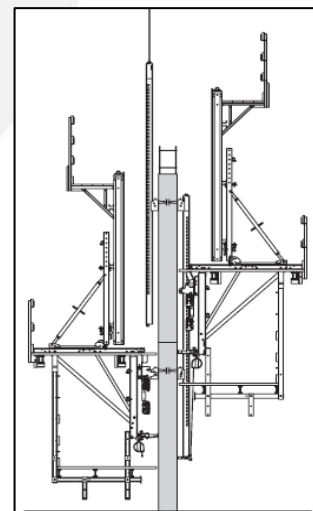
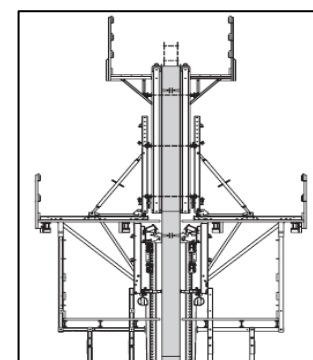


Fig. 3. 7 Primer trepado  
hidráulico (Doka Perú SAC,  
2008)

#### Vaciado de concreto de la 3° capa:

- Se monta la plataforma la plataforma suspendida del nivel 2



- Se prepara el encofrado de un lado
- Se monta los puntos de posicionado (puntos de anclaje)
- Colocación del acero para el concreto
- Se cierra el encofrado
- Se realiza el vaciado en la capa

Ver figura 3.8

### Fases estándar

#### Trepado

- Se realiza el desencofrado y limpieza
- Se monta el soporte de suspensión superior
- Se eleva hidráulicamente el perfil de trepado
- Se desmonta el soporte de suspensión inferior
- Se eleva hidráulicamente la unidad de trepado junto con el encofrado

Ver figura 3.9

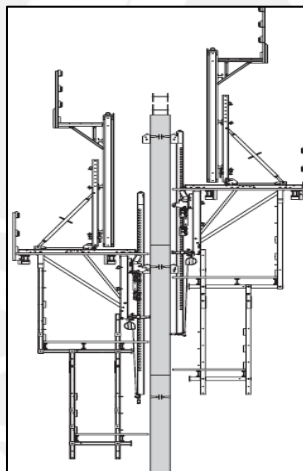


Fig. 3.9 Trepado (Doka Perú SAC, 2008)

#### Vaciado de Concreto

- Se prepara el encofrado de un lado
- Se monta los puntos de posicionado (puntos de anclaje)
- Colocación del acero para el concreto
- Se cierra el encofrado
- Se vacía el concreto en la capa

Ver figura 3.10

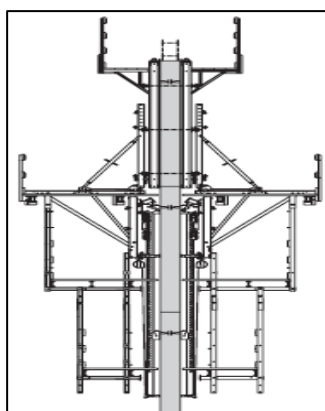
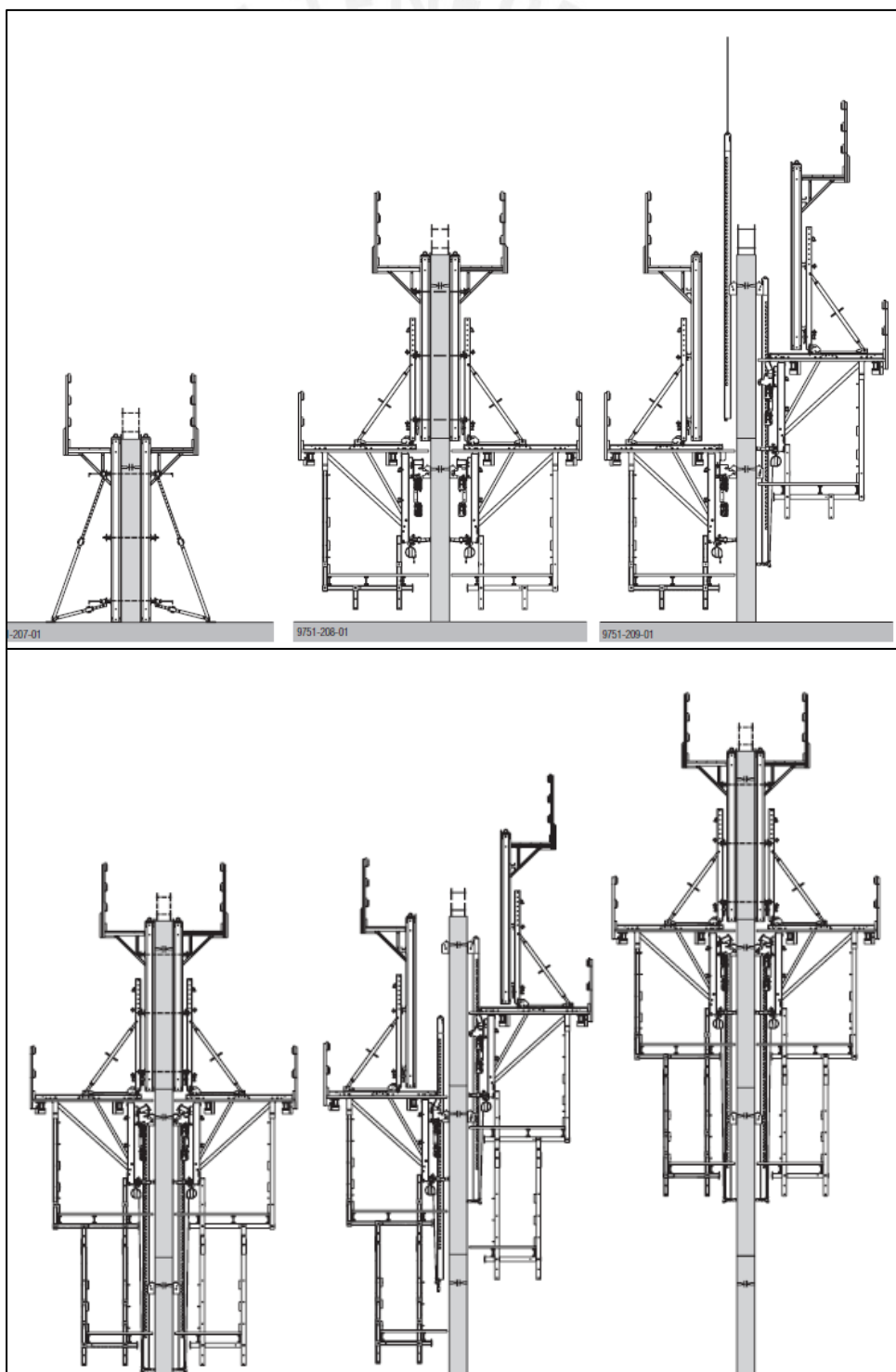


Fig. 3.8 Vaciado de concreto de la 3ª capa (Doka Perú SAC, 2008)

Fig. 3.10 Vaciado de Concreto  
(Doka Perú SAC, 2008)

Para la continuación del proceso constructivo se siguen los pasos especificados de forma alternada de las fases estándar. Ver figura 3.11  
(Doka Perú SAC, 2008)



## CAPÍTULO 4

### 4.- APLICACIONES DIVERSAS DEL SISTEMA DE ENCOFRADO AUTOTREPANTE, VENTAJAS Y DESVENTAJAS.

#### 4.1. APLICACIÓN DE LOS ENCOFRADOS AUTOTREPANTES

El empleo del Sistema de Encofrado Autotrepante presenta una variedad de aplicaciones, las cuales abarca a las diferentes construcciones verticales que pudiera haber. A continuación, se clasificará a las construcciones según su función y rubro al que pertenecen con el fin de dar a conocer una visión más general sobre las aplicaciones que el Sistema ATR tiene en ellas.

##### 4.1.1 ESTRUCTURAS DE EDIFICACIONES

Empleo del Sistema ATR para la construcción del núcleo de ascensores con una estructura generalmente simétrica en edificaciones de oficinas y viviendas multifamiliares con pisos de arquitectura simple, con pisos repetitivos. (Ver figura 4.1).



Fig. 4. 1 Sistema ATR en núcleo de estructuras de edificaciones (CosapiOficial, 2015)

#### 4.1.2 ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS, MINERAS Y DE FÁBRICA.

- Pilas y pilares de puentes: Pueden ser circulares, rectangulares, sección llena o hueca, etc. (ver figura 4.2).
- Presas: ejemplo presas de arco.
- Chimeneas, pozos de mina, canales, plataformas marinas.



*Fig. 4. 2 Sistema ATR en ejecución de pilas (ULMA CONSTRUCCION, s.f.)*

#### 4.1.3 CONSTRUCCIONES INDUSTRIALES

- **Silos**  
Depósitos para almacenamiento y conservación de materiales granulares: cemento, Clinker, cal, etc. Estructuras altas de sección constante en toda su altura (ver figura 4.3)



Fig. 4. 3 Sistema ATR en silos (PERI, s.f.)

- **Torres industriales**
  - ✓ Torres de refrigeración
  - ✓ Estructuras de pozos de minas
  - ✓ Torres de granulación en la industria química
- **Muros y pilares de edificios industriales**  
Construcciones de gran altura y sección constante.

#### 4.1.4 TORRES ELEVADAS.

- Torres de televisión: Construcciones que pueden alcanzar entre los 200 m y 300 m
- Faros
- Torres panorámicas

(Pinao Elera, 2011)

#### 4.2.- VENTAJAS DEL EMPLEO DE LOS ENCOFRADOS AUTOTREPANTES

1. Al ser un proceso de trepado repetitivo, permite que las diferentes operaciones que se ejecutan se mecanicen reduciendo así los plazos de ejecución.
2. Versátil: adaptable a geometrías complejas de muro, seguridad y espacios de trabajo entre muro y encofrado (ver figura 4.4)



Fig. 4. 4 Empleo del Sistema ATR en núcleos con geometría irregular (ULMA CONSTRUCCION, 2011)

3. Sistema de encofrado con el cual se puede realizar varias funciones ante todos los tipos de necesidades de construcciones de gran altura como

colocación de armadura, vaciado de concreto, acabado de paredes, curado, entre otros.

4. Autonomía casi total de la torre grúa, ya que permite el izado simultáneo del encofrado, las plataformas de trabajo y distribuidor de concreto.
5. Debido al accionar del empuje hidráulico el Sistema Autotrepante genera ritmos de ejecución muy elevados con respecto a otros sistemas de encofrado.
6. Sistema Hidráulico configurable de acuerdo a la necesidad del proyecto: controla las cargas de cada cilindro por separado y central hidráulica permite accionar hasta 12 cilindros en simultáneo permitiendo el izado de grandes conjuntos.
7. El proceso constructivo es más seguro debido a que los trabajos se realizan sobre plataformas amplias y protegidas, haciendo que el ritmo de trabajo sea más rápido todo el tiempo. La figura 4.5 muestra la seguridad perimetral del Sistema ATR.



*Fig. 4. 5 Seguridad Perimetral en Sistema Autotrepante  
(CosapiOficial, 2015)*

8. Se adquiere una mejor calidad de las estructuras debido a que al usar este sistema de encofrado resulta un mejor acabado en ellas y evita trabajos rehechos en un futuro.
9. Se suprime el montaje de andamios para retoques y correcciones superficiales ya que estos trabajos se realizan conforme avanza la construcción.

10. Se consigue un menor desperdicio de los materiales y como consecuencia una mayor economía.
11. Sistema operativo incluso en condiciones meteorológicas adversas, incluso en climas fríos donde la temperatura desciende bajo los 15 grados C asegurando la continuidad de la ejecución de los muros.
12. Optimización de secuencia de trabajos. En el caso del método de construcción de núcleo por delante, los posibles retrasos no afectan las otras secuencias de construcción.

#### 4.3.- DESVENTAJAS DEL EMPLEO DE LOS ENCOFRADOS

##### AUTOTREPANTES

1. Se generan restricciones con respecto al diseño arquitectónico ya que las estructuras a construirse por lo general están compuestas con muros continuos en su altura sin elementos que sobresalgan.
2. En un inicio se requiere una buena inversión para costear los equipos, maquinarias menores, materiales, piezas estandarizadas, etc.
3. Al ser un sistema que es más conveniente para proyectos de gran altura, se puede justificar la fuerte inversión que se realiza al comienzo de la obra. Sin embargo, estos gastos no siempre se pueden ver justificado en el presupuesto de la misma obra, si no que puede ser reflejado recién en futuras obras.
4. Existe un riesgo mayor en la verticalidad de la estructura, ya que, al no ser controlada y corregida a tiempo, los desplomes generados puede que se ocasionen futuros problemas en la construcción.
5. Para cumplir con las respectivas etapas de vaciado se debe esperar a que el concreto alcance una resistencia mínima de 150 kg /cm<sup>2</sup> para poder desencofrar en 24 horas. Esto requiere que la mezcla cuente con cementos de alta resistencia o incorporando aditivos acelerantes que disminuya el tiempo de fraguado. Esta desventaja se puede notar más aún en climas adversos, ya que en climas fríos el concreto aumenta su tiempo para fraguado.
6. Al desencofrar un muro y vaciar la continuación de éste, se generan juntas frías debido al tiempo de 2 días que se necesita esperar para que se llegue a tener un cierto endurecimiento. Por ende, aquellas juntas deben ser tratadas para que no disminuya la resistencia final de la estructura.
7. Pérdida de piezas pequeñas ya que los trabajadores las dejan caer a las plataformas por descuido.

8. Mano de obra especializada  
(Besomi Molina, 2009)

## CAPÍTULO 5

### 5. PRODUCTIVIDAD ENTRE EL SISTEMA DE ENCOFRADO AUTOTREPANTE Y EL SISTEMA DE ENCOFRADO METÁLICO CONVENCIONAL.

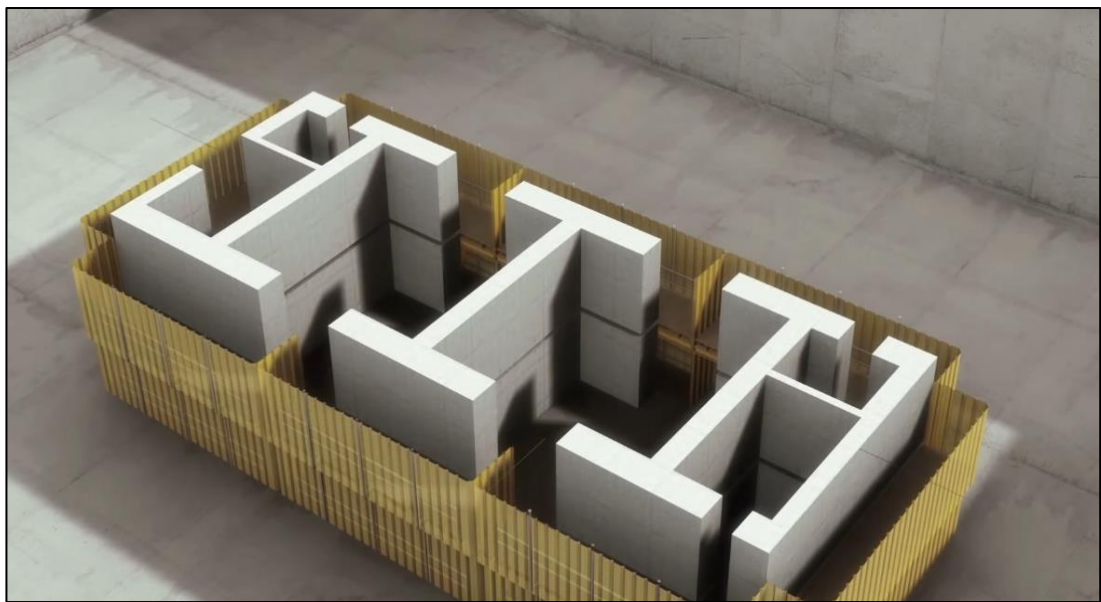
Los Sistemas de Encofrado presentados en los capítulos anteriores poseen una alta presencia en el mercado de la construcción. Como se ha visto en primera instancia, se ha desarrollado principalmente conceptos del Sistema de Encofrado Autotrepante y del Sistema de Encofrado Metálico Convencional. A la vez, se ha hecho un desarrollo técnico de dichos sistemas. En este capítulo en cambio, se busca analizar cuál de los sistemas de encofrado podría resultar más conveniente para la construcción de edificaciones de gran altura desde el punto de vista de la productividad.

Para lograr ello, se tomó la construcción de una estructura que no presente cambios importantes en su altura de nivel a nivel. Particularmente, para el análisis del Sistema de Encofrado Autotrepante se evaluará la construcción de los muros del núcleo de ascensores del edificio de la Nueva Sede del Banco de la Nación, cuya construcción se realizó con dicho Sistema y estuvo a cargo de la empresa constructora COSAPI. Dicho núcleo de ascensores está compuesto principalmente de muros y columnas que forman marcos perimetrales. Para el análisis del Sistema de Encofrado Metálico Convencional se hará el análisis de los mismos muros, pero con el supuesto de que su construcción se haya realizado con el Sistema de encofrado Metálico Convencional.

Cabe aclarar que éste supuesto se hace para poder llegar a obtener un análisis válido, donde los muros encofrados a considerar cuenten con características similares tales como sus dimensiones, condiciones de trabajo, entre otras. (Ver figuras 5.1, 5.2 y 5.3)



*Fig. 5. 1 Placas del Núcleo de ascensores del Edificio del Banco de la Nación  
(CosapiOficial, 2015)*



*Fig. 5. 2 Vista Planta del Sistema ATR y Núcleo de ascensores-Edificio Banco de la Nación (CosapiOficial, 2015)*



Fig. 5. 3 Elevación del Sistema ATR en Núcleo de ascensores-Edificio Banco de la Nación (CosapiOficial, 2015)



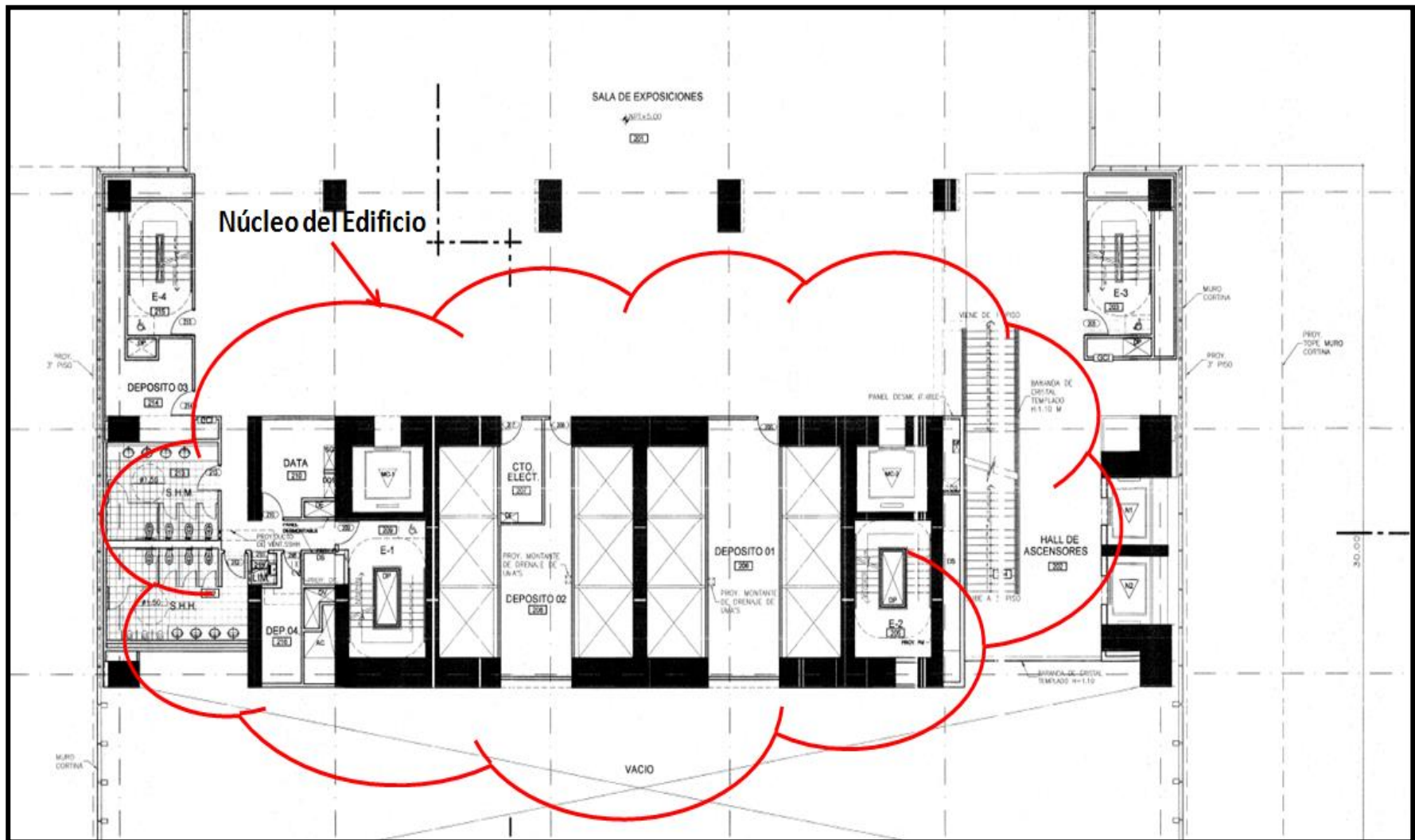


Fig. 5. 4 Plano de Arquitectura – Núcleo de Ascensores – Edificio Banco de la Nación (CosapiOficial, 2015)

Es importante mencionar también que para realizar un análisis mucho más preciso entre ambos sistemas de encofrados se tendría que tomar en cuenta varias partidas como movilización y desmovilización de equipos, habilitación y colocación de acero, encofrado de muros, vaciado de concreto, implementos de seguridad y gastos generales, las cuales se encuentran afines al presupuesto. Sin embargo, por practicidad, solo se considerará las partidas de gastos de mano de obra y los gastos generales involucrados.

Adicionalmente, para facilitar la evaluación, sin pérdida de generalidad, se considerarán los siguientes supuestos.

- Se considerará una altura de entrepiso típica de 4.00 m, lo que genera una superficie a moldear de 794.24 m<sup>2</sup> por nivel.
- Los muros no cambian de espesor.
- El proyecto se desarrolla en la ciudad de Lima, lo que elimina los costos de traslado de personal.
- Los días de trabajo considerados son 30 por mes.
- Temperatura de trabajo de confort.
- No se considerará en los costos las partidas correspondientes al concreto y acero. Esto debido a que son los mismos kilos y m<sup>3</sup> para cada tecnología.
- Para el arriendo, se considera en el plazo 1 mes debido al tiempo invertido en instalación y devolución del encofrado. Sin embargo, por practicidad, este tiempo no ha sido considerado en los cálculos.

Para la planta mostrada líneas arriba, se evalúa las áreas a encofrar a distintas alturas, lo que genera los siguientes números.

*Tabla 5. 1 Área de muros a considerar para cada altura*

Niveles	Nro pisos	altura típica	Altura promedio	Perímetro de muros	Superficie encofrado muros
	und	m	m	m	m <sup>2</sup>
<b>N.E. Sótano 2 al NE P8</b>	9	4	36	198.56	7148.16
<b>N.E. Sótano 2 al NE Techo. CTO MAQ.</b>	33	4	132	198.56	26209.92

Como se muestra en la tabla 5.1, se analizará los costos para alturas promedio: 36 m y 132 m. Para cada una de ellas, resultan superficies a encofrar de 7148.16 m<sup>2</sup> y 26 209.92 m<sup>2</sup> respectivamente. Las áreas a encofrar mostradas han sido calculadas realizando un metrado previo del perímetro de la sección típica del

Núcleo de Ascensores y considerando una medida de 4.00 m de altura. Esto genera que al multiplicar el perímetro por cada una de las alturas resulten las áreas de superficie a encofrar mencionadas en dicha tabla.

### 5.1 SISTEMA DE ENCOFRADO AUTOTREPANTE

Para el análisis del Sistema de Encofrado Autotrepante, en base a la experiencia de la construcción del Núcleo de Ascensores del edificio del Banco de la Nación, se ha considerado un rendimiento promedio de 6 días por nivel, lo que hace que en un mes de 30 días de trabajo se hayan construido 5 niveles (rendimiento = 5 niveles/mes). Con esta información se realizó el cálculo de los plazos para cada una de las alturas.

Tabla 5. 2 Plazos de moldajes autotrepante

Alturas promedio analizadas	altura típica	Nro pisos	Rendimiento promedio	Plazo
M	m	und	pisos/mes	Mes
36	4	9	5	1.8
132	4	33	5	6.6

Los plazos expuestos de la tabla 5.2 pueden ser convertidos a días considerando la equivalencia de 30 días por mes. Se ha tomado también el ratio estimado de obra, el cual fue de 2.83 H-H/m<sup>2</sup> (Ver anexo A 4). Con dicho ratio, se puede determinar el número de personal que se necesitaría para encofrar los m<sup>2</sup>/ día propuestos y en los plazos expuestos. Se sabe también, que en dicha construcción se trabajó doble turno, por lo que se ha considerado un trabajo promedio de (8.5 H-H/turno) lo que a su vez da como resultado que las H-H total trabajadas al día sea de 17 H-H. (Ver tabla 5.3)

Tabla 5. 3 N° de hombres para cumplir los plazos

Altura promedio	Plazo	Ratio prom.	Horas por turno al día	Área total a encofrar	Área total a encofrar por nivel	Número de operarios
m	días	hh/m <sup>2</sup>	horas	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	Und
36	54	2.83	8.5	7148.16	794.24	44
132	198	2.83	8.5	26209.92	794.24	44

Para el cálculo del número de trabajadores se realizó el siguiente cálculo.

$$\text{NÚMERO DE OPERARIOS} = \frac{7148.16 * 2.83}{54 * 8.5} = 44$$

El número de personal calculado (44 operarios) es una cantidad similar a la que realmente se empleó en la construcción del Banco de la Nación (40 operarios: 20 turno día y 20 turno noche). La pequeña variación de dicha diferencia puede darse debido a que el número de horas por turno (8.5 H-H/ turno) es un número de horas promedio, ya que se sabe que en realidad en dicha construcción el rango de trabajo al día era de 15 a 20 horas.

A partir del conocimiento del número de trabajadores se puede calcular el costo en mano de obra para cada una de las alturas analizadas. Según el análisis de precios unitarios empleados en la construcción estudiada, se sabe que el costo del pago de un trabajador Operario es de S/.18.96 por H-H. Ello se puede observar en la figura 5.5.

Partida	01.05.02.05.02	ENCOFRADO EN PLACAS (EN SUPERESTRUCTURA)		Costo unitario directo por : m2			56.44
Rendimiento	m2/DIA	MO. 24.0000	EQ. 24.0000				
Código	Descripción	Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
		<b>Mano de Obra</b>					
0101010002	CAPATAZ		hh	0.1000	0.0333	22.80	0.76
0101010003	OPERARIO		hh	2.0000	0.6667	18.96	12.64
0101010004	OFICIAL		hh	1.0000	0.3333	16.40	5.47
0101010005	PEON		hh	2.0000	0.6667	14.89	9.93
							<b>28.80</b>

Fig. 5. 5 Análisis de precios Unitarios para Encofrado en Placas (CosapiOficial, 2015)

Con los datos mostrados se puede calcular el costo real en mano de obra para cada una de las alturas analizadas. Dicho costo se muestra a continuación en la tabla 5.4.

Tabla 5. 4 Costo de encofrados autotrepantes

Altura promedio analizada	Personal (operarios)	Horas trabajadas al día	Plazo	Precio unitario	Costo
M	und	H-H/turno	días	soles	soles
36	44	8.5	54	S/. 18.96	S/. 382 916.16
132	44	8.5	198	S/. 18.96	S/. 1 404 025.92

Los costos calculados para cada una de las alturas estudiadas son los costos que la empresa que construye gasta en el pago de los operarios para la construcción de la obra en todo el plazo establecido.

Adicionalmente, se puede calcular el costo para un mes de trabajo por 8.5 horas al día:  $1 * 8.5 * 30 * 18.96 = S/. 4834.80$ . A modo referencial, se conoce también, que el costo pactado en el año 2015 entre CAPECO y la Federación de Trabajadores de

Construcción Civil de la categoría OPERARIOS estima un gasto promedio para la EMPRESA de S/. 3600.00 (ver anexo A1 y A2), el cual resulta ser una cantidad aproximada a los S/.4834.80 (calculado líneas arriba) y nos permite dar una idea de la veracidad de los resultados obtenidos. La diferencia puede ser generada por las variantes que puede darse en los acuerdos de pago pactados entre la empresa constructora y los trabajadores.

Por otro lado, para el cálculo de los gastos generales de los encofrados se tienen a continuación las siguientes tablas.

Tabla 5. 5 Gastos Generales de los encofrados autotrepantes h=36m

Personal	Participación	Plazo (mes)	Precio Unitario	Unidad	Total (soles)
Ingeniería	0.1	1.8	8000	Soles/mes	1440
Capataz de obra gruesa	0.18	1.8	5800	Soles/mes	1879.2
Topógrafo	0.2	1.8	3400	Soles/mes	1224
Trazador	0.2	1.8	2500	Soles/mes	900
Administrativo	0.1	1.8	3500	Soles/mes	630
Cuidador	0.1	1.8	1500	Soles/mes	270
Total costo personal (Soles)					6343.2
<b>Costos de Maquinaria</b>					
Maquinaria	Participación	Plazo (meses)	Precio Unitario	Unidad	Total (soles)
Grúa	0	1.8	5000	soles/mes	0
Total Costos de maquinaria (soles)					<b>0</b>
<b>TOTAL GASTOS GENERALES DE ENCOFRADO TRADICIONALES (SOLES)</b>					<b>6343.2</b>
Superficies a construir (m2)					7148.16
<b>TOTAL GASTOS GENERALES DE ENCOFRADOAUTOTREPANTE (SOLES/m2)</b>					<b>0.887</b>

- La tabla 5.5 hace referencia a los gastos generales promedio en relación a los encofrados autotrepantes correspondiente a un área de 7148.16 m<sup>2</sup> y para una altura de 36 m.
- La columna PARTICIPACIÓN son porcentajes que representan el tiempo de trabajo en obra gruesa que el encofrado requiere por parte de personal. Dichos porcentajes han sido tomados de opiniones de ingenieros con experiencia en el tema.
- Se puede notar que para el caso de los encofrados autotrepantes el porcentaje de participación de la torre grúa es de 0 %, debido al mecanismo del sistema.

- La columna **precio unitario** para los casos del capataz, topógrafo y trazador son los precios promedio del mercado peruano que se rigió según la Federación Trabajadores de Construcción Civil en el año 2015

Tabla 5. 6 Gastos Generales de los Encofrados Autotrepantes h=132m

Personal	Participación	Plazo (mes)	Precio Unitario	Unidad	Total ( soles)
Ingeniería	0.1	6.6	8000	Soles/mes	5280
Capataz de obra gruesa	0.18	6.6	5800	Soles/mes	6890.4
Topógrafo	0.2	6.6	3400	Soles/mes	4488
Trazador	0.2	6.6	2500	Soles/mes	3300
Administrador	0.1	6.6	3500	Soles/mes	2310
Cuidador	0.1	6.6	1500	Soles/mes	990
Total costo personal (Soles)					23258.4
<b>Costos de Maquinaria</b>					
Maquinaria	Participación	Plazo (meses)	Precio Unitario	Unidad	Total (soles)
Grúa	0	6.6	5000	soles/mes	0
Total Costos de maquinaria ( soles)					<b>0</b>
<b>TOTAL GASTOS GENERALES DE ENCOFRADO TRADICIONALES (SOLES)</b>					23258.4
Superficies a construir (m2)					26209.92
<b>TOTAL GASTOS GENERALES DE ENCOFRADO AUTOTREPANTE (SOLES/ m2)</b>					<b>0.887</b>

- La tabla 5.6 hace referencia a los gastos generales promedio en relación a los encofrados autotrepantes correspondiente a un área de 26209.92 m2 y para una altura de 132 m.
- La columna PARTICIPACIÓN son porcentajes que representan el tiempo promedio de trabajo en obra gruesa que el encofrado requiere por parte del personal. Dichos porcentajes han sido tomados de opiniones de ingenieros con experiencia en el tema.
- Se puede notar, para el caso de los encofrados, autotrepantes el porcentaje de participación de la torre grúa es de 0 %, debido al mecanismo del sistema.
- La columna **precio unitario** para los casos del capataz, topógrafo y trazador son los precios promedio del mercado peruano que se rigió según la Federación de Trabajadores de Construcción Civil en el año 2015

## 5.2 SISTEMA DE ENCOFRADO METÁLICO CONVENCIONAL

Para el análisis del Sistema de Encofrado Tradicional, según la experiencia en otros proyectos, se ha considerado un rendimiento de 3 niveles por mes (rendimiento de casi la mitad que el Sistema ATR), generando así los siguientes plazos de ejecución para las diferentes alturas. Ver tabla 5.7.

Tabla 5. 7 Plazos de encofrados metálicos

Alturas promedio analizadas	altura típica	Nro pisos	Rendimiento	Plazo
m	m	und	pisos/mes	Mes
36	4	9	3.00	3
132	4	33	3.00	11

El plazo se calcula como el número de pisos dividido por el rendimiento.

En la tabla 5.8, los plazos de la tabla 5.7 están convertidos a días considerando la equivalencia de 30 días por mes. Se ha tomado también el ratio promedio estimado en obra, el cual fue de 2.99 H-H/m<sup>2</sup> (Ver anexo A5). Al igual que el Sistema ATR, con dicho ratio se puede determinar el número de personal que se necesitaría para encofrar los m<sup>2</sup>/ día propuestos y en los plazos expuestos.

Tabla 5. 8 Número de hombres para cumplir los plazos

Altura promedio	Plazo	Ratio prom.	Horas por turno al día	Área total a encofrar	Área total a encofrar por nivel	Número de operarios
M	días	hh/m <sup>2</sup>	horas	m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	Und
36	90	2.99	8.5	7148.16	794.24	28
132	330	2.99	8.5	26209.92	794.24	28

Para el cálculo del número de trabajadores se realizó el siguiente cálculo.

$$NÚMERO DE OPERARIOS = \frac{7148.16 * 2.99}{90 * 8.5} = 28$$

Según cálculo, se necesitarían 28 hombres (operarios) para cumplir con los plazos expuestos. Cabe recordar que se está considerando trabajo de doble turno (8.5 horas por turno); por lo que, 14 operarios laboran de turno día y 14 de turno noche.

Habiendo calculado el personal a necesitar y teniendo conocimiento que el costo de la H-H para realizar 1 m<sup>2</sup> de encofrado es de S/.18.96, se procede a calcular los costos en mano de obra. Ver tabla 5.9.

Tabla 5. 9 Costo de encofrados metálicos

Altura promedio analizada	Personal (operarios)	Horas trabajadas al día	Plazo	Precio unitario	Costo
M	und	H-H/turno	días	soles	soles
36	28	8.5	90	S/. 18.96	S/. 406,123.20
132	28	8.5	330	S/. 18.96	S/. 1,489,118.40

Por otro lado, para el cálculo de los gastos generales de los encofrados se tienen a continuación las siguientes tablas.

Tabla 5. 10 Gastos generales de los encofrados tradicionales h=36m

Personal	Participación	Plazo (mes)	Precio Unitario	Unidad	Total (soles)
Ingeniería	0.1	3	8000	Soles/mes	2400
Capataz de obra gruesa	0.18	3	5800	Soles/mes	3132
Topógrafo	0.18	3	3400	Soles/mes	1836
Trazador	0.18	3	2500	Soles/mes	1350
Administrador	0.1	3	3500	Soles/mes	1050
Cuidador	0.1	3	1500	Soles/mes	450
Total costo personal (Soles)					<b>10218</b>
<b>Costos de Maquinaria</b>					
Maquinaria	Participación	Plazo (meses)	Precio Unitario	Unidad	Total (soles)
Grúa	0.3	3	5000	soles/mes	4500
Total Costos de maquinaria (soles)					<b>4500</b>
<b>TOTAL GASTOS GENERALES DE ENCOFRADO TRADICIONALES (SOLES)</b>					<b>14718</b>
Superficies a construir (m <sup>2</sup> )					7148.16
<b>TOTAL GASTOS GENERALES DE ENCOFRADO TRADICIONALES (SOLES /m<sup>2</sup>)</b>					<b>2.059</b>

- Se ha mostrado la tabla 5.10 referente a los gastos generales promedio en relación a los encofrados metálicos convencionales correspondiente a un área de 7148.16 m<sup>2</sup> para una estructura de 36 m de altura.

- La columna PARTICIPACIÓN son porcentajes que representan el tiempo promedio de trabajo en obra gruesa que el encofrado requiere por parte del personal. Dichos porcentajes han sido tomados de opiniones de ingenieros con experiencia en el tema.
- La columna **precio unitario** para el caso de capataz, topógrafo y trazador son los precios promedio del mercado peruano que rigió según la Federación de Trabajadores de Construcción Civil en el año 2015.
- Como el sistema metálico es elevado mediante el uso de grúa, su costo de alquiler se considera un 30 % del costo total de los gastos generales. Esto porque se considera que, al emplear encofrado metálico, la torre grúa representa un 30% del tiempo de trabajo en obra gruesa.

Tabla 5. 11 Gastos Generales de los encofrados tradicionales h=132m

Personal	Participación	Plazo (mes)	Precio Unitario	Unidad	Total (soles)
Ingeniería	0.1	11	8000	Soles/mes	8800
Capataz de obra gruesa	0.18	11	5800	Soles/mes	11484
Topógrafo	0.18	11	3400	Soles/mes	6732
Trazador	0.18	11	2500	Soles/mes	4950
Administrador	0.1	11	3500	Soles/mes	3850
Cuidador	0.1	11	1500	Soles/mes	1650
Total costo personal (Soles)					<b>37466</b>
<b>Costos de Maquinaria</b>					
Maquinaria	Participación	Plazo (meses)	Precio Unitario	Unidad	Total (soles)
Grúa	0.3	11	5000	soles/mes	<b>16500</b>
Total Costos de maquinaria ( soles)					
<b>TOTAL GASTOS GENERALES DE ENCOFRADO TRADICIONALES (SOLES)</b>					<b>53966</b>
Superficies a construir (m2)					26209.92
<b>TOTAL GASTOS GENERALES DE ENCOFRADO TRADICIONALES (SOLES /m2)</b>					<b>2.059</b>

- Se ha mostrado la tabla 5.11 referente a los gastos generales promedio en relación a los encofrados metálicos convencionales correspondiente a un área de 26209.92 m2 para una de 132 m de altura.
- La columna PARTICIPACIÓN son porcentajes que representan el tiempo promedio de trabajo en obra gruesa que el encofrado requiere por parte de

personal. Dichos porcentajes han sido tomados de opiniones de ingenieros con experiencia en el tema.

- La columna **precio unitario** para el caso de capataz, topógrafo y trazador son los precios promedio del mercado peruano que rigió según la Federación de Trabajadores de Construcción Civil en el año 2015.
- Como el sistema metálico es elevado mediante el uso de grúa, su costo de alquiler se considera un 30 % del costo total de los gastos generales. Esto porque se considera que, al emplear encofrado metálico, la torre grúa representa un 30% del tiempo de trabajo en obra gruesa.

Como se puede notar, hasta ahora, se ha podido desarrollar con mayor énfasis, un análisis respecto a los gastos generales y gastos de mano de obra al emplear para cada uno de los Sistemas de Encofrado. Sin embargo, se puede explicar también un análisis comparativo de los índices de productividad que involucran a ambos Sistemas. Para ello, se tomará como punto de partida las horas hombre por m2 de un análisis de precio unitario para la partida de encofrado tomado **como base al inicio de la construcción** (empleado en construcción de la Nueva Sede del Banco de la Nación) Ver figura 5.6

01.05.02.05.02 ENCOFRADO EN PLACAS (EN SUPERESTRUCTURA)					Costo unitario directo por : m2	56.44
m2/DIA	MO. 24.0000	EQ. 24.0000				
Descripción Recurso	Uni	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
	da					
	d					
	Mano de Obra					
CAPATAZ	hh	0.1000	0.0333	22.80	0.76	
OPERARIO	hh	2.0000	0.6667	18.96	12.64	
OFICIAL	hh	1.0000	0.3333	16.40	5.47	
PEON	hh	2.0000	0.6667	14.89	9.93	
						<b>28.80</b>

Fig. 5. 6 Análisis de precios Unitarios para Encofrado en Placas (en superestructura) (CosapiOficial, 2015)

En el Análisis de Precios Unitarios mostrado en la figura 5.6, se puede notar la cantidad de horas que le toma a cada uno de los trabajadores para realizar un m2 de encofrado.

Como el capataz no interviene en el procedimiento constructivo real de encofrado, para el índice de productividad solo considera la siguiente cuadrilla a trabajar: Operario, oficial y el peón.

Al tomar la cantidad de horas hombre (H-H) trabajadas, en la que a cada categoría le tomaría para realizar un 1 m2 de encofrado y sumarlas, se obtendría la cantidad de H-H por m2 para un trabajo de 8.5 horas al día, resultando un índice de

productividad de 1.6667 H-H/m<sup>2</sup>. Particularmente, para la construcción estudiada, en donde se trabajó dos turnos de 8.5 horas cada uno (17 horas/día) se puede estimar un índice de productividad de 3.334 H-H/m<sup>2</sup>

$$\text{Índice de productividad (17 h)} = \frac{1.6667 * 17}{8.5} = 3.334 \text{ hh/m}^2$$

Se tiene conocimiento, además, que el ratio (índice de productividad) estimado en obra para para el encofrado de placas con el Sistema Autotrepante fue de 2.83 H-H/m<sup>2</sup> y con el Sistema Metálico Convencional fue de 2.99 H-H/m<sup>2</sup>. Ambos ratios presentan una cierta diferencia respecto al Análisis de Precios Unitarios considerado inicialmente, la cual se discutirá en el capítulo siguiente.



## CAPÍTULO 6

### 6. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.

Como se ha podido notar, en el capítulo anterior se ha realizado un análisis comparativo sobre los costos que implica el empleo de dos Sistemas de Encofrado estudiados: Sistema Autotrepante y el Sistema Metálico Convencional. Para ello, por practicidad solo se ha considerado los gastos de mano de obra y los gastos generales que involucran cada uno de los Sistemas de Encofrados para cada una de las alturas consideradas. El detalle de dichos gastos generales se puede apreciar en las tablas 5.5, 5.6, 5.10 y 5.11 del Capítulo 5.

A continuación, se muestra en la tabla 6.1 un cuadro resumen comparando los costos a asumir para ambos sistemas.

*Tabla 6. 1 Cuadro comparativo de costos para las alturas estudiadas: Sistema ATR vs Sistema Metálico Convencional*

Altura promedio analizada	SISTEMA DE ENCOFRADO	Gasto mano de obra	Gasto Generales de encofrado	Costo total	Ahorro
m	ATR/MET. CONV	soles	soles	soles	soles
36	Autotrepante	S/. 382,916.16	S/. 6,343.20	S/. 389,259.36	<b>S/. 31,581.84</b>
	Metálico	S/. 406,123.20	S/. 14,718.00	S/. 420,841.20	
132	Autotrepante	S/. 1,404,025.92	S/. 23,258.40	S/. 1,427,284.32	<b>S/. 115,800.08</b>
	Metálico	S/. 1,489,118.40	S/. 53,966.00	S/. 1,543,084.40	

El cuadro comparativo presentado muestra los costos totales en encofrado que implicaría la construcción de una estructura tanto de 36 m y otra de 132 m de altura promedio.

Se puede notar que el costo total del encofrado Metálico Convencional resulta ser mayor que el costo total del encofrado Autotrepante para las dos alturas estudiadas. Además, al observar la columna **Ahorro** se puede notar que la diferencia de sus precios se hace mayor conforme la altura de la estructura a construir aumenta.

Este ahorro es causado por la diferencia de los ratios estimados en obra para cada Sistema de Encofrado (2.83 H-H/m<sup>2</sup> para el Sistema ATR y 2.99 H-H/m<sup>2</sup> para el Sistema Metálico). Adicionalmente, el rendimiento del Sistema Autotrepante es casi el doble que el Sistema Convencional: 5 pisos/mes y 3 pisos/mes respectivamente, influyendo así, en los costos totales de cada sistema de encofrado.

Se puede decir, según cálculo, que el ahorro, al emplear el Sistema Autotrepante en vez del Sistema Metálico Convencional, para una altura de 36 m en lo que respecta a gastos generales (S/.8374.80) es mayor al ahorro en lo que respecta a la mano de obra empleada (S/.23207.04). En cambio, para una altura de 132 m, para el mismo supuesto, el ahorro, es un ahorro más considerable aún, en lo que se refiere a gastos generales (S/.30707.60) y también en lo que respecta a la mano de obra (S/.85092.48). Se puede notar entonces que el costo por gastos generales es un número importante que influye de manera significativa en el ahorro final al emplear el Sistema Autotrepante y, por ende, en los costos totales.

El ahorro obtenido a una altura promedio de 132 m, es un ahorro realmente ya considerable (S/. 115,800.08). Cabe recordar que, por practicidad, el **ahorro** calculado resulta de haber analizado solo la mano de obra y los gastos generales involucrados; por lo que, al analizarse más factores como movilización y desmovilización de equipos, vaciado de concreto, colocación de acero, entre otras, el ahorro podría llegar a ser más significativo aún (ver figura 6.1).

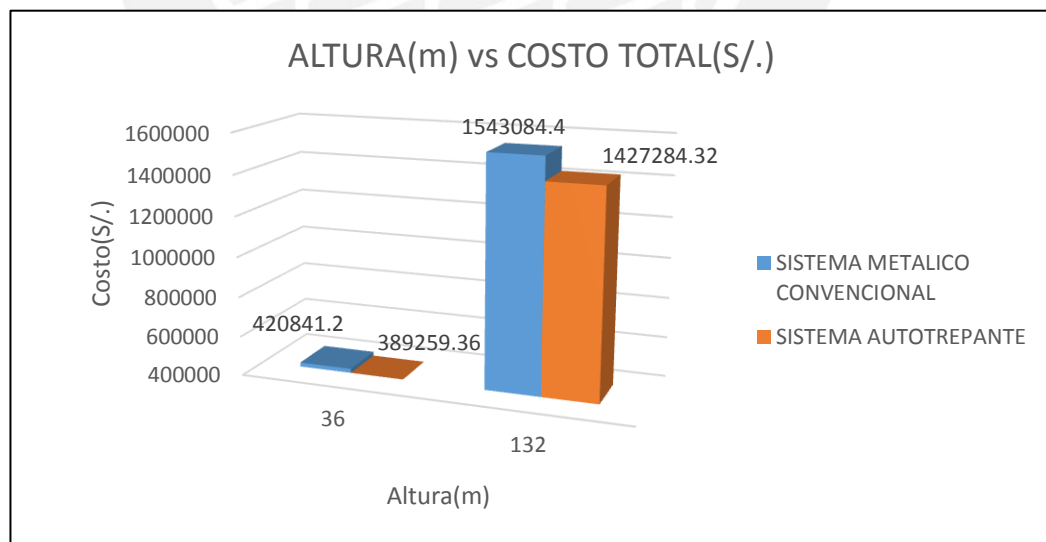


Fig. 6. 1 Gráfico "Altura vs Costo" para cada Sistema de Encofrado.

la diferencia de los costos totales para cada Sistema de Encofrado conforme la altura de la estructura a construir aumenta. Con esto se puede observar también la conveniencia del empleo de los Sistemas de Encofrado Autotrepantes para edificaciones de gran altura.

Cabe mencionar también, que el Sistema de Encofrado Autotrepante puede llegar a ser aún más conveniente en países donde el costo de la mano de obra resulta ser más elevado ya que el tiempo de construcción de la estructura se hace menor haciendo que se reduzca los costos. Un ejemplo de dicho país puede ser Estados Unidos ya que éste es un país en donde todas sus construcciones son de gran altura y el costo de su mano de obra es elevada.

Respecto a los índices de productividad, a partir del Análisis de Precio Unitario para encofrado de placas, tomado como base al inicio de la construcción, se pudo obtener las H-H que les tomarían a los trabajadores encofrar 1 m<sup>2</sup> en un trabajo de 17 horas al día (dos turnos). Se deduce que, a partir de dicho análisis, se consideró un ratio de 3.334 H-H/m<sup>2</sup>; sin embargo, de las mediciones en obra se pudo estimar un ratio de 2.99 H-H/m<sup>2</sup> para el encofrado metálico convencional y un ratio de 2.83 H-H/M<sup>2</sup>. para el encofrado autotrepante. Las diferencias entre los ratios estimados en obra y el ratio considerado en el Análisis de Precio Unitario suelen darse, ya que por lo general, éste último es empleado como límite en lo que se refiere a costo y tiempo. Es por ello que, durante las primeras semanas de la construcción, siempre se define el rendimiento en base a las condiciones y avances reales. Estos controles de índices de productividad son importantes también debido a que pueden ser tomados en consideración al momento de decidirse a emplear uno u otro Sistema de Encofrado.

Se puede observar que, comparando los índices de productividad promedio estimados de obra, el Sistema Autotrepante resulta ser mejor que el Sistema Metálico Convencional. Esto debido a que en el Metálico Convencional se emplean mayores horas hombres (H-H) para realizar 1 m<sup>2</sup> de encofrado que el Sistema Autotrepante, acortando así el plazo de la construcción de la estructura.



*Fig. 6. 2 Sistema de Encofrado Autotrepante- Edificio Banco de la Nación (CosapiOficial, 2015)*



*Fig. 6. 3 Sistema de Encofrado Metálico Convencional- Edificio Banco de la Nación (CosapiOficial, 2015)*



## CAPÍTULO 7

### 7. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES.

- Como se ha podido explicar durante el desarrollo de la presente investigación, el desarrollo industrial a lo largo de los años ha venido siendo cada vez más sofisticado. Particularmente, en el sector construcción, ha hecho su aparición un sistema de encofrado moderno, productivo, con mejores rendimientos: el Sistema de Encofrado Autotrepante. Dicho sistema es capaz de poder llegar a satisfacer las exigencias actuales del sector construcción como lo son la seguridad, calidad, y sobre todo el tiempo y costo total de la estructura a construir.
- En los primeros capítulos de la presente investigación, se ha podido desarrollar los aspectos técnicos de los Sistemas de Encofrado estudiados: Sistema Autotrepante y Sistema Metálico Convencional. Adicionalmente, se ha desarrollado una breve información sobre el sistema de encofrado deslizante, ya que el uso de este sistema es similar al del autotrepante. Particularmente, acerca del Sistema Autotrepante, se ha estudiado aspectos como tipos de Sistema ATR en el mercado, partes que lo conforman, proceso constructivo, procedimientos de seguridad a tomar, ventajas y desventajas, entre otras. A manera de conocimiento, se ha explicado también el sistema de mesas voladoras empleado en la construcción del Banco de la Nación. Esto con la finalidad de poder entender de mejor forma como es que se dio la construcción del núcleo de ascensores independientemente de la construcción de las losas.
- En comparación con el sistema metálico convencional y el sistema deslizante, el sistema de encofrado autotrepante es un sistema de uso más práctico para construcciones de gran altura. Esto, porque en caso de que la construcción posea una altura de entrepiso diferente nivel a nivel, no se afectaría al emplear este sistema. Sin embargo, esto no pasaría con el sistema deslizante, pues no resultaría conveniente su utilización ya que sería costoso cambiar de moldes a otras dimensiones, y en caso del encofrado convencional, con el simple hecho

de su necesidad del empleo de grúas, la velocidad de construcción empieza a ser menor que el autotrepante.

- A modo de conocimiento se ha realizado una breve explicación del sistema de mesas voladoras empleado en la construcción del Banco de la Nación. Dicho sistema era empleado como encofrados de losas o encofrados horizontal. Según lo desarrollado en dicha construcción, el avance de losas era totalmente independiente del avance vertical del núcleo de ascensores. Dicho núcleo de ascensores iba en promedio de 3 a 5 pisos por encima de la losa, lo que significa que no influye en los ratios el uso de las mesas voladoras.
- Con el sistema de mesas voladoras, la construcción de losas se hace más rápido y más sencillo que la construcción con otros sistemas, ya que su método de trabajo no sólo está conformado por el panel de encofrado sino también por otros equipos que hacen más rápido su traslado, encofrado y desencofrado del mismo. Entre dichos equipos se encuentra el Dokart plus o el TLS.
- El éxito de una construcción depende de varios factores como los son su organización y su logística. Esto resulta más notorio en edificaciones de gran altura, en donde el empleo del Sistema Autotrepante o el Sistema Deslizante, cuyos mecanismos de trabajo son similares, involucra la buena planificación de otras partidas como los son el armado de acero, el vaciado de concreto, transporte de materiales, control de calidad, entre otros. Esto resulta ser mucho más importante en el empleo del Sistema Deslizante, ya que su mecanismo de trabajo es un proceso continuo y, en caso de no planificar correctamente alguna de las partidas mencionadas, el sistema podría parar, disminuyendo así su productividad.
- Al momento de escoger el sistema de encofrado a utilizar es importante tomar en cuenta la seguridad, muy en especial si se trata de una construcción de gran altura. El Sistema de Encofrado Autotrepante es un sistema mucho más seguro que el Sistema Metálico Convencional, ya que cuenta con plataformas de trabajo, las cuales incorporan elementos de seguridad en todo su perímetro haciendo que los trabajadores realicen sus labores de manera más segura y productiva.

- No solo la seguridad es una ventaja importante que ofrece el Sistema Autotrepante sino la calidad es un factor beneficioso también. El acabado de los muros construidos resulta ser mucho mejor evitando así trabajos de terminaciones como lo son por ejemplo los resanes. Sin embargo, el encofrado convencional al ser apilado en obra puede sufrir ciertos deterioros en su superficie pudiendo así generar imperfecciones en el acabado del concreto a construir.
- Es de suma importancia que se sigan las consideraciones generales explicadas en la presente investigación, y sobre todo, que los trabajadores conozcan la documentación del proyecto tales como el plan de seguridad y salud de la obra, las guías de usuario para el empleo de Sistema de Encofrados e información como los procesos de seguridad previo al montaje del sistema, aspectos sobre su transporte, manipulación, almacenamiento y mantenimiento.
- Es importante mencionar también el uso que la torre grúa tiene en la construcción de edificaciones de gran altura. El hecho de emplear el Sistema Metálico Convencional de alguna forma requiere de hacer empleo de la torre grúa para el izaje de los paneles, ya sea al momento de encofrar o de desencofrar. No obstante, si se empleara el Sistema Autotrepante no es necesario el uso de la torre grúa por los propios mecanismos con los que cuenta el sistema. Esto hace que la torre grúa pueda emplearse para otros trabajos como izaje de acero, concreto u otros equipos. De esta manera se generan ahorros de tiempo, mejorando así la productividad.
- Un punto importante también es que el Sistema ATR es ideal para cuando se cuenta con espacios limitados, ya que las consolas quedan sujetas a los muros ya construidos. Esto no pasa con el Sistema Convencional, por lo que es necesario determinar un espacio para ubicar los paneles de encofrados que no están siendo empleados.
- Es posible hacer una comparación tanto económica, así como una comparación de plazos de ejecución de cierta estructura empleando ambos Sistemas de Encofrado. Dicha comparación es posible hacerse con información basada en la partida de encofrado y los gastos generales que involucran el empleo de ambos sistemas. Particularmente, para el análisis del Sistema ATR de la presente investigación, se hizo uso de información como los Análisis de Precios Unitarios planteados inicialmente para la construcción, ratios estimados en la misma obra, costos de mano de obra, entre otros. Para el análisis del Sistema Convencional,

se tomó las mismas condiciones de trabajo, las mismas medidas longitudinales, mismos costos de manos de obra, pudiendo así llegar a una comparación válida.

- Se ha podido corroborar que al emplear el Sistema Metálico Convencional en una construcción de gran altura resulta ser más costoso que si se empleara el Sistema Autotrepante. Para edificaciones que no son de gran altura la diferencia de costos totales no es grande; sin embargo, para edificaciones de gran altura la diferencia de costos resulta ser un monto ya importante. Se puede decir entonces que conforme la altura de la estructura a construir va aumentando, la diferencia de los costos totales va siendo cada vez mayor también; por lo tanto, se puede concluir que el Sistema Autotrepante se hace mucho más conveniente y eficiente.
- Se ha podido comprobar también, a partir de controles de productividad en obra, que el rendimiento del Sistema Autotrepante resulta ser casi dos veces que el Sistema Metálico Convencional: 5 pisos/mes y 3 pisos /mes respectivamente. Esto obviamente indica que el empleo del Sistema ATR resulta ser mucho más veloz que el Sistema Convencional influyendo notablemente en los plazos de ejecución del proyecto.
- Se puede comentar también, que al inicio de toda construcción se plantean rendimientos y ratios que se encuentran reflejados en los Análisis de Precios Unitarios tomados inicialmente. No obstante, durante la ejecución de la obra se realizan controles de productividad que permiten definir el rendimiento real en base a las condiciones y avances reales.

Estos controles de productividad resultan ser importantes, ya que permite tomar decisión de qué Sistema de Encofrado emplear para determinada construcción.

- Se determinó a partir de los Análisis de Precios Unitarios tomados por la empresa constructora al inicio de la construcción un ratio para mano de obra de 3.334 H-H/m<sup>2</sup>. No obstante, según los ratios estimados en obra, se estimó un ratio de 2.83 H-H/m<sup>2</sup> para el Sistema ATR y un ratio de 2.99 H-H/m<sup>2</sup> para el Sistema Convencional. Muchas veces los Análisis de Precios Unitarios sirven como límite en costo y rendimiento, y dependiendo de los índices de productividad (ratios) estimados en obra, los ingenieros pueden plantear otras alternativas que tal vez puedan costar más (como el Sistema ATR), pero por otro

lado compensan dichos gastos con el ahorro de tiempo en los plazos de ejecución.

## BIBLIOGRAFÍA:

- Acevedo, C. (01 de Diciembre de 2014). *Moldaje Autotrepante*. Recuperado el Septiembre de 2016, de Sistema de Encofrado Autotrepante: <https://prezi.com/xhmfwoy2dkhr/sistema-de-encofrado-autotrepante/>
- ALSINA. (s.f.). *MURO A UNA CARA*. Obtenido de ALSINA soluciones en encofrados: <http://www.alsina.com/solution/muro-a-una-cara-3-9m/>
- Alva Yosep, O. (2014). *ANÁLISIS DE COSTOS Y EFICIENCIA DEL EMPLEO DE ENCOFRADOS METÁLICOS Y CONVENCIONALES EN LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS EN LA CIUDAD DE LIMA*. Trujillo.
- Besomi Molina, M. (2009). Comparación técnica y económica entre moldajes auto trepantes y otros tipos de moldajes especializados para su uso en construcción de edificios. Memoria para optar al título de ingeniero civil. Santiago de Chile: Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Consulta: 25 de Septiembre de 2016. [http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2009/besomi\\_m/sources/besomi\\_m.pdf](http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2009/besomi_m/sources/besomi_m.pdf)
- Cid Ripollés, O. (26 de Mayo de 2016). *Construcción II: La Evolución de los Encofrados*. Recuperado el 25 de Septiembre de 2016, de issu: [https://issuu.com/a-type/docs/historia\\_encofrado](https://issuu.com/a-type/docs/historia_encofrado)
- CivilGeek. (s.f.). *Encofrados Metálicos*. Recuperado el 25 de Septiembre de 2016, de Ingeniería y Construcción: <http://civilgeeks.com/2011/12/14/encofrados-metalicos/>
- CONSTRUCTIVO. (22 de 09 de 2016). *SISTEMA DE ENCOFRADO AUTOTREPANTE, CONSTRUCCIÓN EN ALTURA SIN NECESIDAD DE GRÚA*. Recuperado el 2016 de 09 de 25, de Novedad: <http://www.constructivo.com/cn/d/novedad.php?id=105>
- CONSTRUMATICA. (s.f.). *Encofrados Verticales*. Recuperado el 25 de Septiembre de 2016, de [http://www.construmatica.com/construpedia/Categor%C3%ADa:Encofrados\\_Verticales](http://www.construmatica.com/construpedia/Categor%C3%ADa:Encofrados_Verticales)
- CosapiOficial. (06 de Julio de 2015). *Sistema de encofrado autotrepante utilizado en Banco de la Nación*. Recuperado el Agosto de 2016, de <https://www.youtube.com/watch?v=GpbZj7Bw3wY>
- DOKA Die Schalungstechniker. (2007). Técnica de Treapdo DOKA. *Hacia arriba con sistema*, 92.
- DOKA. (2016). Banco de la Nación. *Platform SCP / SKE50plus / Top50 / PS / Self-climbing unit TLS / Slab formwork*, 1-150.
- Doka Perú SAC. (Julio de 2008). *SKE50 y SKE100*. Recuperado el 2016, de Encofrado autotrepante Doka: <http://www.especificar.cl/registrocdt/uploads/FICHAS/DOKA/Encofrado%20Autotrepante%20SKE/Encofrado%20Autotrepante%20SKE.pdf>

- EFCO. (s.f.). *Encofrado de modulares*. Obtenido de Encofrado para forjado:  
<http://www.archiexpo.es/prod/efco/product-89132-914202.html>
- Guardiola Crespo, J. (2015). *Procedimientos Seguros en los Trabajos con Encofrados Trepantes*. Master en prevención de riesgos laborales. Alacant, España: Universidad Miguel Hernández. Consulta: 23 de Octubre de 2016.  
<http://dspace.umh.es/bitstream/11000/2133/1/TFM%20Guardiola%20Crespo%2c%20Jaime.pdf>
- MAQUIBAÑEZ S.L. (s.f.). *Montaje de muro horizontal*. Obtenido de MB:  
<http://www.maquibanez.com/encofradomecano.html>
- Metal Machine Ecuador. (s.f.). *Encofrado metálico para columnas*. Obtenido de metalachine ecuador:  
[http://www.metalmachine.com.ec/seccion/105/encofrado\\_metalico\\_para\\_columnas](http://www.metalmachine.com.ec/seccion/105/encofrado_metalico_para_columnas)
- NOPIN ALAVESA S.A. (s.f.). *ENCOFRADO LOSA PLANA*. Obtenido de albiz: [http://vitoria-gasteiz-pv.all.biz/encofrado-losa-plana-g9168#.WQZ\\_4xM1\\_IU](http://vitoria-gasteiz-pv.all.biz/encofrado-losa-plana-g9168#.WQZ_4xM1_IU)
- Peña, H. (s.f.). *Encofrados Metálicos*. Recuperado el 2016, de <https://es.scribd.com/doc/191879494/95909251-ENCOFRADOS-METALICOS-pdf>
- PERI. (s.f.). *Silos para el almacenamiento de cenizas volátil*. Obtenido de Centrales eléctricas:  
[http://www.peri.com.mx/projects.cfm/fuseaction/diashow/reference\\_ID/89/currentimage/1/referencecategory\\_ID/15.cfm](http://www.peri.com.mx/projects.cfm/fuseaction/diashow/reference_ID/89/currentimage/1/referencecategory_ID/15.cfm)
- Ramesh Kannan, M, H. S. (s.f. de s.f. de 2013). *constructability assessment of climbing formwork systems using building information modeling*. Obtenido de ScienceDirect:  
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705813017050>
- Saavedra Zegarra, L. (15 de Septiembre de 2014). *Banco de la Nación: Una Visión del Futuro*. Recuperado el 25 de Septiembre de 2016, de NB Nuestro Banco:  
<http://www.bn.com.pe/nosotros/boletines/2014/boletin-set-octu-2014.pdf>
- Tamborero del pino, J. (2009). *Encofrado Vertical*. Recuperado el 2016, de Muros a dos caras, pilares y muros a una cara:  
<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/821a921/834%20web.pdf>
- ULMA CONSTRUCCION. (28 de ENERO de 2011). *GUIAS DEL USUARIO*. Obtenido de CONSOLAS AUTOTREPANTES ATR.
- ULMA CONSTRUCCION. (2011). *PROCEDIMIENTO LIBERACION Y TREPADO MÓDULOS ATR*. Lima, Lima, Perú.
- ULMA CONSTRUCCION. (s.f.). *Sistemas autotrepantes ATR*. Obtenido de ULMA Encofrados y Andamios para la Construcción: <http://www.ulmaconstruction.com.pe/es-pe/encofrados/encofrados-trepantes/sistemas-autotrepantes-atr>
- UNICON. (s.f.). *UNICON*. Obtenido de Concretos Especiales:  
[http://www.unicon.com.pe/principal/categoria/concretos-especiales/104/c-104?fbclid=IwAR3ZF0sWnHe4\\_XvJOoFNOYFc0vpqie11F15798ZB\\_1FFlqOBnWh8Rqyx38I](http://www.unicon.com.pe/principal/categoria/concretos-especiales/104/c-104?fbclid=IwAR3ZF0sWnHe4_XvJOoFNOYFc0vpqie11F15798ZB_1FFlqOBnWh8Rqyx38I)
- Villanueva, A. (01 de Junio de 2013). *Sistema de Encofrado Autotrepante*. Recuperado el Septiembre de 2016, de <https://www.youtube.com/watch?v=D-g2ITi32fY>

## GLOSARIO:

### A

#### Anclaje muerto

Anclaje para empotramiento en paredes o muros, en la que en la parte inferior cuenta con una placa para conseguir mayor presión en el anclaje. .... 33

#### anclajes cola de cochino

Anclaje de forma curvada para transmitir presión del concreto de forma segura al concreto del suelo. .... 26

#### arandela

Pieza delgada, generalmente circular y con un orificio en el centro, que sirve para mantener apretados una tuerca o tornillo. .... 36

#### autonomía

Desarrollar tareas de una manera independiente. 1

### E

#### embebido

Embebido o empotrado. Meter una cosa dentro de otra ..... VII

#### ENCOFRADO

Es el sistema de moldes temporales o permanentes que se utilizan para dar forma al concreto antes de fraguar. .... 6

#### epoxico

Pegamento para acero ..... 30

### F

#### fragua

Proceso de endurecimiento y pérdida de plasticidad del concreto. .... 5

### G

#### gatos hidráulicos

El gato es una máquina empleada para la elevación de cargas que puede ser mecánica o hidráulica. Los gatos hidráulicos se emplean para la elevación de grandes pesos. .... 1

#### grouting

Mortero especializado para el relleno de espacios. .... 62

### M

#### ménsula

Elemento arquitectónico que sobresale de un plano vertical y sirve para sostener alguna cosa. .... 68

### P

#### pañetar

Enlucir, cubrir con pañete las paredes, techos, etc., de los edificios. .... 62

#### pistones hidráulicos

son actuadores de tipo mecánicos empleados en la fabricación de pistones que son usados para proporcionar fuerza a través de un movimiento recto y lineal. .... 5

#### puntales

Son usados para sostener una pared desplomada ..... 15

### R

#### retranqueo

Distancia mínima entre la línea de referencia ..... 16

### S

#### sector urbano

Perteneciente o relativo a la ciudad. Son una población numerosa, altamente densa, y dedicada principalmente a actividades del sector secundario y terciario de la economía, es decir, a la industria, el comercio y los servicios. 1

#### silos

Es una construcción diseñada para almacenar grano y otros materiales a granel. .... 51

#### Surcos

Ranura o replieque. .... 61

### T

#### tecles

Equipos de levante, adecuados para levantar grandes pesos y poder trasladarlos y colocarlos donde se desee sin mayor esfuerzo. .... 61

#### tirfors

Se utiliza para levantar o jalar cantidades de peso grande. Este es un caja con un sistema de retención de cable. .... 61

### V

#### versatilidad

Adaptarse con rapidez y facilidad a distintas funciones. .... 1

### W

#### winche de elevación

Medio de elevación ..... 60

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD**  
**CATÓLICA**  
DEL PERÚ

**ANEXOS**

**“APLICACIÓN DEL SISTEMA DE ENCOFRADO AUTOTREPANTE Y ANÁLISIS  
COMPARATIVO DE LA PRODUCTIVIDAD CON EL SISTEMA DE ENCOFRADO  
METÁLICO CONVENCIONAL EN EDIFICACIONES DE GRAN ALTURA”**

**Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, que presentan los bachilleres:**

**CHUNGA ZAÑA, JAHIR ROMÁN**  
**RAMIREZ TAFUR, KEVIN PAOLO**

**ASESOR: ING. BRAGAGNINI RODRIGUEZ, IVAN ENRIQUE**

**Lima, abril del 2019.**

## ANEXOS:

A 1 Tabla Salarial por Categoría para edificaciones 2015-2016 Federación de Trabajadores en Construcción Civil .....	3
A 2 Remuneración Bruta y Costo Empresa mensual de Trabajadores en Construcción Civil (Gestion, 2015) .....	3
A 3 Análisis de precios Unitarios para Encofrado en Placas (CosapiOficial, 2015) ...	4
A 4. Instructivo de Trabajo para encofrado de muros con Sistema Autotrepante (CosapiOficial, 2015) .....	4
A 5. Instructivo de Trabajo para Encofrado de Muros y Placas (CosapiOficial, 2015) .....	5
A 6. Ubicación del Sistema Autotrepante y del Brazo concretero (Spider) – Edificio Banco de la Nación (CosapiOficial, 2015).....	6
A 7. Acero In Situ y Prefabricado a colocar sobre el sistema Autotrepante (CosapiOficial, 2015) .....	7



ANEXOS:



## FEDERACIÓN DE TRABAJADORES EN CONSTRUCCIÓN CIVIL DEL PERÚ

Reconocido Oficialmente el 23-08-1962 por Resolución Sub-Directorial N° 56  
Afilado a la CGTP - FLEMACON - UIS

Sede Institucional: Prolongación Cangallo N° 670 - La Victoria  
Telefax: 312-2034 / 201-2370 / 201-2371 Cel.: 987515423  
E-mail: ftecpco@terra.com.pe  
Web: www.ftccperu.com

TABLA DE SALARIOS Y BENEFICIOS SOCIALES							
PLIEGO NACIONAL 2015 - 2016							
(Del 01.06.2015 al 31.05.2016)							
<b>OPERARIO</b>					<b>Indemnizac.</b>	<b>vacaciones</b>	
Jornal	58.60 *	6 días	351.60	diario	8.79	5.88	
Jornal Dominical	9.77 *	6 días	58.60	semanal	52.74	35.16	
BUC 32 %	18.75 *	6 días	112.51				
Bonif. Por Movilidad	7.20 *	6 días	43.20				
<b>Total Salarios</b>			<b>565.91</b>				
Descuento ONP 13%			67.95				
Descuento CONAF. 2%			8.20				
<b>Pago Neto Semanal</b>			<b>489.76</b>				
					<b>Fiest. Patri.</b>	<b>Fiest. Navid.</b>	
				diario	11.16	15.63	
				mensual	334.86	468.80	
				<b>Total</b>	<b>2344.00</b>	<b>2344.00</b>	
Ley N° 30334, Exonera a las gratif. del descuento del SNP o SPP. El 9% correspondiente a EsSalud se paga al trabajador							
<b>OFICIAL</b>					<b>Indemnizac.</b>	<b>vacaciones</b>	
Jornal	48.50 *	6 días	291.00	diario	7.28	4.85	
Jornal Dominical	8.08 *	6 días	48.50	semanal	43.65	29.10	
BUC 30 %	14.55 *	6 días	87.30				
Bonif. Por Movilidad	7.20 *	6 días	43.20				
<b>Total Salarios</b>			<b>470.00</b>				
Descuento ONP 13%			55.48				
Descuento CONAF. 2%			6.79				
<b>Pago Neto Semanal</b>			<b>407.73</b>				
					<b>Fiest. Patri.</b>	<b>Fiest. Navid.</b>	
				diario	9.24	12.93	
				mensual	277.14	388.00	
				<b>Total</b>	<b>1940.00</b>	<b>1940.00</b>	
Ley N° 30334, Exonera a las gratif. del descuento del SNP o SPP. El 9% correspondiente a EsSalud se paga al trabajador							
<b>PEON</b>					<b>Indemnizac.</b>	<b>vacaciones</b>	
Jornal	43.30 *	6 días	259.80	diario	6.50	4.33	
Jornal Dominical	7.22 *	6 días	43.30	semanal	38.97	25.98	
BUC 30 %	12.99 *	6 días	77.94				
Bonif. Por Movilidad	7.20 *	6 días	43.20				
<b>Total Salarios</b>			<b>424.24</b>				
Descuento ONP 13%			49.54				
Descuento CONAF. 2%			6.06				
<b>Pago Neto Semanal</b>			<b>368.64</b>				
					<b>Gratific.</b>	<b>Fiest. Patri.</b>	<b>Fiest. Navid.</b>
				diario	8.25	11.55	
				mensual	247.43	346.40	
				<b>Total</b>	<b>1732.00</b>	<b>1732.00</b>	
Ley N° 30334, Exonera a las gratif. del descuento del SNP o SPP. El 9% correspondiente a EsSalud se paga al trabajador							
<b>Asignación Escolar por un hijo</b>				<b>HORAS EXTRAS</b>			
	<b>Diario</b>	<b>Mensual</b>		<b>Simples</b>	<b>60%</b>	<b>100%</b>	<b>Indemniz.</b>
<b>OPERARIO</b>	4.88	146.50		7.33	11.72	14.65	1.10
<b>OFICIAL</b>	4.04	121.25		6.06	9.70	12.13	0.91
<b>PEON</b>	3.61	108.25		5.41	8.66	10.83	0.81


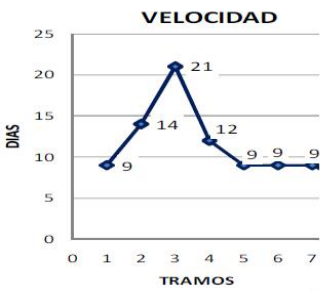

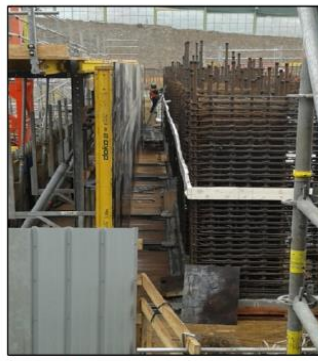

A 1 Tabla Salarial por Categoría para edificaciones 2015-2016  
Federación de Trabajadores en Construcción Civil

	REM BRUTA	COSTO EMPRESA
<b>OPERARIO</b>	2,500.00	3,600.00
<b>OFICIAL</b>	2,100.00	2,900.00
<b>PEÓN</b>	1,900.00	2,600.00





A 2 Remuneración Bruta y Costo Empresa mensual de  
Trabajadores en Construcción Civil (Gestion, 2015)

Partida	01.05.02.05.02 ENCOFRADO EN PLACAS (EN SUPERESTRUCTURA)							
Rendimiento	m2/DIA	MO. 24.0000	EQ. 24.0000			Costo unitario directo por : m2		56.44
Código	Descripción Recurso			Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
				d				
		<b>Mano de Obra</b>						
0101010002	CAPATAZ			hh	0.1000	0.0333	22.80	0.76
0101010003	OPERARIO			hh	2.0000	0.6667	18.96	12.64
0101010004	OFICIAL			hh	1.0000	0.3333	16.40	5.47
0101010005	PEON			hh	2.0000	0.6667	14.89	9.93
								<b>28.80</b>

A 3 Análisis de precios Unitarios para Encofrado en Placas (CosapiOficial, 2015)

UNIDAD DE NEGOCIOS DE EDIFICACIONES	<b>Instructivo de trabajo para encofrado de muros con sistema auto trepante</b>	
C.R: 2114	Código: IT- ENC-16	
<b>PROCEDIMIENTO DE TRABAJO</b>	<b>PROCEDIMIENTO GRAFICO</b>	
<p>1.- El sistema de encofrado auto trepante requiere de la asesoría de técnicos especializados de Doka durante el armado, debido a los componentes mecánicos.</p> <p>2.- El sistema termina de instalarse a un muro previo de 8m. de altura ( 2 vaciados de 4m.), luego el ascenso es autónomo.</p> <p>3.- La velocidad de vaciado por tramo de 4m, se puede estimar en 8 días, teniendo picos de 6 días a diferencia de la etapa inicial.</p> <div style="text-align: center;">  <p><b>VELOCIDAD</b></p> </div> <p>4.- El sistema de encofrado autotrepante requiere del empleo de conectores roscados para su funcionamiento, los mismos que quedan embebidos para poder encofrar las caras planas.</p>	 <p>Armado de encofrado auto trepante</p>  <p>Panel deslizante de 4m. de altura</p>  <p>Encofrado terminado, listo para ascender de manera independiente a partir del 3er tramo</p>	
<b>EQUIPOS</b>	<b>CARACTERISTICAS</b>	
Encofrado Autotrepante SKE 50		
Sistema de izaje hidráulico		
Sistema cortaviento		
Sistema de escalera de acceso		
<b>RATIO DE ENCOFRADO</b>	<b>RATIO DE ENCOFRADO</b>	
Encofrado autotrepante:	2.83	H-H/m2

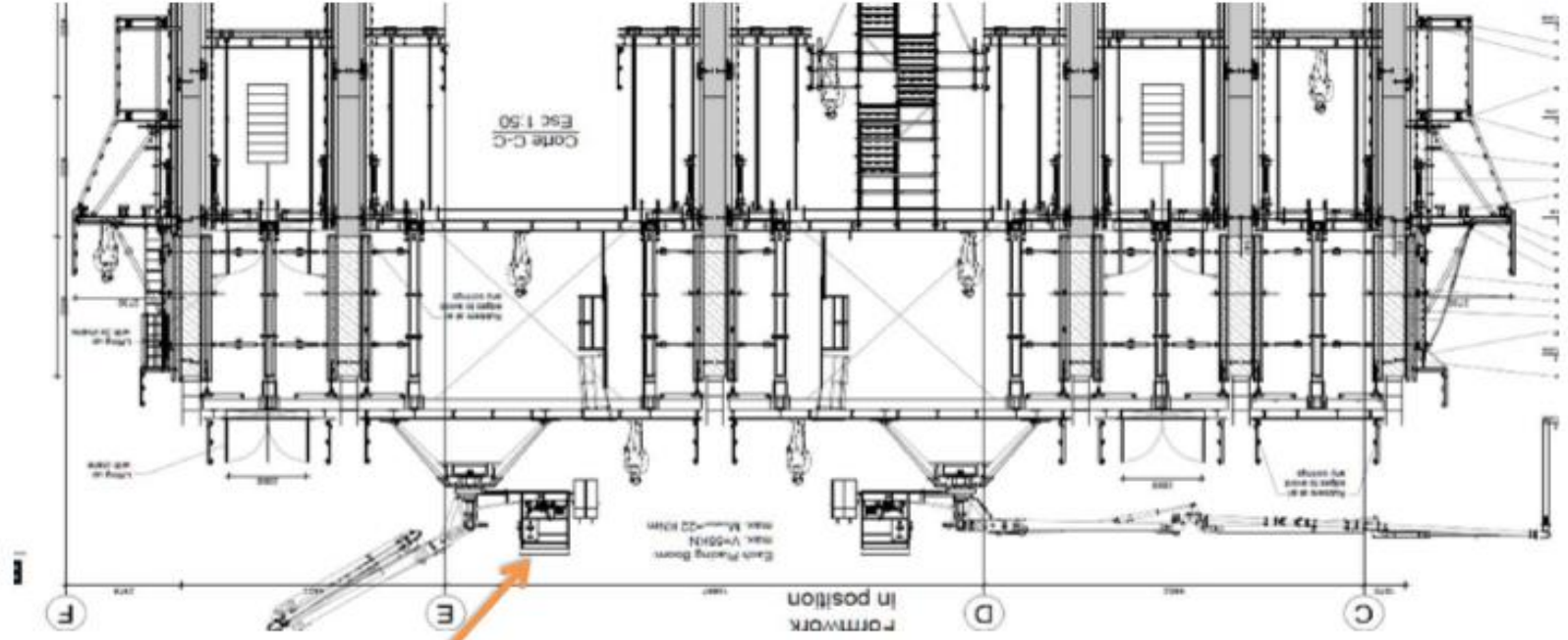
A 4. Instructivo de Trabajo para encofrado de muros con Sistema Autotrepante (CosapiOficial, 2015)

UNIDAD DE NEGOCIOS DE EDIFICACIONES		Instructivo de Trabajo para encofrado de Muros y Placas													
C.R: 2966	Código: IT- ENC- 14														
<b>PROCEDIMIENTO DE TRABAJO</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.- Efectuar el trazo de muro</li> <li>2.- Limpiar el acero y escarificar la base del muro</li> <li>3.- De efectuar un muro a 1 cara, colocar el technopor intermedio</li> <li>4.- Colocar los espárragos pasantes</li> <li>5.- Colocar los pases de instalaciones existentes.</li> <li>6.- Colocar los separadores de concreto</li> <li>7.- Iniciar la colocación de Paneles de Encofrado Doka.</li> <li>8.- Alinear el muro</li> <li>9.- Liberar topográficamente la verticalidad.</li> <li>10.- Contemplar la ejecución de ventanas de ser necesario.</li> </ol>		<b>PROCEDIMIENTO GRAFICO</b>  <p>Se debe de efectuar la limpieza respectiva antes del encofrado</p>  <p>En los sótanos se empleo el encofrado auto trepante de manera manual, dado que recién a partir del 3er nivel se</p>  <p>Los muros típicos en los sótanos tenían un espesor de 95 cm., resultando laborioso el proceso de instalar los pasadores de sujeción por la densidad de acero del muro.</p>													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>HERRAMIENTAS MANUALES</th> <th>CARACTERISTICAS</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Serrucho / Martillo</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Cordel</td> <td>50m.</td> </tr> <tr> <td>Plomada</td> <td>Tipo Aguja</td> </tr> </tbody> </table>		HERRAMIENTAS MANUALES	CARACTERISTICAS	Serrucho / Martillo		Cordel	50m.	Plomada	Tipo Aguja						
HERRAMIENTAS MANUALES	CARACTERISTICAS														
Serrucho / Martillo															
Cordel	50m.														
Plomada	Tipo Aguja														
<table border="1"> <thead> <tr> <th>EQUIPOS</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Encofrado Doka</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Taladro 5/8"</td> <td>Hilti T-50</td> </tr> <tr> <td>Sopladora manual</td> <td>Black &amp; Decker</td> </tr> <tr> <td>Martillo Demoledor</td> <td>Hilti T-70, para escarificado</td> </tr> </tbody> </table>		EQUIPOS		Encofrado Doka		Taladro 5/8"	Hilti T-50	Sopladora manual	Black & Decker	Martillo Demoledor	Hilti T-70, para escarificado				
EQUIPOS															
Encofrado Doka															
Taladro 5/8"	Hilti T-50														
Sopladora manual	Black & Decker														
Martillo Demoledor	Hilti T-70, para escarificado														
<table border="1"> <thead> <tr> <th>MATERIALES</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Estacas de Acero</td> <td>5/8"</td> </tr> <tr> <td>Tacos de Madera</td> <td>4"x4" , Cuñas</td> </tr> <tr> <td>Brocas y Puntas de Rotomartillos</td> <td>Según encastre Taladro</td> </tr> <tr> <td>Alambre de amarre</td> <td>N°8</td> </tr> <tr> <td>Espárragos</td> <td>1.0m, 2.0m.</td> </tr> </tbody> </table>		MATERIALES		Estacas de Acero	5/8"	Tacos de Madera	4"x4" , Cuñas	Brocas y Puntas de Rotomartillos	Según encastre Taladro	Alambre de amarre	N°8	Espárragos	1.0m, 2.0m.		
MATERIALES															
Estacas de Acero	5/8"														
Tacos de Madera	4"x4" , Cuñas														
Brocas y Puntas de Rotomartillos	Según encastre Taladro														
Alambre de amarre	N°8														
Espárragos	1.0m, 2.0m.														
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">RATIO DE ENCOFRADO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Placas y muros sótano :</td> <td>2.99</td> <td>H-H/m2</td> </tr> <tr> <td colspan="3">( No incluye cuadrilla de andamios )</td> </tr> </tbody> </table>		RATIO DE ENCOFRADO			Placas y muros sótano :	2.99	H-H/m2	( No incluye cuadrilla de andamios )							
RATIO DE ENCOFRADO															
Placas y muros sótano :	2.99	H-H/m2													
( No incluye cuadrilla de andamios )															

A 5. Instructivo de Trabajo para Encofrado de Muros y Placas (CosapiOficial, 2015)

# Encofrado auto trepante

Brazo concreto ligero



Fecha de utilizacion: sotano 4  
01/04/2014

A 6. Ubicacion del Sistema Autotrepante y del Brazo concreto (Spider) – Edificio Banco de la Nacion (Cosapi/Oficial, 2015)

# Encofrado auto trepante



ACERO IN SITU A  
COLOCAR SOBRE EL  
AUTO TREPANTE

Acero pre fabricado

Acero in situ

A 7. Acero In Situ y Prefabricado a colocar sobre el sistema Autotrepante (Cosapi/Oficial, 2015)

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD**  
**CATÓLICA**  
DEL PERÚ

**PLANOS**

**“APLICACIÓN DEL SISTEMA DE ENCOFRADO AUTOTREPANTE Y ANÁLISIS  
COMPARATIVO DE LA PRODUCTIVIDAD CON EL SISTEMA DE ENCOFRADO  
METÁLICO CONVENCIONAL EN EDIFICACIONES DE GRAN ALTURA”**

**Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, que presentan los bachilleres:**

**CHUNGA ZAÑA, JAHIR ROMÁN**  
**RAMIREZ TAFUR, KEVIN PAOLO**

**ASESOR: ING. BRAGAGNINI RODRIGUEZ, IVAN ENRIQUE**

**Lima, abril del 2019.**

## ÍNDICE GENERAL

<b>A-01 Planta de arquitectura del núcleo de ascensores – Edificio Banco de la Nación</b> .....	3
<b>E-01 Sección transversal del núcleo de ascensores – Edificio Banco de la Nación</b> .....	4
<b>E-02 Elevación sótano 04 al piso 19 núcleo de ascensores del núcleo de ascensores – Edificio Banco de la Nación</b> .....	5
<b>E-03 Elevación Piso 19 al techo cuarto de máquinas – Edificio Banco de la Nación</b> .....	6

