

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
**UNIVERSIDAD
CATÓLICA**
DEL PERÚ

**LOS ENCOFRADOS DESLIZANTES EN LA
CONSTRUCCIÓN DE SILOS DE CONCRETO
CONCRETO ARMADO ARMADO EN EL PERÚ**

Tesis para optar el Título de **Ingeniero Civil**, que presenta el bachiller:

José Alberto Llave Frías

ASESOR: Ing. Luis Antonio Zegarra Ciquero

Lima, septiembre de 2016



RESUMEN

En el presente trabajo se pretende hacer un resumen del sistema de los encofrados deslizantes en base a los procedimientos que se han venido aplicando en este tipo de obras en el Perú, de manera que sirva de guía para obras similares.

Se va a desarrollar el tema en base a la aplicación de este sistema para la construcción de silos o reservorios verticales de concreto armado, sin embargo, las descripciones presentadas son, en gran medida, aplicables para la construcción de cualquier tipo de estructura vertical que aplique para construirse con el sistema deslizante.

Se abarcará el tema empezando por una descripción general del modelo. Luego, se describirán todos los procedimientos previos al inicio del izaje, desde la planificación hasta el armado final del molde. Se hará una descripción de todos los procesos involucrados en el proceso de izaje desde el inicio del deslizamiento hasta finalizar el izaje.

Se mencionarán las ventajas y desventajas del sistema de encofrados deslizantes frente al sistema de encofrados tradicionales. Por último, se tratarán los problemas con alto potencial de ocurrencia cuando se trabaja con el sistema deslizante, haciendo énfasis en los relacionados con movimientos no deseados de la plataforma.

Finalmente, propondrán alternativas para mejorar los procesos de control, construcción y medición. Se darán las bases para desarrollar un procedimiento de control en obra que permita determinar si el concreto suministrado es apropiado para utilizarse con el sistema deslizante, se propondrá una alternativa para mejorar el sistema de entrega de concreto a la plataforma y otro para la mejora de medición de plomadas, ambas orientadas a la sistematización, ahorro de costes y tiempo en los procesos. También se evaluarán las distintas alternativas para el traslado del concreto y se discernirá la más óptima para el sistema deslizante.

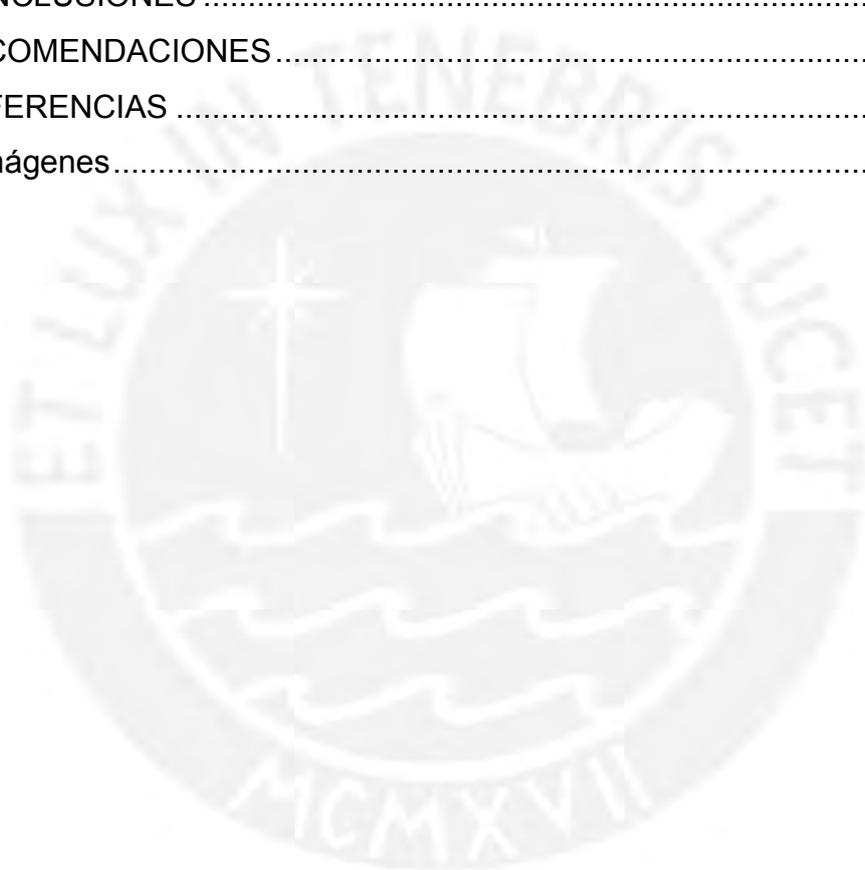
Cabe señalar que, por temas de tiempo, en la presente tesis no se pretende desarrollar todos los procesos que permitan la implementación final de estos sistemas. Simplemente se plantearán como potenciales mejoras o soluciones a determinados problemas, poniendo las bases para su posterior desarrollo e implementación.



*Dedicado a mis padres y hermanas,
por acompañarme durante
todo este proceso.*

3.2.1. Trazo y replanteo	18
3.2.2. Preparación de la armadura	19
3.3. Arranque del silo.....	19
3.4. Ensamblaje y desmontaje del encofrado	20
3.4.1. Armado y colocación del molde deslizante.....	21
3.4.2. Montaje de yugos	23
3.4.3. Montaje de plataformas de trabajo	24
3.4.4. Montaje de los entramados-soportes	25
3.4.5. Montaje de castillo para izaje del concreto.....	26
3.4.6. Montaje de instalaciones para control de posición del deslizante	29
3.4.7. Montaje de sistema de elevación	29
3.4.8. Montaje de instalaciones auxiliares	29
3.4.9. Montaje de escales de acceso	30
3.4.10. Desmontaje del encofrado.....	31
Capítulo IV: PROCEDIMIENTO DE IZAJE	33
Capítulo V: VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL SISTEMA.....	37
5.1. Ventajas del sistema.....	37
5.2. Desventajas del sistema deslizante.....	38
Capítulo VI: PRINCIPALES PROBLEMAS	41
6.1. Desplomes.....	41
6.2. Deformación del molde.....	41
6.3. Giros	42
6.4. Otros problemas	42
Capítulo VII: DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DEL CONCRETO	43
7.1. Requerimientos para el concreto en encofrados deslizantes	43
7.2. Problemas generados por inadecuado comportamiento de fragua del concreto.....	44
7.3. Pruebas para el concreto en obra.....	47
Capítulo VIII: PRUEBAS EMPIRICAS EN CAMPO PARA CONTROL DE FRAGUA, AUTOSOPORTE Y PLASTICIDAD.....	50
8.1. Análisis de sección crítica.....	51
8.2. Tiempo requerido de fragua	52
8.3. Presión ejercida	52
8.4. Descripción de propuestas de pruebas para el concreto.....	53

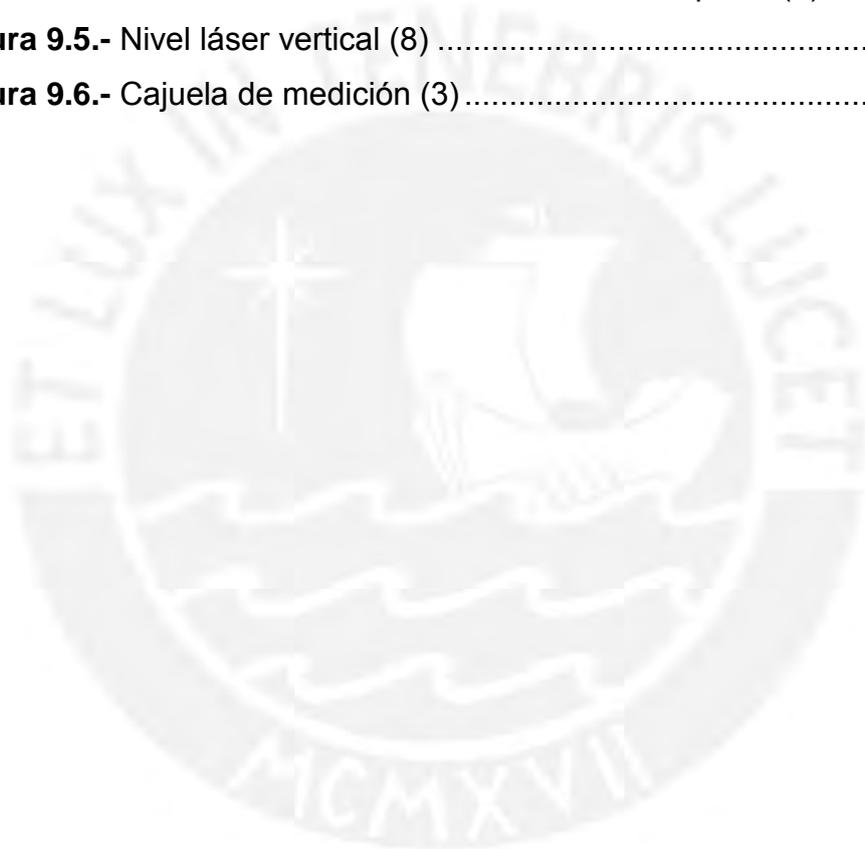
8.5. Ventajas de la implementación de las pruebas empíricas descritas..	54
Capítulo IX: METODOLOGÍA ÓPTIMA PARA TRASLADO DE CONCRETO Y ALTERNATIVAS DE MEJORA PARA EL SISTEMA	55
9.1. Alternativas para traslado de concreto	55
9.1.1. Sistema de grúa con balde	55
9.1.2. Bomba de concreto	57
9.1.3. Mecanismo con winche, castillo y balde	58
9.2. Uso de balde de volteo como alternativa al balde con compuerta.....	60
9.3. Implementación de sistemas láser para control de desplazamientos	61
CONCLUSIONES	63
RECOMENDACIONES	65
REFERENCIAS	66
Imágenes	67



LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1.- Acabados de silos ejecutados con gatos mecánicos. (6).....	4
Figura 2.1.- Sección típica de un encofrado deslizante vertical (2).....	7
Figura 2.2.- Partes del sistema deslizante (1).....	8
Figura 2.3.- Conexión de los tubos de vidrio a la red de nivel (1).....	9
Figura 2.4.- Templador para corrección de verticalidad (3).....	12
Figura 2.5.- Templadores diametrales independientes (3).....	13
Figura 2.6.- Templadores radiales trabajando en conjunto (3).....	13
Figura 3. 1.- Replanteo por el método de las diagonales (1).....	18
Figura 3. 2.- Vista panorámica del arranque con encofrados (3).....	19
Figura 3. 3.- Vista exterior del mismo silo (3).....	20
Figura 3. 4.- Elementos del encofrado (4).....	21
Figura 3. 5.- Paneles interiores del encofrado (1).....	22
Figura 3. 6.- Colocación de primer tramo de la armadura (1).....	22
Figura 3. 7.- Montantes verticales de yugos (1).....	23
Figura 3. 8.- Fijación de yugos (1).....	24
Figura 3. 9.- Armado de andamio inferior interior (3).....	24
Figura 3.10.- Andamio inferior exterior (3).....	25
Figura 3.11.- Finalización de armado de entramados (3).....	26
Figura 3.12.- Entramados en funcionamiento (3).....	26
Figura 3.13.- Castillo y balde de concreto (3).....	27
Figura 3.14.- Zona de trabajo de winche cercada (3).....	28
Figura 3.15.- Armado de plataforma de almacenamiento de concreto (3) ..	28
Figura 3.16.- Plataformas en volado para recepción de materiales (3).....	30
Figura 3.17.- Escalera de acceso (3).....	31
Figura 4.1.- Llenado de balde (3).....	33
Figura 4.2.- Momento en que se vacía del balde a la plataforma (3).....	34
Figura 4.3.- Llenado de boggies desde plataforma (3).....	34
Figura 4.4.- Sistema de izaje de concreto (3).....	35
Figura 5.1.- Sistema convencional de encofrados (5).....	40
Figura 5.2.- Sistema de encofrados deslizantes (3).....	40
Figura 7.1.- Capa de concreto adherida al molde (3).....	46

Figura 7.2.- Cangrejera producto de concreto adherido en molde (3).....	47
Figura 7.3.- Molde de prueba (3).....	48
Figura 8.1.- Sectorización del concreto en el molde deslizante (1).....	51
Figura 8.2.- Sección transversal de un encofrado deslizante (7).	53
Figura 9.1.- En la figura se aprecia el momento en el que se va a colocar la manguera de jebe en la boca inferior del balde (3).....	56
Figura 9.2.- Izaje del balde con la grúa (3).....	56
Figura 9.3.- A la izquierda, balde utilizado en mecanismo con winche y castillo. A la derecha, balde utilizado con grúa (3).....	57
Figura 9.4.- A la derecha, castillo de alerno de reemplazo (3).....	59
Figura 9.5.- Nivel láser vertical (8)	61
Figura 9.6.- Cajuela de medición (3).....	62



ALCANCE

Se hará una descripción general del sistema de encofrados deslizantes aplicado a silos de concreto armado en el Perú a partir de un estudio detallado del sistema y la experiencia ganada en este tema. Además, se buscará describir un procedimiento alternativo de pruebas de ensayo en obra que permita determinar las propiedades de plasticidad y autosoporte del concreto y, a partir de ello, evaluar si este es o no adecuado para utilizarlo en obras con encofrados deslizantes. Se evaluarán las alternativas existentes para el traslado del concreto y se determinará la más efectiva. También, se describirán alternativas para la mejora del sistema mediante la propuesta de uso de un balde de volteo para entrega de concreto y la utilización de sistemas láser para la medición de plomadas. Se analizarán las posibles ventajas que tendrían estas propuestas frente los procedimientos que se utilizan actualmente.



OBJETIVOS

Objetivos Principales

Realizar un aporte al sistema de los encofrados deslizantes verticales en el Perú aplicados en silos de concreto. Se propondrán alternativas para mejorar procesos de construcción, medición y control.

Cabe señalar que, por limitaciones de tiempo, la intención de este trabajo no es la implementación de estos aportes, con las investigaciones y ensayos que esto conlleva. Sino que se limitará a la descripción de estas ideas, colocando las bases y abriendo campo a futuras investigaciones que permitan su eventual implementación.

Objetivos Específicos

1. Hacer una descripción general del sistema que se utiliza en el Perú para construcción de silos de concreto armado con encofrados deslizantes.
2. Describir las distintas alternativas para el traslado de concreto y determinar el más eficiente para trabajos con encofrados deslizantes en estructuras como silos o reservorios elevados.
3. Proponer un procedimiento, alternativo a las pruebas para el concreto establecidas por norma, que se pueda utilizar para determinar si el concreto en obra es adecuado o no para utilizarse en el sistema de encofrados deslizantes.
4. Proponer una mejora al sistema de entrega balde-plataforma de trabajo, mediante un balde de volteo que permita disminuir tiempos y costos de personal a través de la sistematización del proceso.
5. Proponer un sistema alternativo que resulte más efectivo para los controles de verticalidad y deformaciones del molde mediante la utilización de sistemas láser en vez del uso de plomadas o equipo topográfico.

Capítulo I: GENERALIDADES

1.1. Glosario

Cuando se utilicen las siguientes palabras en el presente trabajo se hará referencia a las definiciones que se especifican a continuación, las cuales permitirán un mayor entendimiento de lo que se quiere explicar. Se ha utilizado como referencia expedientes técnicos de obra (referencia [12]) para las definiciones:

- **Concreto:** Es el resultado de la mezcla de cemento Portland o cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua con o sin aditivos. La mezcla puede ser preparada en obra o preparada en planta.
- **Trabajabilidad:** Producción de concreto con slump adecuado y que al momento de su colocación mantenga el slump del diseño aprobado, permitiendo realizar un buen colocado, compactado y acabado superficial del concreto sin la necesidad de emplear productos diferentes al mismo concreto.
- **Autosoporte:** Estado del concreto cuando es capaz de soportar su peso propio más una carga vertical adicional equivalente a la presión que haría el concreto fresco dentro del molde sobre el concreto que ya es capaz de autosoportarse. Esta característica en el concreto debe alcanzarse para que el izaje del molde deslizante pueda continuar dejando libre el concreto que se autosoporta.
- **Plasticidad:** Estado del concreto en el cual no pierde sus características plásticas lo cual permite realizar las correcciones en las variaciones de verticalidad que se producen en el izaje asegurando un buen acabado y verticalidad.

1.2. Reseña histórica

Para el desarrollo de la reseña histórica se han utilizado las referencias [4] y [5].

Los encofrados deslizantes se utilizaron por primera vez en el año 1903, en Estados Unidos para la construcción de silos industriales, luego en Alemania (1924) y posteriormente la U.R.S.S. Luego se comenzó a diversificar su uso para construcciones de: depósitos elevados de agua (Alemania, 1932), presas (Alemania, 1933), faros (Alemania, 1939), infraestructura de puertos, torres de televisión, salas de máquinas, estructuras de edificios industriales, etc.

Fue recién en el año 1954 que se utilizó por primera vez el sistema de encofrados deslizantes en el Perú. La empresa Cillóniz Olazábal Urquiaga

S.A. (COUSA) fue la pionera en utilizar este método en la construcción de unos silos para granos en el terminal del Callao (Gallegos, 1992).

El sistema de elevación inicial consistía en gatos mecánicos (de tornillo o rosca), los cuales debían trabajarse manualmente, demandando mucho trabajo de mano de obra y no proporcionaban un levantamiento uniforme sino que se realizaba de forma escalonada. Este trabajo resultaba ser muy complicado debido a la naturaleza dinámica del sistema que obligaba a hacer un levantamiento parejo del molde para mantener la homogeneidad de fragua en toda la sección. Sin embargo, la sincronización con el sistema mecánico resultaba prácticamente imposible, lo cual ocasionaba importantes arranques en el concreto produciendo variabilidades en el espesor de la sección y acabados muy malos (**figura 1.1.**). A pesar de lo difícil que era trabajar con este sistema, resultaba una mejor opción que los encofrados tradicionales para la construcción de estructuras homogéneas verticales.



Figura 1.1.- Acabados de silos ejecutados con gatos mecánicos. (6)

Fue en 1960, cuando en Rumania se mecanizó la elevación del encofrado, que el sistema cobró mucha mayor importancia y dio pie a un gran desarrollo en esta área. La mecanización del sistema consistió en la introducción de instalaciones electrohidráulicas mediante un sistema de gatos hidráulicos interconectados con bombas que permiten el levantamiento uniforme del molde.

Con la introducción de este sistema se solucionó el problema del levantamiento disparejo (escalonado) que obligaba al sistema de gatos mecánicos, presentando acabados de mucho mejor calidad. Además, permite un gran ahorro en mano de obra ya que se prescinde del trabajo manual para el izaje del encofrado.

Con la introducción de instalaciones electrohidráulicas se logró mecanizar el izaje del encofrado y el uso de este sistema comenzó a tomar mayor importancia. Las gatas hidráulicas permiten un levantamiento uniforme y no requieren esfuerzo físico para su funcionamiento. En la actualidad existen encofrados deslizantes de sección variable, los cuales permiten variar gradualmente sus dimensiones horizontales para conseguir secciones transversales variables.

El uso de encofrados deslizantes verticales es común en la construcción de silos, reservorios elevados, chimeneas, plataformas marítimas, edificios altos y estructuras industriales en general. También ha cobrado mucha importancia en la construcción de edificios altos, para los cuales se pueden construir núcleos de concreto con el sistema deslizante, complementándose luego con perfiles metálicos.

1.3. Justificación

El proceso de construcción con encofrados deslizantes consiste en un tren de trabajo, en el que todos los procesos involucrados en el izaje forman parte de la ruta crítica. En ese sentido resulta de vital importancia optimizar procesos y controles para evitar así cuellos de botella y liberar recursos.

Las características de la mezcla del concreto son factores determinantes para alcanzar altos rendimientos y buenos acabados. La tecnología del concreto ha avanzado mucho en los últimos años con la incorporación de diversos aditivos que mejoran la trabajabilidad, resistencia y otras características del concreto. Sin embargo, también modifica el comportamiento de la mezcla en su estado plástico y tiempo de fragua, afectando adversamente el proceso de construcción con encofrados deslizantes.

Se pueden presentar así serios problemas de rendimientos por demora en el tiempo de fragua, daños en la superficie de los muros por fragua prematura, irregularidades en las superficies de los muros, desplomes, etc.

Cuando el concreto fragua más rápido de lo que se espera puede pegarse al molde formando costras que dañan el acabado final. En caso más crítico, una fragua rápida puede ocasionar que no se pueda continuar con el deslizado al haberse “pegado” el molde al muro. Si el concreto fragua muy lentamente produce deformaciones ya que cuando este se descubre aún se encuentra en

estado plástico, y esto se traduce también en retrasos ya que se debe disminuir la velocidad de izaje. Los aditivos cambian drásticamente el comportamiento de fragua tradicional, en algunos casos otorgan viscosidad a la mezcla ocasionando que esta se pegue al molde y otros casos pueden producir una fragua muy brusca, lo cual hace que sea muy difícil determinar el tiempo de fragua y en función de eso planificar la velocidad de izaje.

Los procesos de entrega de concreto y medición de plomadas que se realizan actualmente en el sistema resultan poco eficientes. En ese sentido es oportuno plantear alternativas en la búsqueda de automatización de los procesos, liberación de recursos y optimización de precios.



Capítulo II: DESCRIPCIÓN DEL MODELO DESLIZANTE:

2.1. Descripción del sistema

El sistema consiste en un molde deslizante al cual se ancla una plataforma de trabajo (ver **figura 2.1.**). Se basa en un tren de actividades continuo que permite la colocación ininterrumpida de concreto por la parte superior, además del acero, insertos y pases. La velocidad de izaje depende principalmente del tiempo de fragua del concreto y la complejidad de la sección.

Este proceso permite tener un vaciado homogéneo y continuo, sin necesidad de hacer paradas desde el inicio del llenado hasta el término de la estructura en toda la altura donde se utiliza el sistema deslizante, esto permite lograr un mejor tiempo de construcción y evita tener que realizar los trabajos de encofrado y desencofrado necesarios en los trabajos con encofrados tradicionales [6].

El molde deslizante se eleva en forma continua a una velocidad de hasta 30cm por hora, lo que permite por ejemplo, la colocación de concreto armado de una estructura de 40 metros de altura (equivalente a 15 pisos) en 8 días aproximadamente.



Figura 2.1.- Sección típica de un encofrado deslizante vertical (2)

La carga del encofrado y plataforma de trabajo es soportada por los gatos hidráulicos, los cuales, en conjunto con las bombas, elevan el sistema aproximadamente una pulgada cuando se activan las bombas de levantamiento en el tablero eléctrico. Los gatos transmiten las cargas de todo el sistema por las barras de trepar que se van acoplando conforme se gana altura quedando confinadas dentro del muro construido. De esta manera los muros recién llenados no soportan ninguna carga más que su propio peso.

El ritmo de avance lo determina principalmente la velocidad de fragua del concreto y la complejidad de la estructura. Si el concreto presenta una fragua muy lenta, no se podrá tener velocidades muy altas de izaje ya que el concreto deberá pasar más tiempo dentro del molde hasta que sea capaz de autoportarse. Si la estructura es muy compleja debido a que presenta una densidad muy alta de acero o insertos, los trabajos de la cuadrilla de acero podrían demandar más tiempo de lo esperado retrasando todo el sistema en conjunto.

2.2. Partes del sistema

En la **figura 2.2.** se muestran las principales partes del sistema deslizante (Ref. [9]):

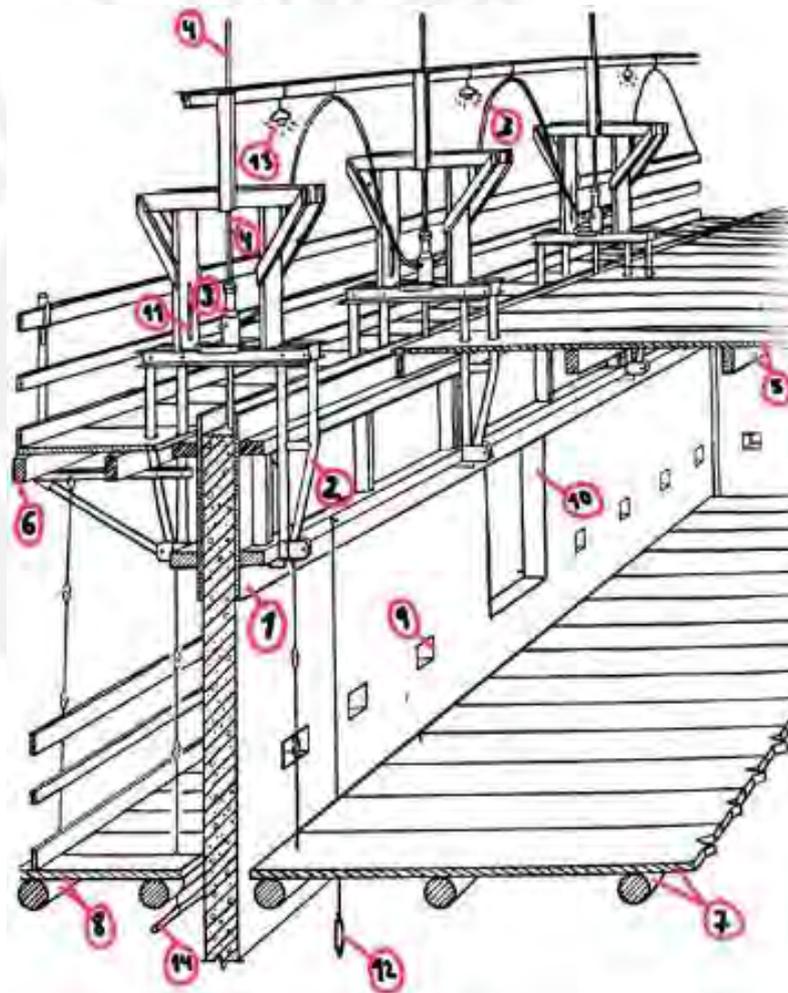


Figura 2.2.- Partes del sistema deslizante (1)

1. Paneles de encofrado
2. Cabezal
3. Dispositivo de elevación
4. Barras metálicas de apoyo o barras de trepar

5. Plataforma de trabajo superior interior
6. Plataforma de trabajo superior exterior
7. Plataforma de trabajo inferior interior
8. Plataforma de trabajo inferior exterior
9. Aberturas
10. Vano de puerta o ventana
11. Instalación control horizontalidad
12. Instalación control verticalidad
13. Instalación eléctrica
14. Instalación de agua

2.3. Sistemas de control y corrección

El desarrollo del presente subcapítulo se basa en la propia experiencia en obras con encofrados deslizantes así como información extraída de las referencias [9] y [12].

2.3.1. Instalación de nivel

Mediante este sistema se trata de controlar la horizontalidad del encofrado deslizante. Consiste en un conjunto de tubos de vidrio situados al frente de cada gato e interconectados por tubos flexibles de caucho o plástico. Los tubos de vidrio se encuentran montados sobre uno de los pies de soporte de los cabezales (**figura 2.3.**).

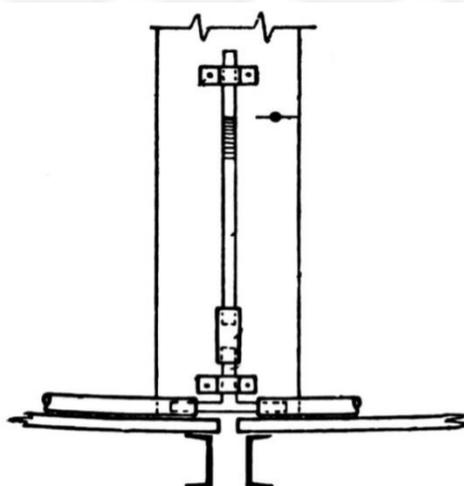


Figura 2.3.- Conexión de los tubos de vidrio a la red de nivel (1)

La red de tubos es llenada con agua hasta un determinado nivel en los tubos de vidrio la cual es marcada con una cinta o marcador indeleble. Al agua se le debe añadir algún colorante para que se visualice mejor el nivel y, en caso

de presentarse temperaturas bajo 0°C, se le debe añadir alcohol industrial o alguna otra sustancia anticongelante para evitar que el agua se solidifique.

Se montan uno o dos depósitos de agua de compensación de 5 a 10 litros de capacidad sobre la red para compensar las pérdidas de agua debido a fugas o evaporación.

Cada uno de estos tubos representa una zona de control ya que, al estar todos interconectados, se puede verificar el nivel de cada uno de ellos por capilaridad. Si el nivel de agua se encuentra por debajo de la marca original en el vidrio, quiere decir que la zona donde está ubicado este punto de control se encuentra a un nivel relativo superior. En este caso se tendría que disminuir la carrera del cabezal para emparejar el nivel horizontal del encofrado.

2.3.2. Control de verticalidad y giros

Las plomadas se utilizan para controlar giros y desplazamientos respecto al eje vertical. Se componen de un soporte en su parte superior y colocado en un punto fijo en el encofrado deslizante, de un peso y de un cable que debe tener una longitud mayor a la altura del deslizante respecto al piso. Conforme el encofrado va subiendo en altura, se va soltando el cable de tal forma que el peso se mantenga siempre a 1,50m del piso.

Para realizar las mediciones, basta con fijar la distancia del soporte en la parte superior y medir la distancia del peso a la pared, la resta de estas dos distancias entre la altura total permite obtener la deriva. Para determinar el giro, se compara la ubicación de la plomada con una marca que se deberá hacer al inicio del izaje para fijar la ubicación del eje de la plomada.

Es bueno fijar las plomadas en la parte interior de la pared para evitar las corrientes de aire que pueden producir oscilaciones en la plomada, generando grandes dificultades para realizar las mediciones de control. En caso no ser posible realizar la medición al interior, se puede sumergir el peso en un tonel de agua para amortiguar el balanceo.

Para estructuras con forma circular (por ejemplo silos o tanques elevados de agua) o rectangular, se recomienda utilizar cuatro plomadas. Se trazan dos ejes principales y se coloca una plomada en los puntos donde los ejes cortan a la estructura.

Mientras más alta la estructura y menor sea la superficie horizontal de obra, se vuelve más crítico el control de la verticalidad. Es por ello que este sistema de control se debe llevar con especial cuidado en estructuras esbeltas.

En la actualidad se está empezando a desarrollar este control mediante el uso de sistemas láser. Consiste en una serie de láseres calibrados y fijos en el

suelo, apuntando a una mira que se encuentra fija en el molde. Permite detectar las desviaciones muy fácilmente, basta con mirar la mira para saber cuál es la posición relativa del molde; lo que significa un ahorro en horas hombres (este tema con más detalle en el último capítulo).

2.3.3. Templadores para corrección de verticalidad y giros

Cuando se detectan desviaciones de giros o verticalidad en el molde, se deben realizar correcciones oportunamente. Las correcciones se realizan mediante los templadores de corrección, los cuales aplican una fuerza puntual en el molde en la dirección en la cual se desea realizar la corrección.

El sistema consiste en una serie de cables de acero de alta resistencia, anclajes en los extremos y un tirfor. Con este sistema se pueden corregir desviaciones tanto por pérdida de verticalidad (mediante tensiones radiales) como por giros (mediante tensiones tangenciales).

Cuando se producen desplomes, problema frecuente en estructuras esbeltas, se debe corregir rápidamente. Cuando no se detectan a tiempo los desplomes o no se corrigen de manera adecuada, pueden llevar a la estructura fuera del rango de tolerancias admisibles (ver acápite 2.4.).

Los templadores se anclan por un lado a un punto estable (que puede ser interno o externo al molde) y por el otro se ancla al encofrado. Para las correcciones por desplome, se recomienda un anclaje interno (ver **figura 2.4.**) ya que puede otorgar una fuerza cuya componente trabaje en su totalidad radialmente, permite un mayor control y resulta más seguro que un anclaje externo (en el que se pueden presentar accidentes con maquinarias de trabajo).

El anclaje que va al punto fijo siempre es puntual, mientras que el que va al encofrado puede ser puntual (ir anclado a un solo yugo del encofrado) o múltiple (anclado a varios yugos). Se recomienda, en la medida de lo posible, realizar anclas múltiples; de esta manera se distribuye mejor la fuerza y permite templar más el cable reduciendo el riesgo de que el panel de encofrado se pueda abrir.



Figura 2.4.- Templador para corrección de verticalidad (3)

Cuando se desea realizar correcciones por giro, se deben utilizar los tensores de tal forma que apliquen un momento respecto al centro del molde en el sentido que se desea corregir, para ello se requiere aplicar fuerzas tangenciales al molde. Es por ello que, en este caso, resulta más eficiente utilizar tensores con anclajes externos al silo de tal forma que se aplique una fuerza con una componente puramente tangencial. En el caso de que no se puedan utilizar anclajes externos, se debe colocar el/los tensor/es dentro del molde como cuerdas de tal forma que obtenga una fuerza con una componente tangencial importante. Para que esto ocurra, el tensor no debe cruzar por el centro del molde.

2.3.4. Templadores radiales

Consiste en un sistema de cables de acero que se distribuyen en todo el diámetro del encofrado circular de manera similar a los radios de la llanta de una bicicleta. La función de estos cables es rigidizar el molde de tal forma que mantenga su forma circular en todo momento.

Inicialmente, el sistema consistía en templadores diametrales que trabajaban independientemente uno con otro (ver **figura 2.5.**). El sistema está compuesto por los cables de acero, templadores y anclajes a los extremos. Los anclajes sujetan el encofrado y cuando se desea realizar correcciones se enroscan o desenroscan los templadores dependiendo si se desea templar o destemplar, respectivamente.



Figura 2.5.- Templadores diametrales independientes (3)

Recientemente, se ha empezado a trabajar con templadores radiales que, a diferencia de los templadores diametrales, trabajan en conjunto al estar unidos por una argolla central en el centro del encofrado, tal como se aprecia en la **figura 2.6**. Este último sistema permite redistribuir las tensiones entre todos los radios, lo cual otorga una tensión uniforme en todo el molde; es por ello que resulta el más adecuado.



Figura 2.6.- Templadores radiales trabajando en conjunto (3)

El problema de la deformación del molde ocurre, por lo general, cuando se utilizan los templadores para corrección de plomadas. Estos aplican cargas puntuales en el encofrado, lo cual puede generar “ahuevamientos” en el

molde. Cuando se produce este fenómeno, el encofrado empieza a tomar forma ovalada, entonces se debe reducir las tensiones de los templadores radiales en las zonas del eje menor del óvalo e incrementar las tensiones en el eje mayor. Las deformaciones se controlan periódicamente con plomadas.

2.4. Tolerancias admisibles

Es muy importante tener en cuenta las tolerancias admisibles en los trabajos con encofrados deslizantes. Estas siempre deben ser interpretadas con criterio y juicio crítico. A continuación se muestran las tolerancias según lo estandarizado en normas y procedimientos constructivos (extraído de Pinao, 2011) (referencias [1] y [5]):

2.4.1. En la confección del encofrado deslizante

- Inclinación del entablado +/- 3 mm/m
- Longitud de las tablas del entablado +/- 3 mm/m
- Longitud de los paneles del encofrado +/- 2 mm
- Posición de los cordones o cerchas. +/- 3 mm

2.4.2. En la confección de marcos de puertas y ventanas

- Ancho del marco. +/- 2 mm
- Inclinación de las caras laterales. +/- 1 mm
- Para las dimensiones geométricas. +/- 10 mm

2.4.3. En el montaje del encofrado deslizante. (Para encofrados curvos)

- Radio de la célula. +/- 2 mm
- Distancia entre caras interiores de paneles parte superior. +/- 2.5 mm

2.4.4. Para elementos verticales, hechos con deslizante (ACI 117-90, Sección 7, p. 11)

2.4.4.1. Alineamiento vertical

Desplazamiento y rotación desde un punto fijo en la base de la estructura:

- Para alturas \leq a 30 m. 50 mm.
- Para alturas (H) mayores a 30 m. $1/600 H$, y $<$ a 200 mm.

2.4.4.2. Alineamiento lateral

- Entre dos elementos adyacentes 50 mm.

2.4.4.3. Dimensiones de la sección transversal

- En las paredes + 19 mm o - 9.5mm.

2.4.4.4. Alineamiento relativo

- Por la pendiente formada entre la superficie respecto a un 1/4 plg. plano específico en una altura menor a 10 pies (6 mm)

2.4.5. Para estructuras tipo Silo hechas con deslizantes (ACI 313, Cap. 3-3.9)

2.4.5.1. Desplazamiento y/o rotación de las paredes

- Para alturas \leq a 30 m. 75 mm.
- Para alturas (H) mayores a 30 m. $1/400 H$, y $<$ de 100 mm.

2.4.5.2. Diámetro interno y distancia entre las paredes.

- Por 3m de diámetro o distancia 12 mm.
- Pero no mayor que 75 mm.

2.4.5.3. Dimensiones de la sección transversal de las paredes.

25 mm. O -10 mm.

2.4.5.4. Ubicación de vanos, insertos metálicos embebidos.

- Tolerancia vertical. +/- 75 mm.
- Tolerancia horizontal. +/- 25 mm.

Capítulo III: PROCEDIMIENTOS PREVIOS AL IZAJE

En este capítulo se describirá todos los procesos y recursos que se deberán tener en cuenta previo al inicio del izaje de los encofrados deslizantes.

Para el desarrollo de este capítulo he recibido asesoría del ingeniero Alberto Llave y el maestro de obra Jesús Gómez, ambos con años de experiencia trabajando en encofrados deslizantes. Además, las referencias [3],[5],[8] y [9].

3.1. Recursos

A continuación se describe los equipos y materiales típicos que se utilizan durante los trabajos con encofrados deslizantes.

3.1.1. Personal de trabajo

El personal para la ejecución de la actividad será variable según lo coordine el responsable de campo.

Normalmente se organiza dos turnos de trabajo de 12 horas cada uno.

La cuadrilla típica por lo general está compuesta por el siguiente personal obrero [12]:

- ✓ Maestro de obra
- ✓ Operarios gateros
- ✓ Operarios fierros
- ✓ Operarios albañiles
- ✓ Vaciadores de concreto
- ✓ Operador de winche
- ✓ Operario electricista
- ✓ Operarios para la instalación de accesorios y ductos del post tensado
- ✓ Riggers (proporcionados por el cliente)

El responsable de campo coordina con las áreas pertinentes de obra (administración, áreas técnicas, otros frentes de trabajo), los relevos necesarios que permitan cubrir los puestos.

3.1.2. Equipos

Los equipos que conforman el sistema deslizante son los siguientes:

- ✓ Transformador 440v a 220v.
- ✓ Dobladora eléctrica de Fierro.
- ✓ Cizalla eléctrica de Fierro.
- ✓ Máquina de soldar.
- ✓ Equipo Deslizante compuesto por gatas hidráulicas de 3 Tn de capacidad cada una, barras de trepar, yugos metálicos y bombas hidráulicas.
- ✓ Sistema de izaje.
- ✓ Grupo Electrónico de al menos 100 KW.
- ✓ Sistema de izaje de concreto (Winche Eléctrico + castillo + balde).
- ✓ Vibradoras de concreto.
- ✓ Reflectores de 500 W
- ✓ Focos de 100 W
- ✓ Bomba telescópica de concreto.

3.1.3. Materiales

Los materiales empleados deberán cumplir con las normas en vigor o con las condiciones específicas de cada uno de ellos. Entre los principales materiales utilizados en la confección de encofrados deslizantes de madera tenemos los siguientes (extraído de Pinao, 2011):

- ✓ Madera Tornillo cepillada de distintos tamaños.
- ✓ Triplay Lupuna o Fenólico de 12 mm de espesor.
- ✓ Planchas de acero galvanizada de 0.5 mm de espesor.
- ✓ Acero corrugado ASTM A615-Grado 60 de diferentes diámetros y longitudes.
- ✓ Planchas de acero laminadas en caliente ASTM A36 de diferentes dimensiones y espesores.
- ✓ Barras redondas de acero ASTM A50 de diferentes diámetros y longitudes.

- ✓ Ángulos estructurales, tees, platinas, canales U de acero ASTM A36 de diferentes dimensiones.
- ✓ Alambre negro recocido de calibre (B.W.G.) N° 16 y N° 08.
- ✓ Clavos de acero para madera de diferentes dimensiones (1", 1 1/4", 2", 3", 4", etc.).
- ✓ Vigas H o WF de acero ASTM A36 de diferentes dimensiones, según las luces a cubrir y las solicitaciones a soportar.
- ✓ Tornillos y espárragos de diferentes dimensiones (1/2", 3/4").
- ✓ Cables de alma de fibra de diámetro 3/8" y 1/2".
- ✓ Laca Desmoldante para proteger la madera.

3.2. Trabajos preliminares

3.2.1. Trazo y replanteo

Esta etapa es de vital importancia para el correcto funcionamiento del sistema de deslizante. Se utiliza equipos topográficos de alta precisión (teodolito o estación total y niveles) para marcar los puntos de arranque dirigido por personal capacitado y con experiencia en este tipo de trabajos. El replanteo se realiza desde referencias situadas fuera de la construcción, tal como se muestra en la **figura 3.1**. El trazo corresponde a una batería de silos.

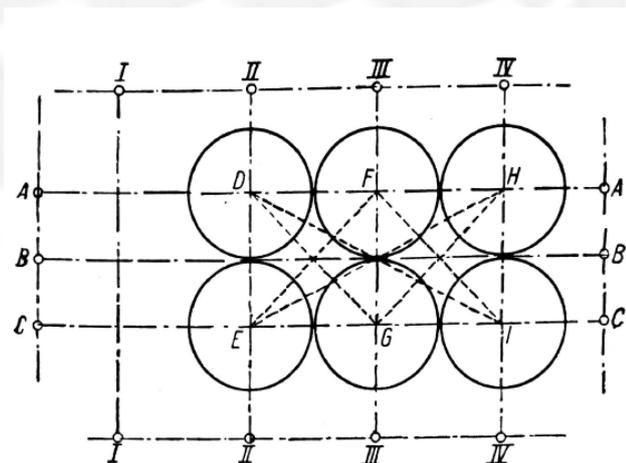


Figura 3. 1.- Replanteo por el método de las diagonales (1)

3.2.2. Preparación de la armadura

En la mayoría de los casos, para construcción de silos de concreto, se cuenta con suficiente espacio en obra para contar con un taller de acero. Se recomienda preparar toda la armadura necesaria previo al inicio del izaje para que esta pueda ser clasificada, almacenada y verificada según los requerimientos estructurales.

Si se cuenta con suficiente espacio, se recomienda almacenar la armadura a los pies del silo y dentro del radio de trabajo de grúa, ordenado de acuerdo al momento en que se requerirá dentro del proceso constructivo. Es conveniente transportar las armaduras y barras de apoyo en jaulas especiales que se suspenden del gancho de la grúa, llevarlas en paquetes amarrados al gancho de la grúa puede resultar poco seguro debido a la inestabilidad del mecanismo.

3.3. Arranque del silo

En la construcción de silos con encofrados deslizantes se empieza con una etapa de movimiento de tierras, cimentación y, en la mayoría de los casos, se realiza el arranque con el sistema tradicional de encofrados curvos tal como se aprecia en la **figura 3.2.** y **figura 3.3.**



Figura 3. 2.- Vista panorámica del arranque con encofrados tradicionales de un silo de concreto (3)



Figura 3. 3.- Vista exterior del mismo silo (3)

Esto se debe a que, en la mayoría de los casos, la base de la estructura presenta grandes aberturas (**figura 3.2.**), como ventanas para la entrada y salida de fajas o ingresos para camiones con tolvas de recepción de material, para extraer el material que se almacena en el silo. Estas aberturas dificultan mucho el trabajo con encofrados deslizantes, es por ello que normalmente se opta por trabajar esta primera etapa con encofrados tradicionales.

También se da el caso en el que se debe vaciar una losa de techo en los primeros metros del silo, interrumpiendo el izaje y obligando a desarmar el deslizante y ensamblarlo nuevamente una vez vaciada la losa. En este caso tampoco resulta práctico utilizar el sistema deslizante debido a la complejidad del armado del deslizante.

3.4. Ensamblaje y desmontaje del encofrado

Si bien el procedimiento de desmontaje corresponde a una etapa posterior al izaje, creo conveniente colocarlo en este capítulo y dedicar el siguiente únicamente a las labores propias del izaje.

En estructuras sencillas el arranque del silo se puede deslizar desde el nivel del suelo sin necesidad de un arranque elaborado con sistemas tradicionales de encofrados. En estos casos se debe haber terminado con toda la etapa correspondiente a la cimentación y trazo y replanteo para proceder al armado del encofrado.

En estructuras que cuenten con un arranque (descrito en el apartado anterior), se deben dejar los arranques, con sus respectivos estribos, que irán dentro de los paneles.

En ambos casos se debe realizar una limpieza cuidadosa sobre la superficie sobre la que será montado el encofrado deslizante. Por último, se deben trasladar todas las piezas necesarias para el armado y colocarlas en el orden en el que serán montadas.

3.4.1. Armado y colocación del molde deslizante

- ✓ Se habilitará y presentará íntegramente el molde deslizante en una losa de concreto horizontal próxima a la zona de trabajo.
- ✓ La estructura del molde deslizante estará formada por cordones (cerchas), montantes (pericos), diagonales y cartelas, para los que se emplearán básicamente materiales como: madera tornillo cepillado y triplay.
- ✓ Para la habilitación de las paredes del molde se usará Triplay Lupuna (se recomienda usar 12mm. de espesor) que serán fijadas sobre tablas de madera Tornillo de 20 mm de espesor las que a su vez se fijarán a los cordones (cerchas) de la estructura del panel.
- ✓ El triplay, previo al montaje, será protegido con laca desmoldante.

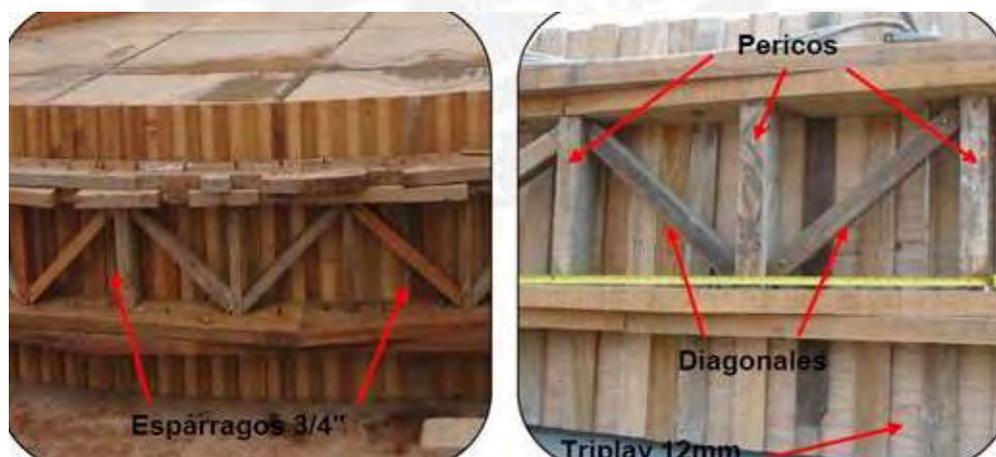


Figura 3. 4.- Elementos del encofrado (4)

- ✓ Una vez que se ha realizado un montaje de prueba en la losa de concreto cercana a la obra y después de haber verificado las dimensiones, posición, separación e inclinación se procede a taladrar los cordones en zigzag para fijarlos con tornillos de 1/2" en cada uno de los tablones que conforman los cordones.

- ✓ El montaje de los paneles se realizará según su orden de armado con el uso de una grúa torre de la manera siguiente:
 - En primer lugar, se deben colocar los paneles interiores del molde (**figura 3.5.**), los cuales son acodados a nivel y en posición por medio de cuñas. Se deberán colocar con la inclinación correspondiente y se soportarán con soportes provisionales. Con burbujas de aire y plomadas se verificará la inclinación de los paneles.

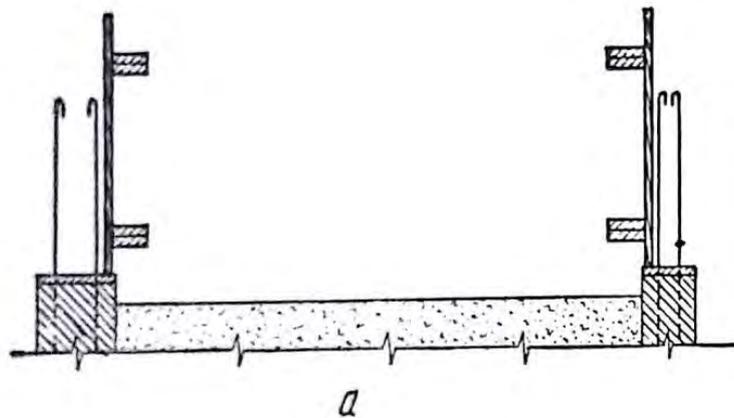


Figura 3. 5.- Paneles interiores del encofrado (1)

- Una vez colocados los paneles interiores, se monta el primer tramo de armadura (**Figura 3.6.**), el cual va como prolongación de los arranques. Se colocarán estribos los cuales deberán tener un espaciamiento y diámetro acorde con los requerimientos de la estructura.

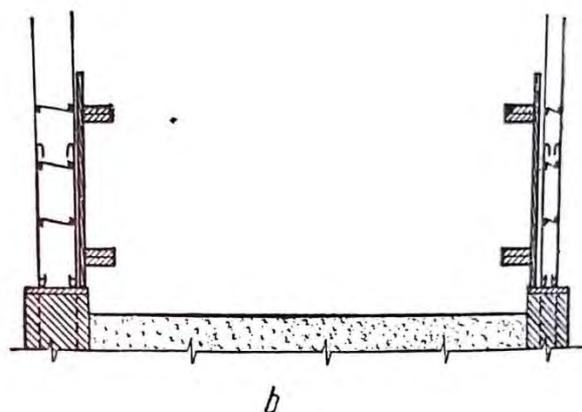


Figura 3. 6.- Colocación de primer tramo de la armadura (1)

- Una vez colocada la armadura se montan los paneles exteriores, completando de esta manera las dos caras de las paredes. Una vez fijados los paneles, se montarán rigidizadores de ángulo que se fijarán por medio de tornillos.

3.4.2. Montaje de yugos

Los yugos sirven a la vez como unión entre las paredes del encofrado y conexión entre las barras de trepar y las plataformas de trabajo.

- ✓ Para su colocación, en primer lugar se debe hacer el replanteo sobre los paneles de acuerdo a los de ejecución del proyecto.
- ✓ Se colocan las montantes verticales de los yugos al costado de los paneles (**Figura 3.7.**), fijándolos por medio de pasadores a las traviesas del cabezal. Se verifica la verticalidad.

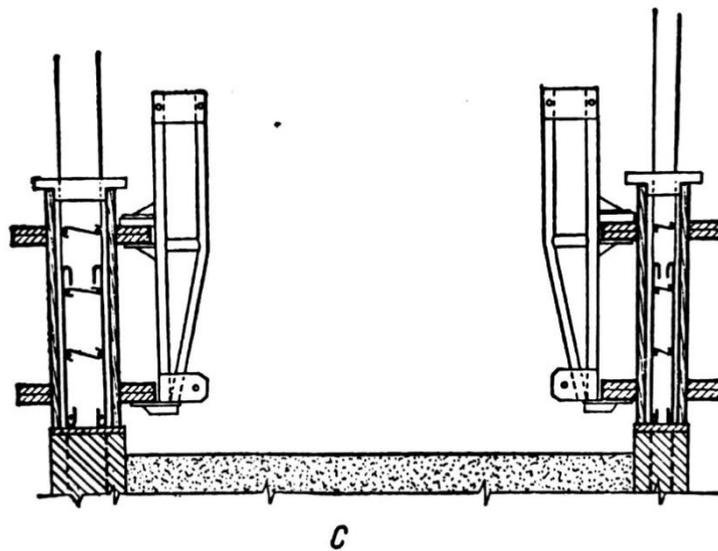


Figura 3. 7.- Montantes verticales de yugos (1)

- ✓ Montaje de ménsulas de soporte parte plataformas de trabajo, sostenidas por puntales o contrapuntas.
- ✓ Se hace una última verificación de la verticalidad de las caras de los paneles del encofrado y se fijan las montantes de los yugos a los cordones de los caballetes (**Figura 3.8.**).

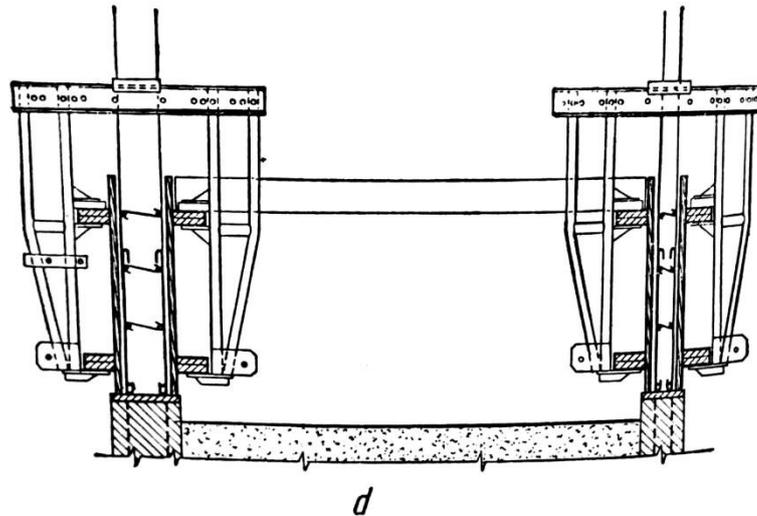


Figura 3. 8.- Fijación de yugos (1)

3.4.3. Montaje de plataformas de trabajo

- ✓ Trazado sobre el encofrado de las vigas de soporte de la plataforma y posterior colocación.
- ✓ Se fijan las cadenas de soporte para los andamios de trabajo inferiores sobre las vigas y las ménsulas de los tirantes verticales.
- ✓ Una vez fijadas las vigas, se monta la plataforma de trabajo inferior, cuyas vigas se introducen bajo los cordones inferiores de los paneles. A continuación, se aprecia en la **figura 3.9.** un andamio inferior interior que aún no se ha terminado de armar, falta clonar las barandas, y fijar los tablonos inferiores del andamio.



Figura 3. 9.- Armado de andamio inferior interior (3)

- ✓ Se fijan las vigas de plataforma superior sobre los cordones sobre las cuales se montan los paneles de la plataforma.
- ✓ Se montan las cabinas para las bombas hidráulicas.
- ✓ Se procede a colocar las barandas de seguridad y tablas de borde
- ✓ Se realizan las trampillas en la plataforma superior que dan acceso al personal a la plataforma inferior de trabajo



Figura 3.10.- Andamio inferior exterior (3)

3.4.4. Montaje de los entramados-soportes

El montaje de los entramados-soportes para la armadura y las instalaciones (ver **figura 3.11.** y **3.12.**) se realizará de la siguiente manera:

- ✓ Se fijarán los entramados a las traviesas metálicas de los caballetes.
- ✓ Se montarán barras de sostenimiento para la instalación eléctrica de iluminación encima de los entramados.
- ✓ Se replanteará de manera visible la posición de las armaduras por medio de clavos por donde pasan las barras de armadura.



Figura 3.11.- Finalización de armado de entramados (3)



Figura 3.12.- Entramados en funcionamiento (3)

3.4.5. Montaje de castillo para izaje del concreto

En la construcción de silos de concreto con el sistema de encofrados deslizantes se recomienda utilizar un castillo con una plataforma de almacenamiento de concreto como método para transportar el concreto (Figura 3.13.)

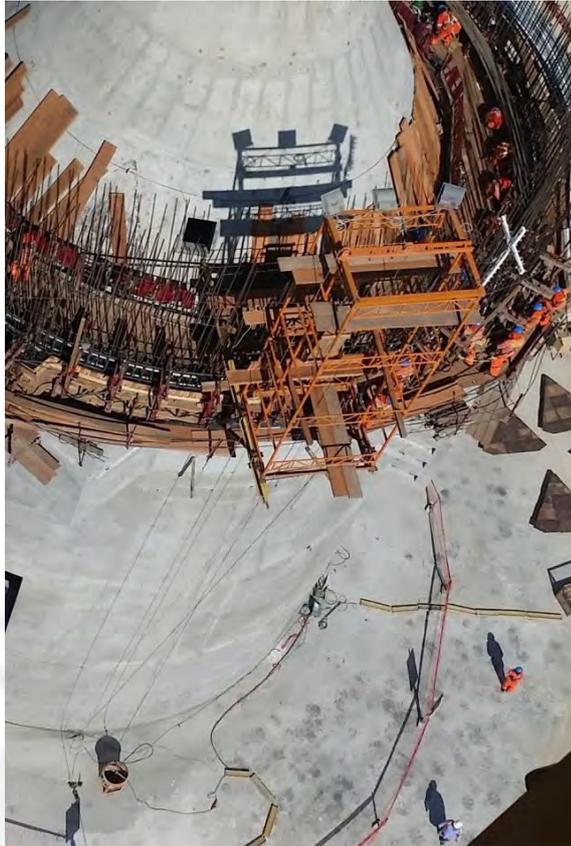


Figura 3.13.- Castillo y balde de concreto (3)

- ✓ En primer lugar se debe armar el castillo a nivel del suelo. Consiste en un conjunto de tubos metálicos que se acoplan unos con otros.
- ✓ Se deben preparar los soportes de sostenimiento del castillo en la superficie exterior de la plataforma deslizante.
- ✓ El castillo armado de iza con la grúa y se coloca en los soportes.
- ✓ Se colocan las poleas en la parte superior del castillo y se montan los cables con el balde de concreto.
- ✓ Se utiliza un winche eléctrico para realizar el izaje del balde de concreto. Se debe cercar la zona que entre el arranque del balde y el winche (ver **figura 3.14.**) para evitar accidentes con el cable de izaje.



Figura 3.14.- Zona de trabajo de winche cercada (3)

- ✓ Se debe armar una plataforma para el almacenamiento del concreto. Consiste en un tobogán replegable por el que desliza el concreto y una plataforma donde se almacena con compuertas por ambos lados para su distribución con boogies al encofrado. En la **figura 3.15.** se aprecia la plataforma cuando terminando de ser armada.



Figura 3.15.- Armado de plataforma de almacenamiento de concreto (3)

3.4.6. Montaje de instalaciones para control de posición del deslizante

En esta etapa se colocan los sistemas para controlar la posición de la plataforma del encofrado deslizante. Se instalará el sistema de mangueras para registrar giros y se colocarán las plomadas.

- ✓ Sobre los yugos se fijarán tablas de madera sobre las cuales se fijarán tuberías de caucho.
- ✓ Se montarán los tubos de nivel de agua que estarán interconectados por las tuberías de caucho.
- ✓ Se monta el o los depósitos de compensación y se procede a abastecer de agua la instalación.
- ✓ Se montan las plomadas en los ejes principales. De preferencia se colocarán en el interior para evitar movimientos por el aire.

3.4.7. Montaje de sistema de elevación

- ✓ Introducción de placas metálicas entre las paredes del encofrado. Estas placas sirven de apoyo para las barras.
- ✓ Ensamblan las vainas para recuperación de las barras de trepar.
- ✓ Ensamblar los gatos hidráulicos, previa verificación de verticalidad de caballetes y horizontalidad de traviesas.
- ✓ Montaje de bombas electrohidráulicas.
- ✓ Conexión de gatos a la bomba por medio de conductos de presión.
- ✓ Cebiar los gatos. Para lo cual se pone en marcha mínima la bomba se introduce aceite en el circuito hasta que este fluya sin burbujas de aire.
- ✓ Elevaciones en vacío (sin barras de trepar) y comprobar si todos los gatos funcionan adecuadamente.
- ✓ Introducción de barras de trepar en gatos metiéndolas dentro de las vainas de recuperación. Se debe verificar que todas las barras lleguen hasta el concreto.
- ✓ Centrar los gatos sobre el eje de las paredes y fijarlos.

3.4.8. Montaje de instalaciones auxiliares

- ✓ Instalaciones eléctricas de iluminación y alimentación de equipos con transformadores.

- ✓ Instalación de abastecimiento de agua.
- ✓ Instalaciones sanitarias. Se recomienda colocar un Disal en un volado de la plataforma para evitar tiempos muertos en viajes.
- ✓ Instalación de equipo de seguridad de trabajo y contra incendios.
- ✓ Ensamblaje de templadores para corrección de verticalidad y giros y templadores radiales.
- ✓ Armado de plataformas en volado para recepción de materiales (ver **figura 3.16.**).



Figura 3.16.- Plataformas en volado para recepción de materiales (3)

3.4.9. Montaje de escales de acceso

- ✓ Para acceder a la plataforma superior, se instalarán escaleras de acceso, las que permitirán el ascenso del personal a la plataforma superior del encofrado deslizante mediante una pasarela en voladizo (provista de barandas) armada entre dos yugos metálicos.
- ✓ Estas escaleras de acceso, serán armadas en toda la altura que se pueda alcanzar previo al inicio del vaciado, luego se irá agregando cuerpos adicionales a medida que va deslizando el encofrado y asegurando a la estructura de concreto. En la **figura 3.17.** se aprecia una escalera de acceso operativa.



Figura 3.17.- Escalera de acceso (3)

3.4.10. Desmontaje del encofrado

Al ser una operación que se realiza a gran altura, es considerada de alto riesgo. Esta debe ser dirigida por un técnico experimentado.

Antes de empezar con las labores de desmontaje es importante aliviar el encofrados, es decir, limpiar desperdicios de concreto, escombros, etc.

El desmontaje debe hacerse en dos etapas. La primera consiste en el desmontaje de las piezas que están encima de la plataforma superior (instalaciones, soportes) y a segunda en el desmontaje del encofrado propiamente dicho.

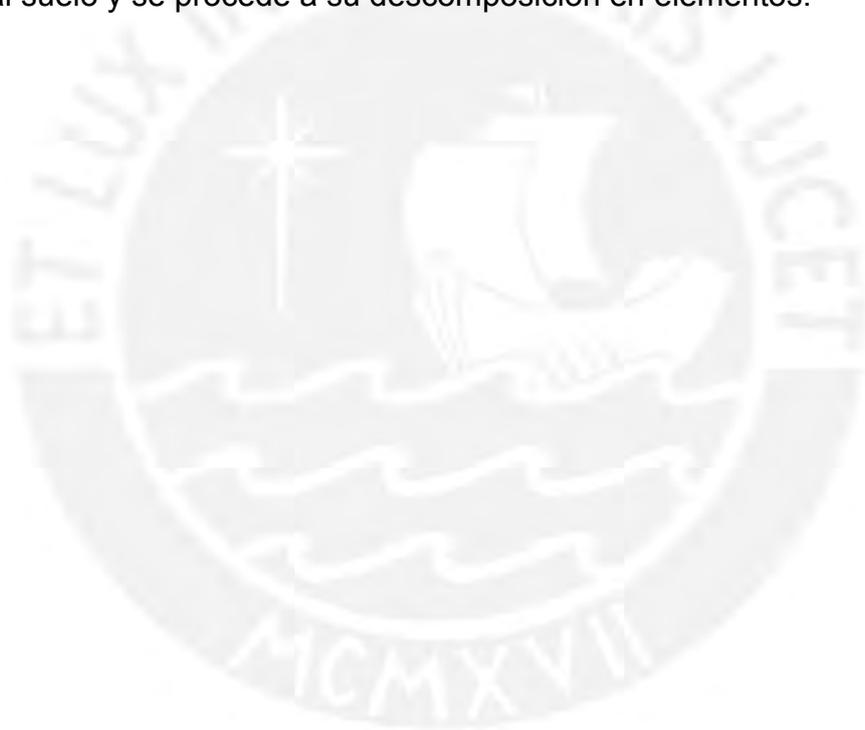
Desmontaje de instalaciones/soportes:

- ✓ Se empieza retirando la instalación eléctrica de iluminación.
- ✓ Desmontaje de instalaciones de nivel y de elevación. Para ello se desconectan los tubos de presión de los gatos con lo que ya se puede vaciar el aceite. Luego se procede a retirar los gatos y por último se desconectan y retiran las bombas.

- ✓ Se extraen las barras de trepar utilizando el mismo sistema de bombas hidráulicas colocado en forma inversa.
- ✓ Desmontar el resto de instalaciones (señalizaciones, sanitarias, instalaciones de agua, etc.).

Desmontaje del encofrado deslizante propiamente:

- ✓ En el proceso final de izaje el molde se debe haber asegurado, ya sea al muro de concreto, o a los dowels de acero, de tal forma que haya dejado de apoyar en las barras de trepar y lo haga ahora en los muros.
- ✓ Se procede al desmontaje del encofrado deslizante. Se empieza por el encofrado exterior incluyendo la plataforma inferior exterior.
- ✓ Los elementos se bajan por medio de tragacables (tirfors), poleas o grúa al suelo y se procede a su descomposición en elementos.



Capítulo IV: PROCEDIMIENTO DE IZAJE

Para el desarrollo de este capítulo he recibido asesoría de ingenieros con experiencia en el desarrollo de estas labores. También se han consultado las referencias [2], [5], [9], y [10].

El trabajo con encofrados deslizantes es un proceso continuo, por lo que los trabajos y el vaciado del concreto se llevarán a cabo como una actividad ininterrumpida las 24 horas del día en dos turnos de 12 horas hasta que se alcance la altura del muro superior. Por esta razón, se deberá controlar el comportamiento del concreto y demás actividades paralelas a fin prever que no se detenga el deslizamiento del molde y/o disminuya la velocidad de izaje.

Es de vital importancia coordinar con el proveedor de concreto para que las entregas sean exactas. Una demora en la llegada de un mixer implicaría que el proceso se pare debido al desabastecimiento del concreto. Por el contrario, si los pedidos son muy próximos se producen esperas y el concreto puede perder sus propiedades. Es por ello que es necesario hacer una planificación adecuada para determinar la velocidad de vaciados. Esto también se va ajustando conforme se desarrolla la obra.

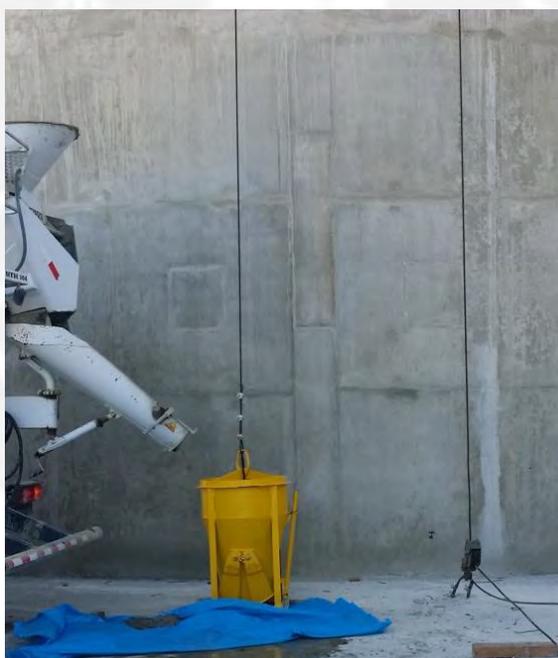


Figura 4.1.- Llenado de balde (3)

Lo recomendable es que siempre haya un mixer vaciando concreto en el balde y otro en espera para asegurar la continuidad. Se deben tomar adecuadas medidas de seguridad para evitar que se produzcan accidentes en los traslados de los camiones mixer.

El concreto se vacía del mixer al balde de concreto (ver **figura 4.1.**), este se eleva con el winche eléctrico y sistema de poleas hasta el castillo y se vacía

en la plataforma de almacenamiento. En la plataforma hay dos peones quienes se encargan de distribuir el concreto a los boogies y de los boggies finalmente se transporta por la plataforma de trabajo hasta el encofrado (ver **figura 4.2.** y **4.3.**). *Este procedimiento será descrito con mayor detalle en el capítulo IX.

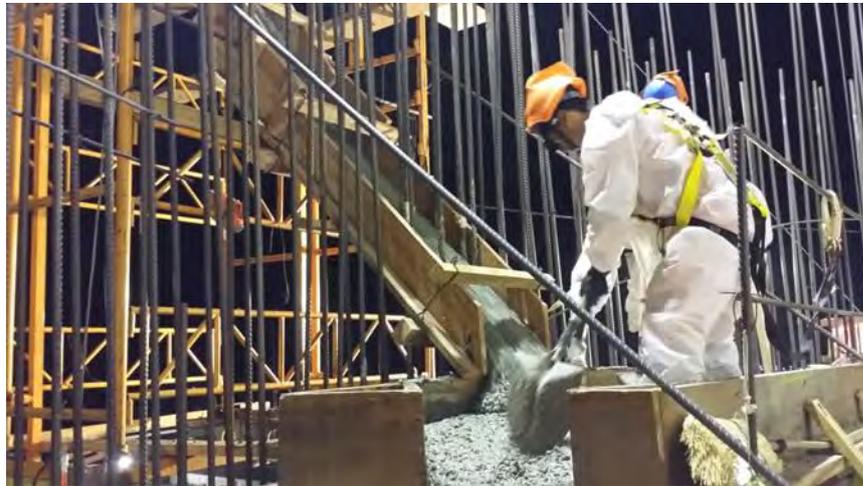


Figura 4.2.- Momento en que se vacía del balde a la plataforma (3)



Figura 4.3.- Llenado de boggies desde plataforma (3)

El llenado inicial del molde se realizará en capas de 30 cm en promedio hasta llenar el molde en 3 horas aproximadamente, que por lo general es el tiempo en que la primera capa de concreto ha alcanzado el autosoprote requerido y marca el inicio del deslizamiento del encofrado.

El inicio del deslizamiento se da a las 3 horas aproximadamente de colocada la primera capa de concreto. Una vez que el concreto puede autosoprotarse se realiza la primera elevación, poniendo en funcionamiento las bombas de aceite.

Después de la primera elevación se continuará el deslizamiento cuidando en todo momento que el molde esté con un promedio de 30 cm de concreto autosoportado y que en su parte superior el molde no esté vacío a más de 15 cm de profundidad.

El vertido del concreto, la colocación del acero de refuerzo, el montaje de los marcos y moldes para aberturas así como insertos metálicos se hará progresivamente, desde la plataforma de trabajo superior a medida que se eleva el encofrado.

El concreto se verterá en el encofrado y a medida que alcance el autosoporte requerido se levantará progresivamente.

El acero de refuerzo será transportado en paquetes por medio de la grúa y se almacenará en la plataforma voladiza exterior de donde será transportado manualmente por los fierros hasta su colocación. Este, junto con los insertos que requiera la estructura, se irán colocando conforme vaya avanzando el deslizante.



Figura 4.4.- Sistema de izaje de concreto (3)

Para la compactación del concreto se utilizarán vibradores con cabezal cuyo diámetro dependerá de la densidad de acero de refuerzo. A mayor densidad menor tendrá que ser el diámetro. El procedimiento de vibrado se irá realizando conforme se vaya depositando el concreto en el encofrado. Debido

al poco espacio con el que se cuenta en la plataforma, debe haber una coordinación adecuada entre los operarios de los vibradores y los que despachan el concreto.

Para reducir el efecto de las fuerzas de rozamiento entre el encofrado y el concreto (cuando este último endurece) y evitar así que el encofrado desgarre el concreto en su deslizamiento se le da una pequeña inclinación respecto a la vertical a las caras del encofrado.

El acabado de concreto se realizará desde las plataformas inferiores a unos 3 ó 4 m por debajo de la plataforma principal, realizándose un retocado (solaqueo) a la superficie del concreto conforme el encofrado va deslizándose, realizándose luego el curado del mismo con el uso de curador químico cuya aplicación será mediante un aspersor. De ser necesario, se reparará la superficie con mortero de reparación.



Capítulo V: VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL SISTEMA

Este capítulo se ha desarrollado utilizando como base las referencias [5], [9] y [11].

5.1. Ventajas del sistema

El sistema de deslizantes presenta numerosas ventajas tanto durante el proceso de construcción como en la estructura final. A continuación se mencionarán las principales:

- Permite realizar muchos procesos simultáneamente que en otros sistemas de construcción se realizan secuencialmente.
- Se reducen las esperas y tiempos muertos consecuencia de los procesos simultáneos.
- Se obtiene una gran velocidad de ejecución. Se puede alcanzar hasta 6m de izaje por día.
- Se obtienen estructuras monolíticas, evitando las juntas frías. Esto otorga un mejor comportamiento de la estructura y mejora la calidad de la obra.
- Es posible realizar obras de gran altura sin la necesidad de utilizar andamios exteriores ni interiores. Este es el principal ahorro que se genera mediante la utilización de este sistema frente a los sistemas tradicionales de encofrados.
- Las plataformas de trabajo proporcionan condiciones de seguridad adecuadas para el personal.
- Se evitan las perforaciones pasantes en los muros que luego deban ser resanadas producto de los encofrados tradicionales.
- Se facilitan las labores de vibrado del concreto debido a que el molde es de poca altura.
- El acabado de los muros y curado se hace en el mismo proceso de elevación del molde.
- Reduce la demanda de la grúa al no tener que transportar paneles de encofrados, lo que permite agilizar su uso en otras labores.

- Se logra una mayor estanqueidad como consecuencia del monolitismo y la buena compactación de la estructura. Esto es muy ventajoso para aquellas que contienen líquidos o finos.
- En algunas estructuras, la plataforma superior de trabajo sirve luego como encofrado de losa del último nivel. Esto significa ahorro en equipo y reducción de procesos.
- Es posible reutilizar el equipo de los encofrados deslizantes una gran cantidad de veces en nuevas obras. Esto hace rentable la inversión inicial.
- Consecuencia de la reutilización del equipo, los desperdicios son mucho menores.

5.2. Desventajas del sistema deslizante

- Al tratarse de un procedimiento constructivo complejo, requiere de mano de obra especializada y con suficiente experiencia para desempeñar las labores constructivas.
- Se requiere continuidad con proyectos de encofrados deslizantes para poder mantener al personal especializado.
- Genera muchas restricciones en el diseño arquitectónico debido a que está muy limitado por la homogeneidad del molde e ininterrupción del izaje.
- Consecuencia de las restricciones arquitectónicas se generan estructuras monótonas. Solo admite cambios muy finos de sección.
- Requiere de una gran inversión inicial para comprar los equipos y capacitar al personal.
- Para que los proyectos con este sistema sean rentables, deben limitarse a estructuras de gran altura que permitan amortizar la inversión inicial y signifiquen un ahorro frente al sistema tradicional de encofrados.
- Al realizarse trabajos en altura se debe invertir más en seguridad para contrarrestar los riesgos.
- Todos los procesos deben adaptarse al sistema constructivo. Al ser un sistema secuencial continuo, todas las labores forman parte de la ruta crítica por lo que deben estar adecuadamente planificadas y coordinadas. Es importante tener planes de contingencia frente a los problemas previsibles.

- Si uno de los procesos falla trae como consecuencia que todo el proceso constructivo se pare.
- Se debe contar con repuestos para todos los equipos para evitar paradas. Esto implica un mayor coste debido a que se tienen muchos equipos parados.
- Cuando, consecuencia de algún problema, el izaje se detiene, el concreto se puede pegar al molde. Además, se produce una junta fría, por lo que se deben realizar trabajos especiales antes de continuar con el izaje.
- Debido a la posición de los cabezales, se dificulta la colocación del refuerzo horizontal. El refuerzo debe colocarse a una altura entre el nivel del encofrado y la altura del cabezal, siendo este espacio limitado.
- Se crean limitaciones de espacio para realizar las tareas debido a que se realizan muchas tareas distintas al mismo tiempo.
- Como consecuencia de la altura de las estructuras y la velocidad del proceso, se vuelve complicado el control de la verticalidad y el manejo de los giros.

A continuación se muestran dos estructuras similares. La primera (**figura 5.1.**), muestra la construcción de una torre vertical con un sistema de encofrados convencional. La segunda (**figura 5.2.**), muestra la construcción de un silo de concreto con el sistema de encofrados deslizantes. En estas imágenes se puede apreciar cómo el sistema deslizante permite un ahorro significativo de andamios.



Figura 5.1.- Sistema convencional de encofrados (5)

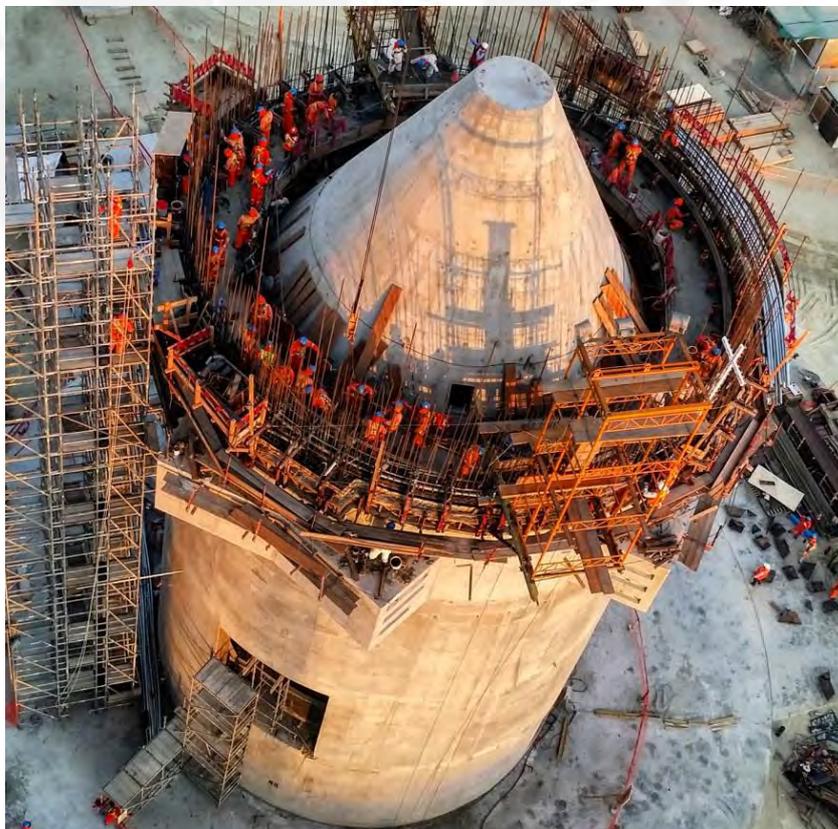


Figura 5.2.- Sistema de encofrados deslizantes (3)

Capítulo VI: PRINCIPALES PROBLEMAS

6.1. Desplomes

Conforme el izaje avanza y la estructura va aumentando su esbeltez el control de desplome se torna más complicado de controlar. Es por ello que es de vital importancia llevar un control minucioso del mismo en todo momento y realizar las correcciones que sean necesarias oportunamente.

Si el desplome llega a ser muy grande es necesario parar la obra, sacar el encofrado y demoler hasta una altura con verticalidad aceptable antes de volver a armarlo y continuar con los trabajos.

Para el control de verticalidad se utilizan plomadas desde la plataforma y las correcciones necesarias se realizan con tensores que se anclan de un extremo al molde y de otro a la pared de la estructura.

6.2. Deformación del molde

El molde del encofrado deslizante en ocasiones puede presentar deformaciones diametrales. Estas deformaciones se producen porque el molde presenta una rigidez relativamente baja por lo que es sensible a deformaciones. Estas deformaciones se producen en muchos casos cuando la plataforma se somete fuerzas que no se distribuyen uniformemente alrededor del perímetro del molde. Estas pueden provenir de cargas de materiales, tensiones de los templadores de corrección de desplome, peso del castillo, entre otros.

Cuando se producen deformaciones en el molde se pierde la forma en la que fue diseñada la estructura por lo que es importante realizar oportunamente las correcciones.

Las deformaciones del molde se detectan con el mismo sistema de plomadas con que se mide el desplome. Las correcciones se realizan con tensores radiales que sujetan por un extremo el molde, y por el otro, ya sea el otro extremo del molde, o bien una argolla central a la que llegan todos los tensores. Al aumentar o disminuir las tensiones de los tensores indicados se logra corregir las deformaciones. De esta manera, si el molde presenta cierto "ahuevamiento", se tensarán los tensores del eje mayor y se soltarán los del eje menor hasta que retome la forma circular.

6.3. Giros

Los giros se producen alrededor del centro del molde. A diferencia de los otros tipos de desplazamientos, los giros pueden pasar muy fácilmente desapercibidos durante todo el proceso de izaje si no se controlan. Existen varias consecuencias negativas importantes producto del giro del molde: En primer lugar, la armadura vertical ya no trabaja de manera adecuada debido a las deformaciones que se producen en el eje vertical. En segundo lugar, las barras de trepar quedan atascadas en la estructura por lo que resulta imposible retirarlas al final de izaje. Por último, la colocación de insertos y pases sufrirán desplazamientos si se han referenciado al molde y plataforma deslizante.

Los giros del molde se controlan haciendo distintas marcas referenciales al pie de la estructura cuando se está iniciando el proceso de izaje. Cada marca está alineada con un punto del molde. Estas marcas se utilizan como referencia durante todo el proceso de izaje para detectar giros. Las correcciones se realizan con fuerzas tangenciales al molde en la dirección en la que se quiere corregir.

6.4. Otros problemas

- ✓ Avería de las bombas hidráulicas.
- ✓ Deformación o abertura del molde debido a presiones del concreto y sobreesfuerzos por el izaje.
- ✓ Pérdida de aceite en mangueras y tuberías.
- ✓ Pandeo de las barras de apoyo en vanos libres.
- ✓ Aparición de cangrejas tras el izaje.
- ✓ Zonas de segregación.
- ✓ *Comportamiento de fragua inadecuado del concreto (este problema se desarrollará con más detalle el siguiente capítulo).

Capítulo VII: DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DEL CONCRETO

En el presente capítulo se desarrollarán los requerimientos del concreto para utilizarse en el sistema de encofrados deslizantes y se hará una descripción detallada de los principales problemas que se generan por trabajar con un concreto no apto para utilizarse con el sistema deslizante.

Para el desarrollo del presente capítulo se han utilizado como referencia los problemas que se generaron durante la construcción de silos de concreto en Juliaca (2012) y Piura (2014) por la empresa ByLI debido a un comportamiento inadecuado del concreto. Además, se han solicitado las referencias [7], [13], [14] y [15].

7.1. Requerimientos para el concreto en encofrados deslizantes

El proceso de construcción con encofrados deslizantes consiste en un tren de trabajo continuo en el que las características de la mezcla del concreto son factores determinantes para alcanzar altos rendimientos y buenos acabados.

Se requiere que el concreto cumpla con algunas condiciones adicionales a las que se exigen cuando se utilizan encofrados tradicionales, de tal forma que pueda mantenerse el tren de trabajo continuo propio del sistema.

Debido al carácter dinámico de este sistema, resulta indispensable que el concreto mantenga un comportamiento adecuado en todas sus etapas, desde su puesta en obra hasta la fragua, resultando crítico su proceso de fragua durante las tres primeras horas luego de su colocación (tiempo aproximado en que permanece dentro del molde deslizante).

De las cualidades y comportamiento de fragua del concreto dependerán:

- ✓ La velocidad de deslizamiento.
- ✓ La facilidad para realizar correcciones de giros, deformaciones o desplomes en la estructura que se va construyendo.
- ✓ Los procesos de traslado y colocación del concreto.
- ✓ La resistencia y aspecto de la obra.
- ✓ El rendimiento del personal obrero, y por tanto el costo por mano de obra.
- ✓ El plazo de ejecución del deslizado.

Para los trabajos con encofrados deslizantes se requiere que el concreto sea trabajable durante su colocación para facilitar los procesos de traslado hasta el encofrado y su colocación dentro del mismo. Por lo general, estructuras importantes como los silos de almacenamiento, presentan una densidad alta de acero y complejidad para su armado (estribos y ganchos); además, en algunas secciones se requiere colocar insertos y/o vanos reforzados, provocando que aumente aún más la densidad. En este contexto, resulta muy importante que el concreto presente buena trabajabilidad.

La calidad y comportamiento del concreto deben mantenerse homogéneos durante todo el proceso deslizante. Es preciso asegurar la correcta dosificación durante todo el proceso para garantizar la calidad de la mezcla y el comportamiento de fragua requerido.

El concreto debe iniciar su fragua y aumentar su resistencia rápidamente para que sea capaz de autosoportarse en unas 2.5 horas, y soportar además el peso del concreto que va siendo colocado sobre él.

Resumiendo los tres puntos anteriores, el concreto debe tener un estado inicial muy trabajable que facilite los trabajos, y luego debe iniciar su fragua y ganar resistencia rápidamente. Estas condiciones de trabajabilidad, inicio y velocidad de fragua deben mantenerse constantes en todo el proceso.

Las retracciones deben ser controladas para evitar fisuraciones en las paredes. Este punto toma especial importancia cuando la estructura está destinada a trabajar como contenedor de líquidos, harinas, cementos, etc..

Finalmente, debe controlarse especialmente el uso de aditivos que aumenten la viscosidad de la mezcla fresca (factor que aumenta la adherencia entre el molde en movimiento y el concreto) ya que el concreto podría adherirse al molde aumentando la fricción y formando “costras” de concreto fraguado. Esto conlleva al arrastre del concreto del muro y daños en el acabado de la superficie.

7.2. Problemas generados por inadecuado comportamiento de fragua del concreto

El problema del inadecuado comportamiento del concreto en encofrados deslizantes es un tema que se ha agravado en los últimos años. Esto debido a que las concreteras cada vez utilizan más aditivos para la preparación del concreto, modificando muchas de sus características de fragua. El uso de aditivos en la mezcla permite reducir la cantidad de cemento necesaria para obtener una misma resistencia, abaratando los costos de fabricación. Además, le otorga algunas propiedades beneficiosas como el aumento de la

trabajabilidad para facilitar su bombeo, y el retraso en el inicio de la fragua para disponer de mayor tiempo de espera dentro de los camiones concreteros (mixers).

El uso de los algunos aditivos suelen provocar cambios en el proceso de fragua. Retrasan el inicio de fragua y consiguen que el concreto sea muy trabajable en ese periodo, pero luego se presenta la fragua bruscamente. Es decir, no se obtiene un fraguado que vaya aumentando paulatinamente con el tiempo, sino que se retrasa la fragua y luego se producen reacciones con los aditivos que aumentan bruscamente el proceso de fragua. Estos procesos pueden ser muy variables de una mezcla a otra, generando que sea difícil predecir en qué momento empieza a acelerarse el proceso de fragua.

Debido al carácter estático de los encofrados tradicionales, estos cambios no tienen ningún impacto negativo en el proceso constructivo. Lo importante es que el concreto sea trabajable al principio y que luego alcance cierta resistencia, por lo que el uso de aditivos en el concreto funciona muy bien en estos casos.

En el caso de los encofrados deslizantes es distinto. Al tratarse de un proceso dinámico, se estudia el concreto desde su colocación hasta el fraguado final incluyendo la fragua intermedia. Es preciso que el concreto tenga una fragua progresiva y predecible ya que en función de esto se planifica la velocidad de izaje.

Cuando el proceso de fragua es muy rápido, o el proceso de izaje se realiza muy lentamente, se corre el riesgo que el molde se “quede pegado” al muro y ya no deslice. Esto es muy grave ya que se deben paralizar los trabajos para separar el encofrado del muro y volver a colocarlo en posición. Además, se crea una junta fría que debe ser adecuadamente tratada (realizando trabajos de escarificado y limpieza; y, en algunos casos, utilizándose un puente de adherencia)

Si el concreto fragua muy lentamente, cuando el molde avanza y lo deja libre se producen deformaciones del muro y desprendimiento del concreto del recubrimiento pues no es capaz de autosoportarse. Al encontrarse el concreto en estado muy plástico se generan mayores desplazamientos, provocando que aumenten los desplomes, deformaciones del molde y giros indeseados. En casos extremos, el concreto puede empezar a “chorrear” por la parte inferior del molde. Todo esto obliga a reducir la velocidad de izaje para que el concreto tenga tiempo de endurecer, lo cual genera retrasos y tiempos muertos en el proceso, además de imperfecciones en el acabado de la superficie.

Otros aditivos modifican las propiedades de viscosidad del concreto haciendo que esta aumente considerablemente aumentando la fricción y adherencia concreto-encofrado (**figura 7.1.**).

Hay que tomar en cuenta que cuanto más aditivo, combinaciones y tipo de aditivos que se usen, se afectará el inicio y comportamiento de fragua del concreto. Por ejemplo el aditivo superplastificante Viscocrete tiende a hacer viscosa la mezcla, con revenimientos iniciales elevados.



Figura 7.1.- Capa de concreto adherida al molde (3)

En los encofrados tradicionales la demora en el inicio del proceso de fragua permite disponer de mayor tiempo para colocar el concreto en el molde. Por otro lado, en el caso de estos encofrados tradicionales, el aumento de viscosidad es irrelevante pues no hay desplazamiento del molde respecto al concreto mientras éste fragua. Una vez endurecido el concreto la viscosidad ya no tiene ninguna influencia para el desencofrado. Sólo habrá que hacer una limpieza de los paneles una vez desmoldados.

Con el sistema deslizante se mantiene el molde armado desde el inicio del izaje hasta el final (no se realizan procesos sucesivos de encofrado y desencofrado) por lo que no es sencillo limpiar el molde interiormente en pleno proceso. Cuando el concreto es muy viscoso, puede adherirse poco a poco al molde formándose “costras”. Al crearse una capa de concreto en el molde se pierde la superficie lisa tratada con desmoldante y se torna más fácil que el concreto se siga adhiriendo, formándose a su vez nuevas capas más gruesas y profundas. Esto trae como consecuencia que se generen irregularidades y cangrejas en la superficie de los muros (**figura 7.2.**).



Figura 7.2.- Cangrejera producto de concreto adherido en molde (3)

Si el concreto se ha adherido al molde debe hacerse una limpieza inmediata, y corregir la dosificación del concreto para que el problema no avance.

Para la limpieza del molde hace falta detener el llenado y elevar el molde vacío lo que haga falta hasta que aparezca todo el concreto que se haya pegado a su superficie (el proceso es progresivo y avanza del extremo superior hacia abajo). A continuación se debe picar el concreto pegado al molde y reparar de las planchas de triplay dañadas. Antes de reiniciar los llenados, deberá escarificarse la superficie de concreto del muro donde se producirá la junta, hacer una limpieza exhaustiva y eventualmente aplicar un puente de adherencia entre el concreto viejo y el concreto nuevo. Estos trabajos generan sobrecostos y retrasos en el proceso.

7.3. Pruebas para el concreto en obra.

Si el diseño de mezcla llevará aditivos, es conveniente realizar pruebas de campo con el concreto previas al izaje para verificar la trabajabilidad y comportamiento de fragua dentro del molde deslizante.

Para hacer las pruebas se replica una porción del muro a construir con su armadura, y se utiliza un molde deslizante de prueba. Dependiendo de los resultados debe ajustarse el diseño de mezcla de manera iterativa hasta que se obtenga un concreto con trabajabilidad y comportamiento de fragua adecuado para el sistema (**figura 7.3.**).

Se deberá considerar el efecto de la temperatura para el diseño de mezcla. Por esta razón, los ensayos deberán realizarse los horarios de temperatura crítica.

Normalmente, un concreto preparado con Cemento Portland Tipo I, sin aditivos, con un slump de 4" a 6", tendrá el comportamiento adecuado para trabajar con el encofrado deslizante (de acuerdo a la experiencia de múltiples obras ejecutadas desde hace 50 años, en las que era frecuente que el concreto se preparara a pie de obra).

En la medida en que se requiera añadir aditivos a la mezcla, o se adquiera concreto premezclado, será necesario hacer pruebas exhaustivas previas al izaje. Debe asegurarse que el concreto tendrá un inicio de fragua y ganancia de resistencia progresiva de acuerdo a lo requerido por el sistema, y que además no se pegue al molde en movimiento.



Figura 7.3.- Molde de prueba (3)

Si se suministra el concreto en camiones mixer, el volumen que se solicite por camión deberá ser acorde con la velocidad en que se podrá descargar cada mixer. Si el concreto permanece mucho tiempo en el mixer, tiende a perder humedad por evaporación y pierde así trabajabilidad. En algunos casos llega inclusive a iniciar su fragua.

La adición de plastificantes a la mezcla para aumentar slump puede ser contraproducente pues también cambiarán sus características de velocidad de fragua.

Una vez que se haya definido el diseño de mezcla y se finalicen el resto de obras preliminares, se procede la izaje de la plataforma. Como en cualquier

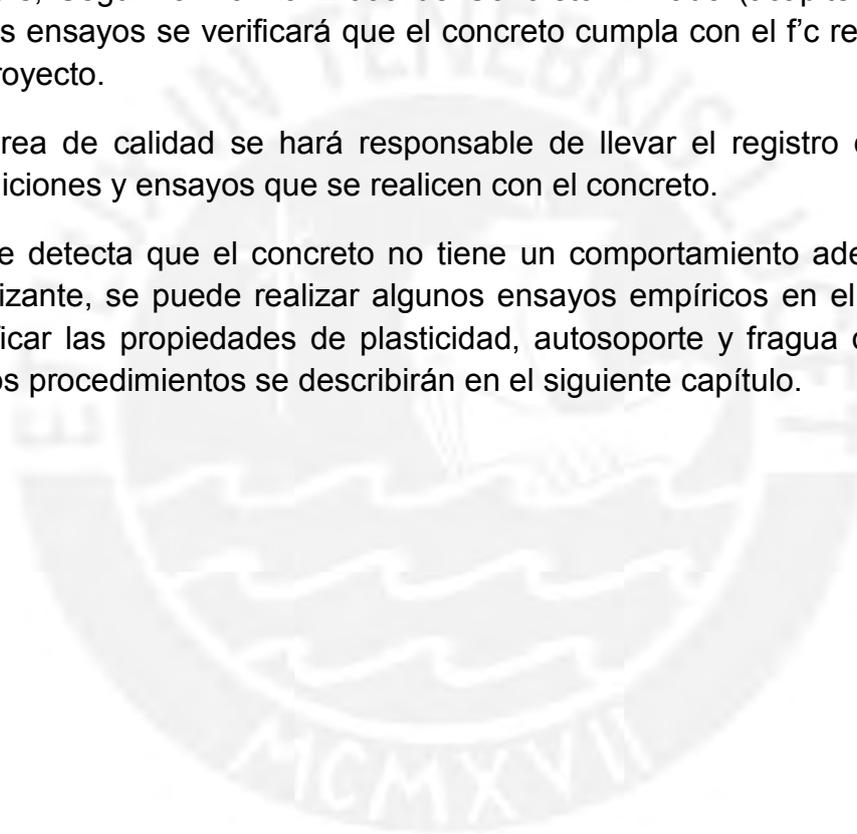
proyecto de construcción, se deberá llevar un control del concreto durante el proceso constructivo, el cual se describe a continuación.

Como criterio de aceptación del concreto, se verificará que cumpla con el slump solicitado. Para ello se llenará un boogie a la llegada de cada camión mixer y se utilizará el cono de Abrams para realizar la medición. Con esto se verifica la trabajabilidad del concreto.

También se deberán sacar probetas para la realización de ensayos de compresión del concreto a los 28 días. Por lo general, los volúmenes de concreto solicitados para los mixer varían entre tres y seis metros cúbicos cuando se trabaja en silos o reservorios elevados. Para estas condiciones, aplica el criterio de tomar al menos una muestra por cada cinco camiones mixers, Según la Norma E.060 de Concreto Armado (acápito 5.6.2.). Con estos ensayos se verificará que el concreto cumpla con el $f'c$ requerido para el proyecto.

El área de calidad se hará responsable de llevar el registro de todas las mediciones y ensayos que se realicen con el concreto.

Si se detecta que el concreto no tiene un comportamiento adecuado en el deslizante, se puede realizar algunos ensayos empíricos en el campo para verificar las propiedades de plasticidad, autosoporte y fragua del concreto. Estos procedimientos se describirán en el siguiente capítulo.



Capítulo VIII: PRUEBAS EMPIRICAS EN CAMPO PARA CONTROL DE FRAGUA, AUTOSOORTE Y PLASTICIDAD

Tal como se ha visto, aún no existe una metodología clara para controlar el comportamiento del concreto en encofrados deslizantes. Las pruebas tradicionales para el concreto son suficientes para llevar un control adecuado en un sistema de encofrados convencionales; sin embargo, en encofrados deslizantes, se requiere además determinar las características de fragua del mismo, características para las cuales aún no existe ninguna metodología de campo que permita predecir de manera efectiva su performance.

En este acápite se propondrá un procedimiento para atender esta necesidad a partir de los ensayos realizados recientemente en la construcción de silos de concreto en Juliaca y en Piura en los que se solicitó a empresas concreteras locales el suministro del concreto. Una vez empezado el izaje se presentaron una serie de problemas con el sistema deslizante lo que motivó a que se desarrollen pruebas en campo para evaluar el comportamiento del concreto durante las primeras horas de fragua y poder sustentar que las fallas eran producto de un concreto que no cumplía con los requerimientos solicitados para el proyecto con un sistema deslizante.

Se utilizarán estos ensayos como base para establecer un procedimiento previo al izaje para lograr un concreto adecuado, al mismo tiempo que serán útiles para llevar controles de variabilidad de comportamientos en la mezcla durante el proceso de izaje.

Para ello se delimitará la sección crítica (sección que se desea simular en los ensayos), se estimará el tiempo que pasa desde que se coloca el concreto hasta que llega a la sección crítica, así como la presión que se ejerce sobre la misma. Con esta información se puede definir un espécimen representativo obtenible en obra, sobre el cual se simularán las condiciones de la sección crítica y se evaluará su comportamiento.

Finalmente, se mencionará las ventajas de aplicar este procedimiento como control para definir el concreto que se va a utilizar durante el proyecto, así como control de variabilidad de comportamientos en la mezcla.

Para el desarrollo del presente capítulo se ha utilizado como referencia los ensayos realizados por la empresa ByLL SRL Contratistas Generales para la construcción de un silo de cal en Juliaca y tres silos para la fábrica de Cementos Piura.

8.1. Análisis de sección crítica

En el proceso dinámico de izaje con encofrados deslizantes, el concreto se coloca en el molde en capas delgadas a un tiempo determinado para que el molde avance entre 20 y 30 cms/hora. Es así que el concreto en la altura del molde no presenta el mismo avance de fragua: las capas vertidas al principio se encuentran en una fragua más avanzada que las recién vertidas. De esta manera se puede dividir el concreto que se encuentra dentro del molde, a grosso modo, en tres zonas (**figura 8.1.**): una primera capa de 30cm de concreto fresco, una segunda de 40cm de concreto en proceso de fragua y la última de 30cm de concreto fraguado.

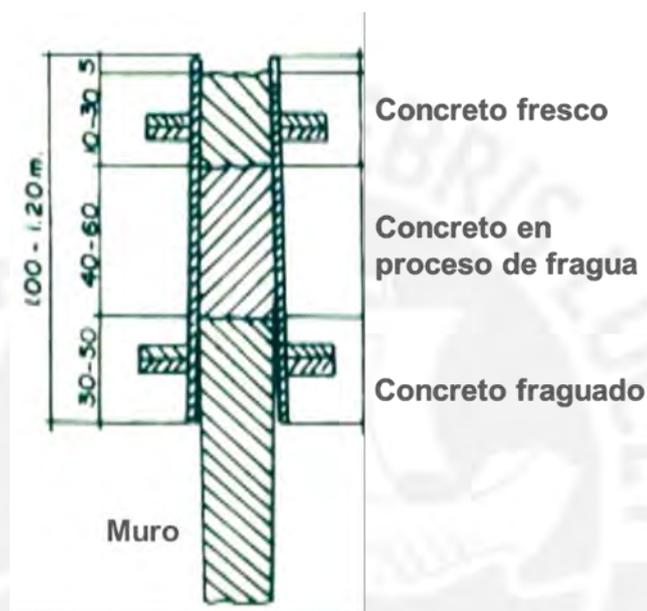


Figura 8.1.- Sectorización del concreto en el molde deslizante (1)

Durante el proceso deslizante es frecuente y esperable que se realicen correcciones debido a desplomes y deformaciones del molde. Estas correcciones se realizan mediante aplicación de tensión en molde en la dirección que se desea corregir. Así se transmite también los esfuerzos al concreto el cual debe tener un grado de plasticidad adecuado que permita su deformación para conseguir la corrección buscada. Definiremos la sección crítica como la zona de mayor fragua en la cual el concreto debe tener un grado de autosoporte que, por un lado, garantice el autosostenimiento de la estructura y, por otro, tenga la plasticidad necesaria para admitir las correcciones que se apliquen.

Debe tenerse presente que las paredes del molde tienen un ligero desplome, abriéndose unos 6 mm en la parte baja (ver Figura 6.1.) de tal manera que el molde pueda "cabecear" al desnivelarse la plataforma de trabajo sin afectar la capa de concreto que ya ha endurecido. Finalmente, podemos definir la

sección crítica como aquella que se encuentra a unos 75cm de profundidad del molde (donde el concreto ya debe presentar autosoporte) hasta 105cm medidos desde la parte superior del molde.

Es conveniente que la superficie del concreto permita ser trabajada por los albañiles una vez que aparece por debajo del molde, de tal forma que se le pueda dar un buen acabado frotachado sin necesidad de acudir a enlucidos o resanes.

8.2. Tiempo requerido de fragua

Para la construcción de silos de concreto por lo general se trabaja a una velocidad vertical de izaje de 20 a 30 centímetros por hora con paneles de encofrados de 1.05 metros de altura. Asumiendo estos valores, tendrán que pasar de 3 a 5 horas hasta que el concreto se encuentre en la sección crítica, instante en el que es preciso que el concreto sea capaz de autosoportarse y presentar ciertos índices de plasticidad.

En caso que las velocidades de izaje o la altura del molde varíe se deberá calcular para cada caso el tiempo transcurrido hasta que el concreto se encuentre en la sección crítica.

8.3. Presión ejercida

Partiendo de que el molde del encofrado tendrá una altura de 1.05 metros se realizará el análisis de cargas que deberá soportar el concreto endurecido:

En la **figura 8.2.** se aprecia la sección transversal de un encofrado deslizante, este consta principalmente de el encofrado, los cabezales, las barras de trepar y la plataforma de trabajo. La plataforma se apoya en el molde, que es izado –junto con la plataforma- por los yugos y cabezales. Los yugos y cabezales suben gracias a los gatos que -por medio de mordazas- "trepan" por la barra de trepar. Finalmente, es la barra de trepar la que carga todo el peso y reacciones de la plataforma de trabajo, el encofrado y los cabezales.

A partir de este análisis se concluye que el concreto endurecido solo debe soportar la presión ejercida por la columna de concreto fresco colocado por encima de él, en el molde del encofrado.



Figura 8.2.- Sección transversal de un encofrado deslizante (7).

8.4. Descripción de propuestas de pruebas para el concreto

Una vez que se ha delimitado la sección crítica del encofrado, se tiene el tiempo requerido para que esta fragüe y la presión ejercida sobre la misma, es posible crear un espécimen representativo y simular estas condiciones permitiendo determinar si el comportamiento del concreto es el adecuado.

Estos ensayos se deberán realizar para determinar el diseño de mezcla de concreto con el que se deberá trabajar a lo largo de todo el izaje. En caso surjan problemas con el concreto durante el izaje, se deberán aplicar estos ensayos para detectar cambios en su comportamiento consecuencia de variaciones en los diseños de mezcla.

A continuación se describirá el procedimiento a partir de los ensayos que se realizaron en los proyectos de Juliaca y Piura para determinar el comportamiento del concreto:

Se tomará como espécimen representativo una probeta típica de 15cm diámetro y 30cm de altura. La probeta se desencofrará a las tres horas y, si es capaz de autosoportarse, se colocará una columna de concreto de 60 centímetros, lo que equivale justamente a colocar dos probetas encima de esta. Esto simulará el estado de presiones en las que se encuentra la sección crítica, que deberán ser resistidas por la probeta sin sufrir deformaciones a simple vista.

Seguidamente se verificará que dicho concreto no haya perdido totalmente su plasticidad puesto que ello permitirá realizar las correcciones de verticalidad que se pudiera generar durante el izaje y tener un buen acabado en el solaqueo.

La verificación de plasticidad se basará en dos etapas: la primera consistirá en mantener la zona inferior de la probeta fija y desplazar la zona superior lateralmente algunos centímetros (alrededor de 1 cm) sin generar alguna alteración (grietas, fisuras) en la probeta. Posterior a ello se procederá a la segunda etapa que consistirá en realizar giros horarios/anti-horarios de aproximadamente 1cm alrededor del eje central de la probeta teniendo fijo la zona inferior de la probeta y girando solo la zona superior inspeccionándose nuevamente que no sufra ninguna alteración (grietas y/o fisuras).

Con esto último se verifica la capacidad del concreto para tener la plasticidad necesaria que permita realizar la corrección de plomadas y deformación del molde.

Durante la evaluación de las probetas se controlará la temperatura del ambiente, factor que afecta su velocidad de fragua.

El concreto cumplirá con los requerimientos de autosoporte y plasticidad si es capaz de soportar la presión a la que será sometido sin presentar mayores deformaciones y si admite las deformaciones requeridas sin presentar grietas ni fisuras.

8.5. Ventajas de la implementación de las pruebas empíricas descritas

De implementarse las pruebas para el control de plasticidad y autosoporte del concreto se obtendrían las siguientes ventajas:

- ✓ El diseño de mezcla se lograría de una manera más rápida y precisa ya que no se necesitaría hacer tantos ensayos en el molde de prueba sino que se determinaría el diseño mediante las pruebas planteadas y luego se corroboraría en el molde.
- ✓ Se produciría un ahorro significativo en recursos y concreto al prescindir de los ensayos en el molde.
- ✓ Se lograría obtener una herramienta que permita determinar las propiedades del concreto durante las primeras horas de fragua.
- ✓ Permitiría identificar variaciones en los de diseños de mezcla que afectan el proceso deslizante.

Capítulo IX: METODOLOGÍA ÓPTIMA PARA TRASLADO DE CONCRETO Y ALTERNATIVAS DE MEJORA PARA EL SISTEMA

Por lo descrito anteriormente, se entiende que el suministro de concreto al molde es vital para el avance del sistema deslizante, así como las correcciones oportunas por eventuales desplomes y deformaciones, correcciones que deben hacerse tan pronto aparezca cualquier tendencia no deseada.

Por esta razón, se describirán las alternativas existentes para el traslado de concreto con encofrados deslizantes a fin de discernir la alternativa eficiente para utilizarse. Estas son: por medio de grúa, bomba de concreto y un mecanismo castillo-balde-winche. Finalmente, se propondrá una mejora al mecanismo de castillo, balde y winche proponiendo el uso de un balde de volteo como reemplazo al balde con compuerta.

Se describe también un sistema para medir verticalidad y giros mediante rayos laser, buscando reemplazar las tradicionales plomadas que no son precisas y demandan mucho tiempo y horas hombre de personal para cada lectura.

9.1. Alternativas para traslado de concreto

A continuación se describen las tres alternativas para trasladar el concreto:

9.1.1. Sistema de grúa con balde

Para llevar el concreto del camión mixer al encofrado deslizante mediante este sistema, se requiere de una grúa y un balde con compuerta al cual se le coloca una manguera de jebe en la boca inferior (**figura 9.1.**). Se coloca vientos tanto en la manguera como a los costados del balde para la facilitar la recepción del mismo en la plataforma de trabajo.

A la llegada del camión mixer se llena el balde y se procede al izaje (**figura 9.2.**). El balde es recepcionado en la plataforma y puesto en posición manteniéndose izado un poco por encima del encofrado en la zona donde se va a realizar el vaciado. Se coloca la manguera en posición y un operario se encarga de abrir la compuerta permitiendo la salida del concreto.



Figura 9.1.- En la figura se aprecia el momento en el que se va a colocar la manguera de jebe en la boca inferior del balde (3)

La ventaja de este sistema es que permite utilizar un balde de gran tamaño - hasta 1 metro cúbico, versus 0.33 metros cúbicos del balde utilizado en el sistema con winche y castillo- por lo que se pueden trasladar grandes volúmenes de concreto en cada viaje (**figura 9.3.**).



Figura 9.2.- Izaje del balde con la grúa (3)

Sin embargo, no es recomendable su uso como único método para el traslado de concreto debido a los elevados costos que implica el uso de la grúa. Además, este procedimiento supone importantes riesgos en seguridad debido a que el balde se está moviendo constantemente alrededor de la plataforma

de trabajo con potencial riesgo de golpear a los trabajadores o colisionar contra la estructura. Otro riesgo importante es la caída de residuos de concreto que quedan en la manguera de jebe cuando el balde está en movimiento.

En todo caso se recomienda utilizarse como procedimiento extraordinario en proyectos en los que se cuente con una grúa (destinada a realizar operaciones de traslado de materiales) en situaciones en que, por distintos motivos, hayan ocurridos retrasos con sistema utilizado para el traslado de concreto. De esta manera se evita que se genere un cuello de botella en el tren de trabajo por desabastecimiento de concreto.



Figura 9.3.- A la izquierda, balde utilizado en mecanismo con winche y castillo. A la derecha, balde utilizado con grúa (3)

9.1.2. Bomba de concreto

Otra alternativa para el traslado de concreto es el uso de una bomba de concreto. Este consiste en un mecanismo que recepciona el concreto y lo impulsa con mucha presión a través de una manguera hasta el encofrado. La manguera se sube hasta la plataforma con una pluma.

La ventaja de este sistema es que requiere de poca mano de obra para su uso y además es capaz de bombear grandes volúmenes de concreto cuando se requiere.

Sin embargo, este mecanismo tampoco es recomendable para utilizarse con el sistema de encofrados deslizantes ya que justamente está pensado para bombear grandes volúmenes de concreto en poco tiempo; mientras que en los encofrados deslizantes se trabaja volúmenes de vaciado pequeños y

constantes. De esta manera, resulta muy costoso tener la bomba trabajando muchos días para el traslado de pequeños volúmenes de concreto.

Además, se produce un intervalo de tiempo alto entre un bombeo y otro, existe un riesgo importante de que la manguera se atore debido a que el concreto fragüe dentro. Cuando esto ocurre, se debe desarmar la manguera para proceder con las labores de limpieza de misma. Todo esto genera demoras importantes y se corre el riesgo que el concreto ya colocado en la estructura fragüe y se pierda el monolitismo de la estructura.

9.1.3. Mecanismo con winche, castillo y balde

Este sistema consiste en castillo que se coloca como volado en la plataforma con un sistema de poleas que, junto con un winche, permite izar un balde con concreto hasta la plataforma de trabajo.

El procedimiento se puede dividir en cinco etapas: vaciado de mixer a balde, elevación del balde con winche, apertura de compuerta para descarga en plataforma, descarga de plataforma a boogie y el despacho del boogie al encofrado.

Antes de que el mixer se posicione para descargar en el balde, se debe despachar concreto en un boogie para realizar las pruebas correspondientes en el concreto. Se requiere de una persona para que dirija al camión mixer y este se posicione para la descarga del concreto. Una vez posicionado, se saca una la trompa del mixer y se descarga el concreto en el balde hasta que este queda casi lleno.

Una vez llenado el balde, se retira la trompa del mixer, se despeja la zona alrededor del balde y el operario del winche empieza el izaje del balde. En el castillo un peón indica al operario del winche por radio o luces cuando el balde se encuentra en posición para que este detenga el izaje.

Para que el balde pueda descargar en la plataforma de almacenamiento de concreto, se utiliza una especie de tobogán replegable. Este consta de una articulación que permite mantenerlo replegado para que el balde pueda subir y bajar sin que choque con este. Entonces, una vez que el balde se colocado en posición en el castillo, un operario se encarga de desplegar la plataforma de deslizamiento para el concreto colocando el extremo debajo de la compuerta del balde. Una vez replegado, otro operario se encarga de abrir la compuerta permitiendo que el concreto caiga y deslice hasta la plataforma de almacenamiento.

La plataforma permite almacenar el concreto de manera que, si ocurren demoras en la llegad de los mixers, se cuenta con una reserva para poder

continuar con el tren de trabajo. A cada lado de la plataforma hay tres operarios con palas que se encargan de despachar el concreto a los boogies.

En total hay seis operarios trabajando con los boogies para trasladar el concreto de la plataforma al encofrado. Empiezan despachando el concreto por las zonas más alejadas de la plataforma hasta completar el perímetro de la plataforma. En cada viaje despachan todo el concreto del boogie entre dos cabezales, por lo que se requieren varios viajes hasta completar el perímetro.

Es oportuno colocar un segundo mecanismo completo al extremo contrario el cual se pueda poner en funcionamiento si el primero falla (**figura 9.4.**). Para esto es necesario además contar con un winche de repuesto.



Figura 9.4.- A la derecha, castillo de alerno de reemplazo (3)

Debido a las características de los trabajos con encofrados deslizantes es de vital importancia reducir al máximo los riesgos de paradas en todos los procedimientos. En ese sentido, este es el mecanismo que menores riesgos supone ya que, ante cualquier contingencia, es posible utilizar el mecanismo de reemplazo permitiendo la continuidad en los trabajos. Además, es el más barato en términos de equipos, por lo que el castillo de reemplazo no representa mayores costos.

Es por ello que, a pesar de la cantidad de tedioso que puede resultar este sistema y la cantidad de mano de obra que se requiere invertir para que funcione, resulta ser el más adecuado para trabajar con un sistema de encofrados deslizantes.

9.2. Uso de balde de volteo como alternativa al balde con compuerta

A continuación, se propondrá una mejora para la tercera del procedimiento justo antes descrito:

Tal como se ha visto, el procedimiento para el despacho del concreto del balde al boogie se realiza mediante el uso de un balde de concreto con una compuerta en la zona inferior y una especie de tobogán replegable que requieren de dos operarios (uno para desplegar la plataforma deslizante y otro para abrir la compuerta del balde).

Como alternativa a este procedimiento se propone la implementación de un balde de volteo y una plataforma para el deslizamiento del concreto fija que permita realizar este procedimiento de manera automatizada. Consiste en un balde con un sistema de rieles que produce el volteo del balde cuando este llega a la parte superior del castillo.

El balde tiene dos ruedas pequeñas en los costados que encajan en los rieles que se encuentran fijo en el castillo de la plataforma de trabajo. Los rieles tienen una mayor apertura en la parte inferior, permitiendo que las ruedas encajen con facilidad, y en la parte superior producen un desplazamiento y giro que provoca el volteo del balde. Finalmente, el balde tiene un peso en la zona inferior que permite que regrese a su posición vertical una vez que ha despachado el concreto.

El desplazamiento lateral que produce permite utilizar una plataforma deslizante fija, sin necesidad de desplegar ninguna articulación para recibir el concreto.

Cabe mencionar que este sistema se trató de implementar sin éxito en el último proyecto realizado con encofrados deslizantes por la empresa ByLI S.R.L. Contratistas Generales. El sistema falló porque el balde balanceaba durante el izaje y finalmente no encaba en los rieles. Es preciso mejorar el diseño del mismo para ponerlo en funcionamiento.

Con la implementación del sistema descrito se lograrían las siguientes ventajas:

- ✓ Se prescinde de dos operarios para el trabajo de apertura de compuerta del balde y despliegue de plataforma deslizante, lo que implica menores costos para el proceso.
- ✓ Se reducirían los tiempos de entrega del concreto en la tercera etapa, permitiendo realizar un mayor número de viajes con el balde.

- ✓ El castillo se encuentra en volado y el balde constantemente esta en movimiento por lo que los trabajos que se realizan allí son de alto riesgo. Al prescindir de los operarios, se reducen se reducen los riesgos de trajo en altura.

9.3. Implementación de sistemas láser para control de desplazamientos

Es necesario registrar los desplazamientos indeseados en el molde para detectar deformaciones, giros o desplazamientos no previstos y realizar correcciones de manera oportuna.

Para realizar estos controles tradicionalmente se han utilizado dos métodos: mediciones con plomadas y mediciones con equipo topográfico.



Figura 9.5.- Nivel láser vertical (8)

Para ello se requiere de niveles verticales (**figura 9.5.**) que proyecten un punto fijo en una cajuela con papel milimetrado (**figura 9.6.**) que permita realizar las lecturas de eventuales desplazamientos en el plano horizontal. Para ello se requeriría de cuatro puntos de medición, simulando las cuatro mediciones que se realizan en los ejes con el sistema de plomadas.

Las mediciones con plomadas requieren de muchas horas hombre para realizar los trabajos y el riesgo de que se cometan errores en las lecturas es bastante alto (estos procedimientos se describen a detalle en el acápite 2.3.2. “control de verticalidad y giros”). Mientras que el uso de una estación total para realizar las lecturas desde el exterior de la estructura puede resultar poco práctico y conlleva a errores graves cuando se toman lecturas no representativas.



Figura 9.6.- Cajuela de medición (3)

Frente a esta situación se propone el uso de sistemas láser que permitan llevar el control de los desplazamientos de la plataforma de manera automatizada y permanente.



CONCLUSIONES

- Los encofrados deslizantes presentan múltiples ventajas frente los encofrados convencionales para la construcción de estructuras altas que mantienen más o menos constante su sección en toda la altura. Sin embargo, al ser un sistema constructivo complejo, se requiere de experiencia para su uso.
- Las pruebas de control del concreto en campo especificadas por norma para el control del concreto resultan insuficientes para garantizar una buena performance del mismo con un sistema de encofrados deslizantes. Los encofrados deslizantes son un proceso dinámico que requieren de un estudio diferente al de los encofrados convencionales.
- En el sistema deslizante, el proceso de fragua inicial del concreto es determinante para que el sistema funcione correctamente. En consecuencia, es necesario contar con una metodología que permita entender el comportamiento de esta variable.
- El sistema de encofrados deslizantes es un proceso continuo que no debe parar desde que se empieza con el izaje hasta que termina. Por ello es importante que las pruebas de control del sistema se puedan realizar en campo de una manera sencilla y rápida de manera que se puedan identificar problemas rápidamente y así dar soluciones a tiempo.
- En el presente trabajado se explica un procedimiento que permite determinar si el concreto es adecuado para utilizarse en encofrados deslizantes. Sin embargo, es preciso realizar nuevas investigaciones en la búsqueda de patrones que relacionen los resultados obtenidos en las pruebas con la forma cómo se prepara el concreto, con la finalidad de poder hacer recomendaciones para la preparación del concreto a partir de los resultados de los ensayos. Para lograr esto, se tendrían que realizar una serie de ensayos con distintos tipos de concretos y hacer un análisis sobre su comportamiento. Esto podría ser tema para una segunda tesis en el futuro.
- El hecho de reducir al mínimo el riesgo de desabastecimiento de concreto en un sistema deslizante es un factor fundamental a la hora de escoger el mecanismo con el que se va a trabajar. Esto debido a que todas las tareas en el sistema están interconectadas unas con otras.
- Es preciso automatizar el mecanismo de castillo, balde y winche en la búsqueda de reducción de horas hombres requeridas para poner en funcionamiento el sistema. Una alternativa para esto es implementar un

balde de volteo como reemplazo al balde tradicional con compuerta. Esto significaría un ahorro significativo en tiempo y horas hombre.

- La implementación de sistemas láser para el control de desplazamientos del molde permitiría obtener mediciones permanentes, reducir horas hombre de trabajo y disminuir los riesgos de mediciones erróneas.



RECOMENDACIONES

- Cuando desea preparar un diseño de mezcla, es aconsejable utilizar los procedimientos con las probetas descritos en el presente trabajo previamente a las pruebas en el molde deslizante. Este procedimiento permite llegar al diseño óptimo de manera iterativa de una manera más rápida y sin necesidad de utilizar grandes volúmenes de concreto.
- Se recomienda utilizar el mecanismo de castillo, balde y winche debido a que es el que es el más económico y el que menores riesgos representa en comparación con los sistemas de transporte de concreto a través de bomba o grúa.
- En proyectos en los que se cuente con una grúa para el transporte de materiales y se trabaje con el sistema de castillo, balde y winche para el traslado de concreto; Es ventajoso contar, además, con un balde concreto adicional. De manera que se pueda utilizar junto con la grúa para el abastecimiento de concreto en caso se requiera aumentar la velocidad de colocación de concreto en el molde.
- Es conveniente el uso de sistemas láser para la medición de las posiciones relativas del molde ya que resulta más económico y preciso que los sistemas tradicionales de plomadas o equipo topográfico.

REFERENCIAS

- [1] ACI Committee, American Concrete Institute, & International Organization for Standardization. (2008). Building code requirements for structural concrete (ACI 318-08) and commentary. American Concrete Institute.
- [2] Alberto LI. (2015), de ByLL, Sitio web: <http://www.byllperu.com/>
- [3] Barrios Martínez, M. (1976). Construcción de silos con encofrados deslizantes-Santa Cruz de Tenerife-España. Informes de la Construcción, 29(284), 79-86.
- [4] Miguel Adam. (1975). Desencofrado y curado. En Aspectos del hormigón (259). Barcelona: Reverte.
- [5] Pavel Pinao Elera (2011). Aplicación de encofrados deslizantes en estructuras verticales.
- [6] Redacción_Structuralia (2013), de Structuralia, Sitio web: <http://www.structuralia.com/es/aee/item/102931-encofrados-deslizantes-y-trepantes>
- [7] Rodríguez Fajardo, L. E. (2011). Modelación numérica del concreto simple con elementos finitos usando un modelo constitutivo de Plasticidad (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia).
- [8] Tecbarragem (2015), Sitio web: <http://www.tecbarragem.com.br/site/index.html>
- [9] Tudor Dinescu. (1973). Obras que se construyen con encofrados deslizantes. Madrid: Espasa-Calpe. (2)
- [10] Víctor Yepes Piqueras . (2015). Encofrados Deslizantes. 22 de junio de 2015, de Universidad politécnica de Valencia Sitio web: <http://victoryepes.blogs.upv.es/2015/03/15>
- [11] Villanueva Bello, J. A. (2011). Construcción de un silo de concreto armado por el sistema de encofrado deslizante.
- [12] ByLL S.R.L. Contratistas Generales (2013). En Construcción del muro superior del silo con encofrados deslizante. (Piura, Perú)
- [13] Centro de Investigación para el Desarrollo Industrial (2011). En Práctica Normalizada para el muestreo del concreto recién mezclado (Universidad Autónoma de Guadalajara)
- [14] Norma Técnica Guatemalteca (2013). COGUANOR NTG 41017.

[15] Gianfranco Ottazzi Pasino. (2009). Norma E.060 Concreto Armado. Reglamento Nacional de Edificaciones. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (205 págs)

Imágenes

(1) Tudor Dinescu. (1973). Obras que se construyen con encofrados deslizantes. Madrid: Espasa-Calpe.

(2) Teximo (2011), Sitio web: <https://www.youtube.com/watch?v=UsH30TaAWRI>

(3) Fotos de proyectos realizados por la empresa ByLI Contratistas Generales

(4) Pavel Pinao Elera (2011). Aplicación de encofrados deslizantes en estructuras verticales.

(5) UNISPAN , Andamios Industriales. 02 de mayo de 2016. Sitio web: http://www.unispan.com.pe/fotos/500x500_13770313636.jpg

(6) Miguel Adam. (1975). En Aspectos del hormigón (259). Barcelona: Reverte.

(7) Bitschnau Gleit & Schalungstechnik (2014), video, Sitio web: <https://www.youtube.com/watch?v=XEAc11FHzpY>

(8) TTQ de Monterrey (2016). Sitio web: <http://topografiamonterrey.com/nivel-hv101gc3-spectra>