

**UNIVERSIDAD ALAS  
PERUANAS**  
**FACULTAD DE INGENIERÍAS Y  
ARQUITECTURA ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL  
DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**ANÁLISIS COMPARATIVO Y APLICACIÓN DE LOS  
ENCOFRADOS: DESLIZANTES Y METÁLICOS  
FRENTE A LOS ENCOFRADOS CONVENCIONALES  
EN LA REGIÓN PUNO 2015**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:  
FERNANDO APAZA ARI**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**JULIACA-PERÚ**

**2015**



**ACTA DE TITULACIÓN PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

En Juliaca, siendo las 10:00 horas del día 05 de julio del 2015, en el Salón de Grados de la Universidad Alas Peruanas y bajo la Presidencia del **Ing. GILMER SALAS MADERA**, se inició la Sesión Pública de Sustentación y Evaluación correspondiente para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil por la modalidad de **Sustentación de Tesis**.

En la que el Bachiller: **APAZA ARI, FERNANDO**

Sustentó la **Tesis de Ingeniería**:

*Tesis*

**“ANÁLISIS COMPARATIVO Y APLICACIÓN DE LOS ENCOFRADOS DESLIZANTES Y METÁLICOS FRENTE A LOS ENCOFRADOS CONVENCIONALES EN LA REGIÓN PUNO 2015”**

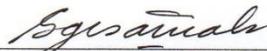
Ante el jurado integrado por los señores catedráticos:

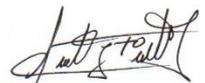
<b>Ing. GILMER SALAS MADERA</b>	<b>(Presidente)</b>
<b>Ing. WILHEM ROGGER LIMACHI VIAMONTE</b>	<b>(Miembro)</b>
<b>Ing. RAUL REYNALDO ITO DIAZ</b>	<b>(Secretario)</b>

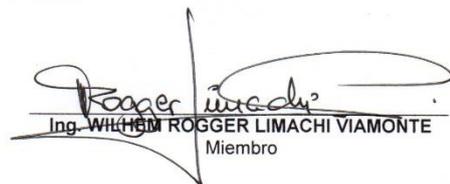
Sustentado el mismo, el graduando obtuvo el siguiente resultado:

*APROBADO POR UNANIMIDAD*

En fe de lo cual se asentó la presente Acta que firman el señor Presidente y los demás miembros del Jurado.

  
Ing. GILMER SALAS MADERA  
Presidente

  
Ing. RAUL REYNALDO ITO DIAZ  
Secretario

  
Ing. WILHEM ROGGER LIMACHI VIAMONTE  
Miembro

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo está dedicado a mi querida madre, María Natividad por su ardua labor y estímulo constante; a mis hermanos Alfredo ,Luz Marina, Marluve ,Adolfo quienes me alientan el espíritu de superación, por el gran esfuerzo de brindarme el apoyo incondicional, la confianza y sus palabras alentadoras para conseguir mis objetivos.

**Fernando Apaza Ari**

## **AGRADECIMIENTO**

Al Rector de la Universidad Alas Peruanas a la Facultad de Ingenierías y Arquitectura y a la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil, a los Docentes por sus enseñanzas que contribuyeron con mi formación profesional.

A mi asesor de tesis, que supo guiarme y brindarme sus valiosos conocimientos para concluir la presente tesis de investigación, el cual contribuye a mi formación profesional.

**Fernando Apaza Ari**

## TABLA DE CONTENIDO

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>4</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>5</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>11</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>12</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>13</b>
<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>15</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>15</b>
<b>1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....</b>	<b>15</b>
<b>1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....</b>	<b>15</b>
<b>1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>16</b>
1.3.1. OBJETIVO GENERAL .....	16
1.3.2. OBJETIVO ESPECÍFICOS .....	16
<b>1.4. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS .....</b>	<b>16</b>
1.4.1. HIPÓTESIS GENERAL .....	16
1.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.....	17
<b>1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>17</b>
<b>1.6. LIMITACIONES .....</b>	<b>18</b>
<b>1.7. VIABILIDAD DEL ESTUDIO.....</b>	<b>18</b>
<b>CAPITULO II .....</b>	<b>19</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>19</b>
<b>2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>19</b>
<b>2.2. BASES TEÓRICAS.....</b>	<b>21</b>
2.2.1. RESEÑA HISTÓRICA DE LOS ENCOFRADOS .....	21
2.2.2. SISTEMAS DE ENCOFRADOS EN LA CONSTRUCCIÓN .....	29
2.2.3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ENCOFRADOS CONVENCIONALES.....	36
2.2.4. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ENCOFRADOS METÁLICOS.....	39
2.2.5. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ENCOFRADOS DESLIZANTES.....	47
<b>2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES .....</b>	<b>72</b>

2.3.1. ENCOFRADO. ....	72
2.3.2. ENCOFRADO DESLIZANTE. ....	72
2.3.3. ENCOFRADO METÁLICO.....	73
2.3.4. ENCOFRADO DE MADERA.....	73
2.3.5. ACERO GALVANIZADO. ....	73
2.3.6. ARRIOSTRE. ....	73
2.3.7. BARRAS DE APOYO. ....	74
2.3.8. FRAGUADO. ....	74
2.3.9. TRACCIÓN. ....	74
2.3.10. ESCANTILLÓN.....	74
2.3.11. GRAMPÓN. ....	74
2.3.12. ANCLAJE. ....	74
2.3.13. MONTAJE. ....	75
2.3.14. PLACA DE MONTAJE. ....	75
2.3.15. RIGIDEZ. ....	75
2.3.16. ENTARIMADO. ....	75
2.3.17. AGREGADO GRUESO.....	75

**CAPITULO III ..... 76**

**ANALISIS COMPARATIVO VENTAJAS Y DESVENTAJAS EN EL PROCEDIMIENTO  
CONSTRUCTIVO DE LOS ENCOFRADOS**

..... ¡Error! Marcador no definido.

<b>3.1. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL ENCOFRADO DE MADERA.....</b>	<b>76</b>
3.1.1. Ejecucion .....	76
3.1.2. Condiciones de Aplicación.....	78
<b>3.2. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL ENCOFRADO METALICO .....</b>	<b>79</b>
3.2.1. Ejecucion.....	79
3.2.2. Ventajas .....	80
3.2.3. Desventajas.....	78
<b>3.3. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL ENCONFRADO DESLIZANTE.....</b>	<b>82</b>
3.3.1. Condiciones de aplicacion .....	82
3.3.2. Ventajas .....	¡Error! Marcador no definido.
3.2.2. Desventajas.....	77

<b>CAPITULO IV .....</b>	<b>86</b>
<b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.....</b>	<b>86</b>
<b>4.1. COMPARACIÓN ECONÓMICA DE LOS ENCOFRADOS DESLIZANTES Y METÁLICOS     FRENTE AL SISTEMA DE ENCOFRADOS CONVENCIONALES APLICADO A ESTRUCTURAS     TIPO SILOS, RESERVORIOS, TORRES. ....</b>	<b>86</b>
<b>4.2. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DEL ENCOFRADO DESLIZANTE. ....</b>	<b>89</b>
4.2.1. Datos generales .....	89
4.2.2. Coeficiente de Fricción.....	90
4.2.3. Verificación de la capacidad de carga del encofrado deslizante .....	90
4.2.4. Empuje del concreto.....	92
4.2.5. Estabilidad de los paneles del encofrado deslizante. ....	92
4.2.6. Verificación de pandeo en las barras de apoyo.....	102
<b>4.3. RESUMEN DE RESULTADOS .....</b>	<b>106</b>
<b>4.4.- INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.....</b>	<b>117</b>
4.4.1. Silo de Homogenización - Cementos Sur S.A. ....	110
4.4.2. Batería de Silos - UNACEM S.A.A. ....	114
<b>CAPITULO V .....</b>	<b>117</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>117</b>
<b>5.1. CONCLUSIONES .....</b>	<b>117</b>
<b>5.2. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>118</b>
<b>FUENTES DE INFORMACIÓN .....</b>	<b>120</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>123</b>

## ANEXOS

<b>ANEXO A: METRADOS</b> .....	124
<b>ANEXO B: ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS</b> .....	134

## ÍNDICE DE CUADROS

<i>CUADRO N° 1: Tiempo promedio de ejecución del encofrado de madera.</i> .....	88
<i>CUADRO N° 2: Tiempo promedio de ejecución del encofrado metálico</i> .....	88
<i>CUADRO N° 3: Tiempo promedio de ejecución del encofrado deslizante</i> .....	89
<i>CUADRO N° 4: Resumen de resultados - Cementos Sur.</i> .....	107
<i>CUADRO N° 5: Resumen de resultados - UNACEM</i> .....	109
<i>CUADRO N° 6: Costo total de los encofrados – Cementos Sur</i> .....	110
<i>CUADRO N° 7: Tiempo de ejecución de los encofrados – Cementos Sur</i> .....	112
<i>CUADRO N° 8: Costo total de los encofrados – UNACEM.</i> .....	114
<i>CUADRO N° 9: Tiempo de ejecución de los encofrados – UNACEM</i> .....	115

## ÍNDICE DE IMÁGENES

<i>Imagen N° 1: Yeso Calcinado – utilizado por los egipcios para encofrar – a.c.</i> .....	22
<i>Imagen N° 2: Cúpula del Pateon de Roma</i> .....	23
<i>Imagen N° 3: Estructura Aporticada</i> .....	26
<i>Imagen N° 4: Torre de Televisión-Canadá.</i> .....	28
<i>Imagen N° 5: Estructura Aporticada</i> .....	28
<i>Imagen N° 6: Torre - cataratas del Niágara.</i> .....	28
<i>Imagen N° 7: Encofrado de Madera</i> .....	31
<i>Imagen N° 8: Encofrado Metálico</i> .....	31
<i>Imagen N° 9: Encofrado Deslizante</i> .....	31
<i>Imagen N° 10: Tipos de Madera</i> .....	33
<i>Imagen N° 11: Encofrado de la Iglesia Nuestra Señora de la Merced – Puno - 2013.</i> .....	36
<i>Imagen N° 12: Partes del Encofrado de Madera</i> .....	37
<i>Imagen N° 13: Encofrado metálico, súper mercado Plaza Vea – Puno – 2011.</i> .....	40
<i>Imagen N° 14: Partes del Encofrado Metálico</i> .....	41
<i>Imagen N° 15: Partes del sistema Losa</i> .....	41
<i>Imagen N° 16: Tubo alineador</i> .....	42
<i>Imagen N° 17: Tirante metálico</i> .....	43
<i>Imagen N° 18: Partes del tirante</i> .....	43
<i>Imagen N° 19: Base para gatos - nivelador</i> .....	44
<i>Imagen N° 20: Refuerzo para muro</i> .....	44
<i>Imagen N° 21: Escuadra de cierre para elementos de los encofrados</i> .....	45

<i>Imagen N° 22: Sujetador Dercons .....</i>	<i>45</i>
<i>Imagen N° 23: Accesorios - Sujetador de paneles.....</i>	<i>46</i>
<i>Imagen N° 24: Tipos de pasadores.....</i>	<i>46</i>
<i>Imagen N° 25: Grampa con sus accesorios .....</i>	<i>47</i>
<i>Imagen N° 26: Encofrado, Silo de Homogenización-Cementos Sur S.A.- Juliaca-2006.....</i>	<i>48</i>
<i>Imagen N° 27: Partes de los encofrados deslizantes.....</i>	<i>50</i>
<i>Imagen N° 28: Estructura panel exterior.....</i>	<i>51</i>
<i>Imagen N° 29: Estructura panel interior .....</i>	<i>51</i>
<i>Imagen N° 30: Yugos metálicos.....</i>	<i>54</i>
<i>Imagen N° 31: Estructura de la plataforma .....</i>	<i>54</i>
<i>Imagen N° 32: Distribución de elementos.....</i>	<i>55</i>
<i>Imagen N° 33: Plataforma superior .....</i>	<i>57</i>
<i>Imagen N° 34: Andamios colgantes.....</i>	<i>57</i>
<i>Imagen N° 35: Guía para fierro vertical .....</i>	<i>58</i>
<i>Imagen N° 36: Bomba de aceite- dispositivo control automático.....</i>	<i>59</i>
<i>Imagen N° 37: Gatos conectados con mangueras .....</i>	<i>59</i>
<i>Imagen N° 38: Gato Hidráulico tipo Concretor Prometo de 3 TN - en sus tres fases de funcionamiento .....</i>	<i>60</i>
<i>Imagen N° 39: Barras de apoyo .....</i>	<i>64</i>
<i>Imagen N° 40: Funda de recuperación .....</i>	<i>65</i>
<i>Imagen N° 41: Barras de trepar .....</i>	<i>65</i>
<i>Imagen N° 42: Escaleras de acceso.....</i>	<i>70</i>
<i>Imagen N° 43: Elevación del concreto.....</i>	<i>70</i>
<i>Imagen N° 44: Modelo de carga del encofrado .....</i>	<i>93</i>
<i>Imagen N° 45: Análisis de estabilidad de cerchas.....</i>	<i>95</i>
<i>Imagen N° 46: Esquema de Viga Celosía de 5 tramos, sometida a una carga distribuida uniforme W .....</i>	<i>98</i>
<i>Imagen N° 47: Cargas Axiales y Reacciones que se generan en la Viga Celosía (T. inicial).....</i>	<i>100</i>
<i>Imagen N° 48: Cargas Axiales y Reacciones que se generan en la Viga Celosía (T. final) .....</i>	<i>100</i>
<i>Imagen N° 49: Viga Celosía de 5 tramos, sometida a una carga distribuida uniforme W .....</i>	<i>101</i>
<i>Imagen N° 50: Cargas Axiales y Reacciones que se generan en la Viga Celosía (T. inicial).....</i>	<i>102</i>
<i>Imagen N° 51: Cargas axiales y reacciones que se generan en la Viga Celosía (T. final) .....</i>	<i>102</i>
<i>Imagen N° 52: Esquema de la barra de trepar, apoyada en el gato y empotrada en el concreto ....</i>	<i>103</i>
<i>Imagen N° 53: Comparación de costo de los encofrados - Cementos Sur.....</i>	<i>111</i>
<i>Imagen N° 54: Comparación del tiempo de ejecución - Cementos Sur .....</i>	<i>113</i>
<i>Imagen N° 55: Comparación de costo de los encofrados – UNACEM .....</i>	<i>115</i>
<i>Imagen N° 56: Comparación del tiempo de ejecución – UNACEM.....</i>	<i>116</i>

## **ABSTRACT**

Present thesis registered as a legitimate real estate property “ANALYSIS AND APPLICATION OF THE SYSTEM OF FORMWORKS: SLIDING AND METALLIC IN FRONT OF THE CONVENTIONAL FORMWORKS AT THE REGION PUNO” it aimed at analyzing and to compare the application of the sliding and metallic formworks in front of the conventional formworks, in the constructive procedure.

With the motivation to contribute a practical guide in the introduction of the use and application of these formwork systems, We did a content development, by relating theoretical concepts to the experience of its application. For better understanding of the construction procedure described each of the main parts that make formwork systems, highlighting what is currently used in our environment.

In developing the thesis a comparison of the three systems of formwork was performed, analyzing the cost, performance and productivity, of which the most economical system of formwork is established. The advantages, disadvantages and conditions of employment that presents the application of sliding forms were determined to silo-type structures compared to conventional metallic formwork and conventional system analyzing the minimum height from which profitable employment slip forms. And as example, we did the development of calculation of the three systems of formworks applied to a single-cell silo, and an array of silos.

## RESUMEN

La presente tesis titulada “ANÁLISIS Y APLICACIÓN DEL SISTEMA DE ENCOFRADOS: DESLIZANTES Y METÁLICOS FRENTE A LOS ENCOFRADOS CONVENCIONALES EN LA REGIÓN PUNO” tuvo como objetivo analizar y comparar la aplicación de los encofrados deslizantes y metálicos frente a los encofrados convencionales, en el procedimiento constructivo.

Con la motivación de contribuir una guía práctica en la introducción del uso y aplicación de estos sistemas de encofrados, realizamos el desarrollo del contenido, relacionando los conceptos teóricos con la experiencia de su aplicación. Para el mejor entendimiento del procedimiento constructivo describimos cada una de las partes principales que conforman los sistemas de encofrados, destacando lo que se emplea actualmente en nuestro medio.

En el desarrollo de la tesis se realizó una comparación de los tres sistemas de encofrados analizando el costo, rendimiento y productividad de los cuales se estableció el sistema de encofrado más económico. Se determinaron las ventajas, desventajas y condiciones de empleo que presenta la aplicación de los encofrados deslizantes a estructuras tipo silo frente a los encofrados metálicos y sistemas convencionales, analizando la altura mínima a partir del cual resulta rentable el empleo de los encofrados deslizantes. Y como ejemplo, se realizó el desarrollo de cálculo de los tres sistemas de encofrados aplicados a un silo unicelular y una batería de silos.

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo de los centros urbanos y el crecimiento industrial han ido exigiendo, cada vez más, el incremento de construcciones, pero en plazos cada vez menores, cuya realización era imposible por los métodos tradicionales de construcción. Esto conllevó a la introducción de métodos de construcción industriales, cuyo objeto fue transformar la actividad estacional en otra industrial de producción continua que asegure una productividad elevada y una reducción de costos.

En un principio, la madera fue el material predominante en los moldes estructurales, pero el desarrollo en el uso de otro tipo de materiales, junto con el aumento de uso de accesorios especializados han cambiado poco a poco la historia de los encofrados.

En la actualidad el aumento de prefabricados, el ordenamiento y el aseo en las obras y el montaje de encofrados por recursos mecánicos han obligado a que se construyan encofrados de mayor durabilidad tanto por su manipulación como para su utilidad en el mayor número de ocasiones, lo que ha obligado al uso de encofrados metálicos. Estos son más costosos pero puede ser utilizado muchas veces. Se utiliza cuando los elementos conservan las mismas dimensiones. Es muy rápido y fácil de montar. El acabado de la superficie es liso y a diferencia del encofrado de madera, no se pueden reproducir cualquier forma excepto la forma que tiene el molde. Sin embargo nuevos sistemas como son los encofrados deslizantes conducen a la reducción del costo y duración de la ejecución de las obras asegurando la industrialización de obras in situ y permitiendo construir estructuras elevadas con un único encofrado, que se eleva por si solo a una velocidad de 3 a 7 m. de altura por día pero hay muy poca bibliografía e investigación sobre estos procedimiento constructivos.

Actualmente en la Región Puno e incluso en nuestro país, la aplicación de encofrados deslizantes no ha sido muy difundida como en otras latitudes, por la limitación misma de los proyectos y la poca continuidad de obras que

permitan su aplicación. Sin embargo, teniendo en cuenta el rápido desarrollo de la construcción en nuestro país y las necesidades de las industrias que amplían y modernizan sus instalaciones, puede vaticinarse que la aplicación de los encofrados deslizantes será cada vez más frecuente y se usará sistemas mucho más sofisticados que permitan adaptarse a los requerimientos de las nuevas estructuras.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

Al no contar con un adecuado sistema de encofrado, puede ocasionar muchos problemas ya que una mala elección del tipo de encofrado nos generara retraso al momento de la ejecución del proyecto y por consecuencia mayores gastos, por ello la importancia de elegir un sistema idóneo de encofrados que esté acorde al tipo de estructura a construir ya que esto nos permitirá reducir costos, aumentar la productividad y por ende la correcta ejecución del trabajo a realizar, ya que es muy conocido los problemas que podemos afrontar al seleccionar un encofrado incorrecto, ya que puede fallar el encofrado si no se encuentra bien diseñado por muchos motivos entre ellos el peso del concreto, adherencia del concreto, entre otros.

De igual forma es importante conocer el procedimiento constructivo de los encofrados, para determinar al tipo de estructura que se pueda adaptar y fijar las ventajas o desventajas que presenta cada sistema de encofrados, pues es sabido que una mala elección nos enfrentara a un sin número de problemas que podemos prevenir, para un mejor desempeño al momento de la ejecución.

### 1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Para el presente estudio plantea la siguiente interrogante al problema:

¿En qué medida la elección del tipo de encofrado es determinante al momento de la ejecución?

1. ¿Cuál de los tres sistemas de encofrados será el más económico?

2. ¿En qué porcentaje se ampliara el rendimiento y la productividad con la aplicación de los encofrados deslizantes?
3. ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de los encofrados deslizantes y metálicos frente a los encofrados convencionales?

### **1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Analizar y comparar la aplicación de los encofrados deslizantes y metálicos frente a los encofrados convencionales, en el procedimiento constructivo.

#### **1.3.2. OBJETIVO ESPECÍFICOS**

1. Determinar el costo de los sistemas de encofrados deslizantes y metálicos en comparación a los encofrados convencionales y establecer cuál de ellos será el más económico.
2. Evaluar su aporte en la construcción en cuanto a rendimiento y aumento de la productividad, aplicando sistemas de encofrados deslizantes y metálicos.
3. Determinar las ventajas y desventajas de los encofrados deslizantes y metálicos frente a los encofrados convencionales.

### **1.4. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS**

#### **1.4.1. HIPÓTESIS GENERAL**

Al realizar el análisis y comparación de la aplicación de los encofrados deslizantes y metálicos frente a los encofrados convencionales nos mostrara un mejor panorama en cuanto a la productividad y procedimientos en el empleo de nuevas técnicas, lo cual nos ayudara a

realizar mejores procedimientos y mucho más idóneas en el proceso constructivo.

#### **1.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**

1. Se reducirán costos aplicando sistemas de encofrados deslizantes en comparación a los encofrados metálicos y convencionales.
2. El porcentaje de rendimiento y productividad será mayor aplicando sistemas de encofrados deslizantes.
3. Los encofrados deslizantes nos ofrecerán mejores ventajas que los encofrados metálicos y convencionales.

#### **1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

La importancia del presente trabajo de investigación es dar un aporte con conocimientos técnicos y profesionales sobre el tema. El estado actual de desarrollo de la sociedad contemporánea exige construcciones cada vez más numerosas en plazos cada vez menores, esto ha conducido a la introducción e innovación de nuevos métodos de construcción, cuyo objeto es transformar la actividad estacional en otra industria de producción continua, caracterizada por una cadena tecnológica de productividad elevada, con una exigencia reducida de materiales e inversiones.

Con tal propósito se busca la reducción de costos, acelerar el procedimiento constructivo y optimizar el tiempo de ejecución; es por ello que se plantea la sustitución del encofrado convencional en la construcción con otros sistemas de mayor eficiencia como son los sistemas de encofrados deslizantes y metálicos.

Es por ello que es una buena opción la utilización de los encofrados deslizantes, asegurándonos la industrialización de la ejecución de

obras in situ, permitiendo construir torres elevadas, con un único encofrado, de igual forma la gran duración de los encofrados metálicos es una buena opción que se debe tener en cuenta al momento de la elección del tipo de encofrado.

## **1.6. LIMITACIONES**

Las limitaciones que se presentaron durante el proceso de investigación es básicamente de tipo económico, porque requiere de materiales y espacio determinado para llevar a cabo dicha investigación. Además los modelos siempre son puntuales para cada fenómeno, puesto que cada carretera tiene sus propias particularidades en su tráfico, tipo de vía, etc.,

## **1.7. VIABILIDAD DEL ESTUDIO**

El estudio del ANÁLISIS Y APLICACIÓN DEL SISTEMA DE ENCOFRADOS: DESLIZANTES Y METÁLICOS FRENTE A LOS ENCOFRADOS CONVENCIONALES EN LA REGIÓN PUNO es viable, ya que es necesario este tipo de estudios para poder plantear propuestas reales de diseño que no generen alteración del comportamiento estructural de los encofrados.

En el estudio se describirá el procedimiento constructivo de cada una de las partes principales que conforman los sistemas de encofrados, destacando lo que se emplea actualmente en nuestro medio.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

##### **Antecedente Nro. 01**

Vintimilla, (2012), realizó la investigación: La influencia de los encofrados deslizantes en la construcción de las torres de un puente, en la Universidad Técnica de Ambato – Ecuador.

##### **Resumen**

Este trabajo se enfoca en la importancia de los encofrados deslizantes para la construcción de las torres de un puente dando un aporte con conocimientos técnicos y profesionales sobre el tema. El estado actual de desarrollo de la sociedad contemporánea exige construcciones cada vez más numerosas en plazos cada vez menores, esto ha conducido a la introducción de métodos de construcción nuevos, cuyo objeto es modificar la actividad estacional en otra industria de producción acelerada, caracterizada por una cadena tecnológica de productividad elevada, con una exigencia reducida de materiales e inversiones; es por esta razón que se ha diseñado un sistema deslizante auto-trepante que ayude a reducir estos costos e inversiones en la actualidad.

##### **Conclusiones:**

1. No existe una solución general para elegir cual encofrado es mejor, para cada proyecto en particular debe de realizarse un análisis para determinar que encofrado usar.
2. El encofrado deslizante es un sistema que se eleva de forma prácticamente continua todo el conjunto, realizando las labores de puesta en obra de los materiales de forma continua, de tal manera que se realizan capas de hormigón de 20 a 30 cm, con periodos entre capas de 1 a 2 horas con hormigones estudiados para una velocidad de fraguado de entre 4 y 6 horas.

3. Gracias a la velocidad de construcción el encofrado deslizante permite disminuir los plazos de la obra completa; reduciendo el costo financiero del proyecto y generando beneficios en forma anticipada.

### **Antecedente Nro. 02**

Pinao, (2011), realizó la investigación: Aplicación de Encofrados Deslizantes en Estructuras Verticales, en la Pontificia Universidad Católica – Perú.

### **Resumen**

La presente tesis pretende hacer un resumen del procedimiento constructivo con encofrados deslizantes aplicados a estructuras verticales y dar una información práctica sobre cómo se vienen ejecutando las obras con encofrados deslizantes en el Perú en los últimos años. Con la noción de contribuir con una guía práctica en la introducción del uso y aplicación de los encofrados deslizantes, se hace un desarrollo de los contenidos, relacionando los conceptos teóricos con la experiencia en su aplicación en las últimas obras realizadas.

Como lo sintetiza el título, se va a desarrollar la aplicación de los encofrados deslizantes a estructuras verticales con paredes de espesor constante en la altura y que en algunos casos particulares presenta variación de su espesor por escalones.

### **Conclusiones:**

1. Se recomienda aplicar los encofrados deslizantes a la construcción de edificios multifamiliares de más de siete plantas, cuya estructura este constituida por placas de concreto armado de 15 cm de espesor y cuya sección en planta sea uniforme en la altura, teniendo en cuenta las consideraciones que se han indicado.

2. Para estructuras de gran altura, se recomienda usar una grúa torre, para facilitar el suministro del acero de refuerzo y el concreto.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. RESEÑA HISTÓRICA DE LOS ENCOFRADOS**

Podemos situarlo en un contexto bastante antiguo el uso y la construcción del encofrado, si bien el encofrado moderno, flexible a los cambios estructurales y climáticos, como hoy lo conocemos fue ideado en 1950. Es importante describir que cuando se habla de encofrados no solo se refiere al utilizado en arquitectura, diseño y construcción de obra.

Existen diferentes usos y tipos de encofrados. Desde el conocido en construcción destinado a estructura de mampostería y cerramientos de lozas, hasta el encofrado arcilloso que se utiliza para recubrir piezas de incalculable valor en orfebrería.

El uso que ha ido adoptando, así como la tipología que ha ido evolucionando será visto a continuación:

#### **2.2.1.1. Época Romana y Medieval**

Si hacemos un poco de historia nos remontamos hasta los egipcios quienes ya utilizaban una especie de yeso calcinado que aportaba a las construcciones un acabado y utilización para rellenar con material. Si más no, consistía en el sistema más rudimentario pero primogénito.

La misma utilidad le dieron los griegos. Lo utilizaron a pequeña escala y para uso cotidiano, encontrando pues ínfimas intervenciones en la construcción o en general como lo conocemos nosotros. Mas era su uso para crear objetos, vasijas, cuencos, adornos, etc. que otro aspecto formal. Así su uso más extendido resulta ser la de moldes.

No fue hasta la revolución que se supuso que el imperio Romano no había evolucionado esta técnica como hoy en día lo conocemos.

Los arquitectos romanos construyeron las primeras estructuras de hormigón en masa que lo podemos considerar como el propulsor de la construcción mediante encofrados. Como el hormigón no puede absorber grandes esfuerzos de tracción y torsión, estas primeras estructuras fueron arcos, bóvedas y cúpulas, que funcionan solamente a compresión.

Podemos decir que las primeras intervenciones de los encofrados en la construcción y la arquitectura pretendían solventar elementos estructurales complejos para la época y solo podían solventarse como hormigón en masas; elementos a compresión.



Imagen Nº 1: Yeso Calcinado – utilizado por los egipcios para encofrar – a.c.

Fueron los romanos con la construcción del Panteón, los que consiguieron la mayor luz en una edificación con 44 m, la cual no fue superada hasta el siglo XIX. También introdujeron la utilización de hierro y bronce conjuntamente con el hormigón, aunque no como se hace actualmente, utilizaban refuerzos de estos materiales en las zonas de los arcos más sometidas a tracción. Es importante destacar que en este momento ya surge el concepto de encofrado, para dar forma al hormigón, aunque esto se conseguía con ladrillos que formarían un encofrado permanente y pasarían a formar parte de la fachada en numerosas ocasiones.

La estructura de hormigón más notable de esta etapa es la cúpula del Panteón de Roma (imagen 2). Los encofrados se hicieron con andamiajes y encofrados temporales con la forma de la futura estructura. Estos elementos auxiliares de construcción no solo sirven para verter el hormigón, también han sido y son muy utilizados en otros trabajos de albañilería.



Imagen Nº 2: Cúpula del Panteon de Roma

Podemos empezar a apreciar la connotación estética que adquirió del uso cotidiano de los moldes. De esta manera empieza a acercarse a la finalidad que caracterizó a principio del siglo XVIII y que fue parte propulsora de la arquitectura del hormigón; la piedra artificial.

Para el hormigón, los romanos utilizaban yeso y cal como aglomerantes, además de un cemento natural obtenido de la piedra de Puzzoli. Llamado puzolana, pero no es un mineral fácil de obtener en otros lugares, por lo que no se volvió a utilizar el hormigón como sistema de construcción, hasta la invención del cemento portland: el hormigón armado no podía hacerse con los demás aglomerantes puestos que atacan el hierro de las armaduras oxidándolo.

Como era acostumbrado, los romanos llevaron con sus conquistas también su cultura. La técnica del encofrado se extendió también por los pueblos a los que invadían, propiciando la expansión de los nuevos sistemas de construcción que fueron evolucionando.

Con la caída del imperio romano el hormigón paso a un segundo plano, por tanto se frenó su expansión y desarrollo hasta finales del siglo XVIII y su re-descubrimiento moderno.

### **2.2.1.2. Época Moderna**

El gran propulsor del uso de los encofrados ha sido y actualmente es el hormigón, y como tal no podemos entender su evolución sin entender el nacimiento del hormigón tal y como lo conocemos.

Durante la época Medieval no hubo una evolución en el uso de los encofrados, podemos hablar de un estancamiento respecto a los progresos que supuso su utilización en el imperio Romano. Su continuo retorno a estilos de épocas pasadas propicio un refinamiento en el sistema de construcción con piedra relevando los sistemas de encofrados al mismo uso que se originó en la construcción: arcos, bóvedas y cúpulas.

Podemos verdaderamente hablar de evolución en el Siglo XVII (finales) y de revolución de la construcción a partir del siglo XIX.

El verdadero propulsor, como lo fue el descubrimiento de cemento natural y artificial, comúnmente conocido como Portland, Smeaton y posteriormente Parker, encargado de comercializar los primeros cementos artificiales: Parker, realizaron gran cantidad de estudios referentes al comportamiento de estos nuevos materiales que propiciaron posteriormente la aparición de los hornos Hoffman y hornos giratorios que sirvieron para conseguir resultados más óptimos en la producción de cemento.

La piedra natural consigue insertarse muy bien en la sociedad para simular grandes trabajos con piedra de verdad pero mediante moldes. Gracias a su similitud con la piedra y el mármol crece una industria que

se asienta bastante bien en la decoración, desvinculándose bastante de la construcción encargada de satisfacer la producción de elementos estructurales.

Con la aparición de este nuevo material, multitud de arquitectos y artistas comenzaron a experimentar con él, llegando así a aparecer, en 1870, los primeros patentes sistemas de construcción de hormigón armado: Patente Monie y Hennebique.

Estas patentes que ofrecían un producto nuevo, mixto, compuesto de hormigón y hierro requerían de un sistema de producción estandarizado y global, que permitiera poder reproducir los productos de manera exacta. Aquí es donde intervienen nuevamente los encofrados, en los inicios de una revolución en el mundo de la arquitectura.

Junto a estos patentes y continuos estudios llevados mayoritariamente por Alemania, se empieza a difundir la construcción con hormigón armado y se empiezan a buscar nuevos sistemas de encofrado para llevar a cabo los proyectos que se olvidaban sobre el papel: Nace la necesidad de una especialización de los encofrados.

A partir del siglo XIX hay un profundo estudio de las capacidades y límites a los que se pudo llegar con el hormigón armado, tanto con elementos verticales como horizontales. Empiezan las primeras construcciones integrales en hormigón y el uso de encofrados se expande a cualquier parte del edificio; encofrados verticales, horizontales, personalizados. El movimiento Modernista, que huye de Eclecticismo de principios de la Edad moderna encuentra en la construcción con hormigón armado la racionalidad de los materiales y la técnica.

Podemos decir que la evolución de los encofrados viene de parte de los ingenieros, sobretodo de l'écoledu Ponts et Chaussers de Francia,

donde había una gran tradición de construcción con tapial, pero los que realmente crean la tendencia y la necesidad son los arquitectos que empiezan a insertar la mentalidad de olvidar los adornos y ofrecer una arquitectura libre, sin esconder la estructura. Un claro ejemplo es Le Corbusier.

Entendemos pues que los principales propulsores del mundo moderno en sus inicios fueron el hormigón armado y el nuevo corriente de pensamiento, el modernismo impulsado por arquitectos e ingenieros, que apoyado en el racionalismo del proceso industrial y del estudio de los materiales llegaron a sintetizar un sistema revolucionario que se basaba en los encofrados; la arquitectura del hormigón armado.



Imagen N° 3: Estructura Aporcionada

Bajo este prima empiezan a nacer los sistemas perfeccionados de encofrados como las losas de encofrados, seguridad, utilización de otros materiales así como la evolución de otros elementos característicos de los encofrados; puntales, planchas de acabado, reutilización.

Su uso queda claramente patente en las construcciones de los Rascacielos, Insignia de la época Contemporánea.

### **2.2.1.3. Época Contemporánea**

Tenemos que los actuales encofrados ofrecen una fácil y rápida solución para construir elementos de arquitectura modulares como pueden ser muros u otros elementos de estructuras como si fueran una base.

Se pueden hacer prácticamente las formas que se desee mediante los encofrados modulares que permiten adaptar la construcción como se desee.

En la actualidad, debido a las propiedades que ofrece la construcción con hormigón, y debido a su rápida ejecución, el uso del sistema de encofrados ha liderado el sector de la construcción haciendo una verdadera disciplina del antiguo sistema auxiliar; el encofrado.

Con el paso del tiempo, la construcción integra de hormigón dejó paso al perfeccionamiento del trabajo del acero y su industrialización, adoptándose el acero como material eficiente en las construcciones medianas – grandes debido a su alta eficiencia y su rápido montaje.

El uso del hormigón armado ha quedado mermado desde este punto de vista, pero ampliamente extendido para hacer estructuras como son pilares, losas, muros, grandes infraestructuras como puentes, presas, canales, etc.

Así pues podemos considerar que el asentamiento del uso de encofrados va directamente ligado con el uso del hormigón armado en la construcción y como su extendido uso nos revela, el sistema de encofrados se ha posesionado en la actualidad como una herramienta básica y necesaria para realizar los actuales proyectos.

La inserción de los encofrados en el mundo de la construcción es tal que ha llegado incluso a modificar la concepción de la proyección en la

arquitectura, adaptándose así más a lo que se puede hacer con los encofrados que lo que el proyecto pueda requerir de ellos. En cualquier caso, la variedad de sistemas y tipos de encofrados es tan grande que fácilmente se puede adoptar una solución constructiva que se pueda ejecutar con encofrados.



Imagen N° 4: Torre de Televisión-Canadá.

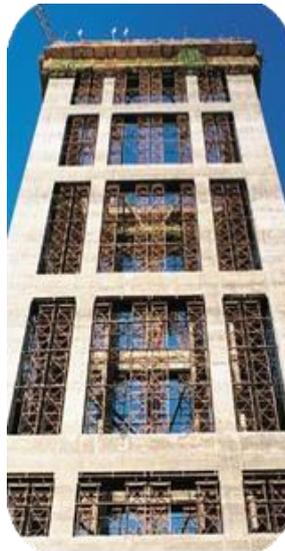


Imagen N° 5: Estructura Aporticada



Imagen N° 6: Torre - cataratas del Niágara.

#### 2.2.1.4. Evolución

En la actualidad se han perfeccionado los sistemas de encofrados que han ido apareciendo durante la época moderna pero han evolucionado más en el aspecto técnico como en el económico. La inserción de la seguridad como un aspecto fundamental de la construcción es un aspecto puramente contemporáneo que no se ha tenido presente hasta hace relativamente poco.

Otro aspecto que se ha mejorado mucho desde el prisma técnico es la ejecución, facilitando el proceso e industrializándolo para ofrecer una mayor eficiencia práctica. La inserción de nuevos materiales como el aluminio ha aportado durabilidad a los sistemas así como ligereza y flexibilidad a la hora de montarlos.

Pero desde sus inicios ha evolucionado mucho desde diversas vertientes.

Las primeras obras en las que se emplearon encofrados deslizantes fueron silos, en 1903, en Estados Unidos. Después en 1924, en Alemania y más tarde en la Ex-Unión Soviética; siguieron con cortos intervalos, depósitos elevados de agua (Alemania, 1931), chimeneas de fábrica de forma cilíndrica (Alemania, 1932), presas (Alemania, 1933), faros (Alemania, 1939), infraestructuras de puentes, torres de televisión, salas de máquinas, estructuras de edificios industriales, etc. (“Dinescuetal, 1970”).

En nuestro país el uso de encofrados deslizantes para construcciones de concreto armado se inicia en nuestro país en el año 1954 (Gallegos, 1992), siendo la empresa “Cillóniz Olazábal Urquiaga S.A (COUSA)” quien con autorización de la firma B.

M. Heede, propietaria de la patente, introdujo la gatas hidráulicas (Sistema “C” Concretor) seis años después de su empleo en los Estados Unidos. La primera gran obra que se realizó con este sistema de elevación fueron los Silos para granos en el terminal marítimo del Callao en el año de 1955; dicha obra consta de una batería de 16 silos (celdas) circulares de 8 m. de diámetro y 33.80 m. de altura; y además, en la parte delantera lleva un edificio de cabecera de 64.80 m. de altura dividido en seis pisos.

### **2.2.2. SISTEMAS DE ENCOFRADOS EN LA CONSTRUCCIÓN**

Los sistemas de construcción es otro aspecto que ha permitido evolucionar notablemente los encofrados, adaptándose a las necesidades del mundo de la construcción.

Inicialmente solo se disponía de tablonés que se apuntalaban mediante clavos, anclajes o estribos. Con el paso del tiempo, según las

necesidades se han creado encofrados específicos para la realización de zapatas, muros, pilares, losas.

Sobre todo con la inserción del metal en los encofrados, se ha permitido la aplicación de la ingeniería para crear módulos adaptables que permite una integración perfecta entre piezas de encofrados. Permitiendo así la creación de encofrados específicos comentados anteriormente para la realización de pilares, muros, etc.

Sobre todo el aspecto que ha mejorado son las uniones y continuidad, así como el montaje, que ha adquirido una mecánica sistemática en su ejecución con el afán de conseguir un sistema generalizado.

A tal nivel ha llegado la especialización que el sistema de montaje se ha optimizado de manera considerable reduciendo el tiempo requerido de montaje por el operario a más de la mitad del necesario antiguamente y la cantidad de operarios montando.

Pero no únicamente en el campo de construcción de sistemas tradicionales ha evolucionado. La adaptación de los encofrados según las necesidades ha permitido crear en si sistemas para la realización de estructuras que resultaban costosas de una manera sencilla. Un claro ejemplo son los sistemas de encofrados deslizantes que permite la realización de estructuras de gran altura de una manera constante y sistemática obteniendo unos resultados impecables.

Gracias a su factibilidad de adaptarse ha conseguido insertarse de manera necesaria en la construcción de infraestructuras.



Imagen N° 7:  
Encofrado de Madera



Imagen N° 8:  
Encofrado Metálico



Imagen N° 9:  
Encofrado Deslizante

### **2.2.2.1. Materiales de los encofrados**

Este es uno de los factores que más ha repercutido en general a los encofrados. Desde su inicio en la construcción, los encofrados se han servido de la madera como material primario. Para las primeras obras se obtenía un resultado tosco y se perdían como material pero no eran mucho más sofisticados los sistemas de los que se disponía.

Posteriormente el uso de la madera ha quedado relevado para obtener texturas en la superficie del hormigón o como material suplementario (mixto) de los que se componen los encofrados.

La verdadera revolución fue la inserción del metal en los encofrados, permitiendo hacer planchas que otorgan un acabado superior y permitían una durabilidad a la estructura considerable al reducir su porosidad.

El otro aspecto a analizar fue el aumento del coste en su producción pero una amortización debido a la creación de un sistema recuperable que permitía su reutilización. Con el paso del tiempo hasta la actualidad, se han ido mejorando materiales y se ha establecido el uso del aluminio como material base, debido a su ligereza, resistencia y

durabilidad, amortizando aún más la producción de estos sistemas, aparte de la facilidad para montar estos sistemas.

Aun así, aún existe la utilización de la madera, como compuesto de productos mixtos, en encofrados flexibles que permiten adaptar la forma deseada del proyecto, sobre todo cuando se busca crear curvas.

#### **a. Madera**

La Madera es una sustancia dura y de gran resistencia que constituye el tronco de los árboles y se ha utilizado durante miles de años como combustible y como material de construcción. Cuando el hombre empezó a trabajar con metales, aumentaron las posibilidades de usos ya que estos permitían su apogeo y labra.

El aspecto de la madera es una de las propiedades más importantes cuando se utiliza para decoración, revestimiento o fabricación de muebles. Algunas maderas, como la de nogal, presentan vetas rectas y paralelas de color oscuro que le dan una apariencia muy atractiva, lo que unido a su dureza la sitúan entre las más adecuadas para hacer chapado. Las irregularidades de las vetas pueden crear atractivos dibujos, por lo que a veces la madera se corta a propósito en planos oblicuos para producir dibujos ondulados y entrelazados. En la naturaleza encontramos una gran variedad de maderas, las cuales dependiendo del árbol del cual se obtengan, se clasifican en duras y blandas.

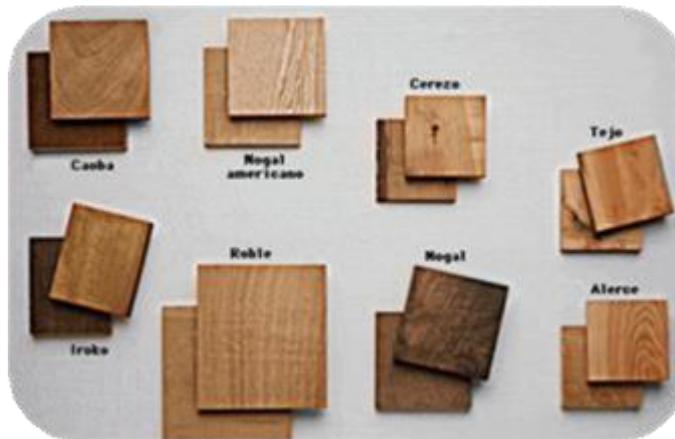


Imagen N° 10: Tipos de Madera

Entre las principales maderas duras tenemos:

### **Madera tornillo**

La madera Tornillo proviene de un árbol recto y cilíndrico que tiene una altura de 25 m (uso comercial) a 40 m, con un diámetro de 1 m, la madera consiste de pequeños tubos dispuestos verticalmente en el tronco, que transportan agua y los minerales, es por ello que al cortar el tronco en paralelo a su eje, la madera tiene vetas rectas. Sin embargo, En algunos árboles, los conductos están dispuestos de forma helicoidal, es decir, enrollados alrededor del eje del tronco, un corte de este tronco producirá madera con vetas cruzadas.

El Tornillo es una madera medianamente pesada, presenta contracciones lineales media y contracción volumétrica estable y la resistencia mecánica se sitúa en el límite de la categoría media, asimismo, presenta una sustancia dura y resistente, se ha utilizado como material de construcción de viviendas, usada en pisos, estructuras de casa, armaduras, vigas, carpintería de interiores, artesanía y en la fabricación de puertas, ventanas y carrocerías.

### **Roble**

Es de color pardo amarillento. Es una de las mejores maderas que se conocen; muy resistentes y duraderos. Se utiliza en muebles de calidad.

### **Nogal**

Es una de las maderas más nobles y apreciadas en todo el mundo. Se emplea en mueble y decoración de lujo.

### **Cerezo**

Su madera es muy apreciada para la construcción de muebles. Es muy delicada porque es propensa a sufrir alteraciones y a la carcoma.

### **Encina**

De color oscuro. Tiene una gran dureza y es difícil de trabajar. Es la madera utilizada en la construcción de cajas de cepillo y garlopas.

### **Castaño**

Se emplea, actualmente, en la construcción de puertas de muebles de cocina. Su madera es fuerte y elástica.

Entre las principales maderas blandas tenemos:

### **Álamo**

Es poco resistente a la humedad y a la carcoma.

### **Abedul**

Árbol de madera amarillenta o blanco-rojiza, elástica, no duradera, empleada en la fabricación de pipas, cajas, zuecos, etc. Su corteza se emplea para fabricar calzados, cestas, cajas, etc.

### **Aliso**

Su madera se emplea en ebanistería, tornería y en carpintería, así como en la fabricación de objetos de pequeño tamaño. De su corteza se obtienen taninos.

## **b. Metal**

### **Acero**

El acero es una aleación de hierro con pequeñas cantidades de otros elementos, es decir, hierro combinado con un 1% aproximadamente de carbono, y que hecho ascua y sumergido en agua fría adquiere por el temple gran dureza y elasticidad.

Hay aceros especiales que contienen además, en pequeñísima proporción, cromo, níquel, titanio, wolframio o vanadio. Se caracteriza por su gran resistencia, contrariamente a lo que ocurre con el hierro. Este resiste muy poco la deformación plástica, por estar constituida solo con cristales de ferrita; cuando se alea con carbono, se forman estructuras cristalinas diferentes, que permiten un gran incremento de su resistencia. Ésta cualidad del acero y la abundancia de hierro le colocan en un lugar preeminente, constituyendo el material básico del S.XX. Un 92% de todo el acero es simple acero al carbono; el resto es acero aleado: aleaciones de hierro con carbono y otros elementos tales como magnesio, níquel, cromo, molibdeno y vanadio.

El acero forma una parte mínima de los encofrados, se encuentra presente a través del alambre galvanizado y los clavos, los cuales le dan estabilidad al encofrado y permiten mantener la madera fija, evitando de esta forma que se deforme o se altere la forma original del elemento que se va a fundir.

### **Aluminio**

Es el metal más abundante en la corteza terrestre, especialmente en forma de silicatos. Es de color blanco, ligero, blando, dúctil y de elevada conductividad. Se obtiene por electrolisis a partir de la bauxita.

Los encofrados de aluminio constituyen un sistema constructivo ideal para la construcción masiva de viviendas tanto para proyectos unifamiliares como multifamiliares. Dichos encofrados permiten la

construcción de unidades en concreto sólido, lo cual constituye una alternativa rentable, cuyas propiedades y beneficios son ilimitados. Bajo este sistema se reduce el tiempo de construcción, no requiere de equipos pesados para su movilización debido a lo liviano de sus componentes (el panel estándar promedio pesa 32 kg.) y se usan pocas herramientas para su armado.

### **2.2.3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ENCOFRADOS CONVENCIONALES**

Cuando se realiza una construcción se vuelve necesaria la utilización de los encofrados para mantener la forma de los elementos que conforman cada una de las partes de la obra.

Actualmente, dependiendo de la magnitud e importancia de la obra se pueden utilizar varios tipos de encofrados, pero el material que sigue siendo más común y el más utilizado, es la madera.



Imagen N° 11: Encofrado de la Iglesia Nuestra Señora de la Merced – Puno - 2013.

En los encofrados de madera el revestimiento se realiza en el sitio utilizando como material de fabricación las tablas de madera y madera contrachapada o aglomerado resistente a la humedad. Es fácil de

producir, muy utilizada en obras pequeñas y medianas donde los costes de la mano de obra son menores que los del alquiler de encofrado, por contra la madera contrachapada tiene una vida útil relativamente corta. Además es utilizado en obras que aunque grandes, tienen diseños muy específicos y únicos para los cuales no se encuentran encofrados prefabricados en el mercado, en este tipo de construcciones se combina el uso de encofrados a medida hechos en madera, con los estandarizados que se alquilan como por ejemplo con puntales y viguetas extensibles.

El acabado de la superficie varía dependiendo del acabado de la madera.

### 2.2.3.1. Partes principales de los encofrados convencionales.



Imagen Nº 12: Partes del Encofrado de Madera

#### a. Barrotes o traviesas

Barra gruesa y fuerte, normalmente de hierro o madera, que sirve para afianzar o reforzar una cosa, elementos que impiden que se deforme el

molde. La separación de las traviesas, va en función directa de las presiones, que estas tengan que resistir.

#### **b. Puntales de madera**

Encargadas dentro de la construcción de soportar y transmitir las cargas al suelo tanto de los encofrados como de la estructura mientras esta obtiene la resistencia requerida. Si se les colocan unos travesaños en su parte superior junto con dos piezas de arriostramiento que lo refuerzan se les da el nombre de muletas. Estos se usan generalmente para soportar vigas medianas.

#### **c. Tabla o paneles de encofrado**

Elementos, habitualmente de madera, que se emplean para cubrir el área donde se vierte el hormigón in situ, formando una superficie lisa y resistente para la fase del fraguado del hormigón. Sus dimensiones y geometría serán variables, en función de la geometría del forjado o losa. Cabe destacar que existen actualmente en el mercado una amplia gama de tableros, con los que conseguir el acabado y la textura necesaria en obra y otros reforzados obteniendo un aumento de su resistencia a flexión, con lo que la flecha bajo carga de hormigón se reduce notablemente.

#### **d. Caballete**

Elemento indispensable para la seguridad del operario en el momento de hormigonar el muro, tanto en el vertido como en la vibración del hormigón "in situ". La consola de trabajo tendrá una anchura mínima de 60cm y se evitará el riesgo de caídas en altura mediante sistemas de protección de borde, que cumplan con la norma UNE-EN 13374, formados por: barandilla superior, intermedia y rodapié.

#### **e. Estaca**

Sujetador que sirve de apoyo para el no desplazamiento de los puntales el cual esta empotrado en el suelo.

#### **f. Brida**

Es el elemento que une dos componentes de un sistema de paneles metálicos, permitiendo ser desmontado sin operaciones destructivas, gracias a una circunferencia de agujeros a través de los cuales montan pernos de unión.

Pieza que se abraza a un objeto para asegurarlo o unir las piezas que lo componen con tornillos, clavos o perno.

#### **g. Sopanda**

Pieza horizontal dispuesta adosada a la cara inferior de una viga, para evitar la flexión de esta cuando el espacio entre los muros en que se apoya es grande. La sopanda debe apoyarse a su vez sobre otras dos piezas inclinadas o jabalcones, que descansan sobre los muros y que impiden la deformación del sistema.

#### **h. Estabilizadores y/o Tornapunta**

Elemento principal para estabilizar y aplomar las pantallas de encofrado, tanto rectas como curvas, frente a las acciones del hormigón.

### **2.2.4. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ENCOFRADOS METÁLICOS.**

Con el correr del tiempo, la tecnología y el proceso de industrialización fueron ganando terreno al trabajo artesanal, y los encofrados no escaparon a esta realidad. La necesidad por un lado de conseguir

materiales que fuesen más resistentes; y por otro, la necesidad de proteger los bosques, hizo que aparecieran en el mercado el sistema de encofrados metálicos.



Imagen N° 13: Encofrado metálico, súper mercado Plaza Vea – Puno – 2011.

El encofrado metálico, como su nombre indica, está compuesto por cierto número de piezas rígidas, que sólo pueden adaptarse a una forma exclusiva. De ahí su «limitación» en cuanto a la multiplicidad de formas a dar con un solo elemento o tablero, tal como ya vimos en los encofrados de madera, que son susceptibles de emplearlos en diversidad de piezas, cortando, añadiendo, clavando, etc. En cambio, en el encofrado metálico, por su naturaleza, cada pieza sólo sirve para la clase de molde para la cual ha sido proyectada, no pudiendo aprovecharla, salvo algún caso excepcional, en otro elemento distinto.

Estos son más costosos pero puede ser utilizado muchas veces y a la larga resulta más económica. Se utiliza cuando los elementos conservan las mismas dimensiones. Es muy rápido y fácil de montar de ahí su gran ventaja en comparación a los otros sistemas de encofrados. El acabado de la superficie es liso y a diferencia del

encofrado de madera, no se pueden reproducir cualquier forma excepto la forma que tiene el molde.

#### 2.2.4.1. Partes principales de los encofrados metálicos.

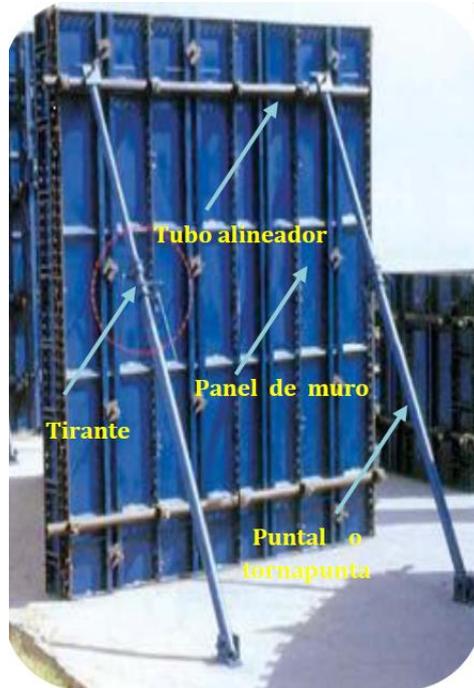


Imagen N° 14: Partes del Encofrado Metálico



Imagen N° 15: Partes del sistema Losa

##### a. Paneles de muro

Sirve de complemento a la formaleta estándar para la altura total del muro exterior. La ventaja de utilizar este tipo de configuración radica en la formaleta, la cual podrá ser adaptada más fácilmente a proyectos futuros.

##### b. Puntal o tornapunta

Son elementos esbeltos de madera o metal, que se orientan verticalmente. Se utilizan para transmitir las cargas a un estrato firme. Soportan fuerza axial. Se utilizan principalmente en losas y vigas.

El apuntalamiento de acero deberá tener un factor de seguridad no menor al 2.5; los empalmes de los puntales deben hacerse a tope y con cubrejuntas, se colocaran 4 para la sección rectangular, dichas

cubrejuntas no deberán ser inferiores a siete veces la menor dimensión transversal por empalmar.

La cantidad de puntales empalmados no superara el 20% del total distribuidos equitativamente entre los puntales sin empalmar, estos no deberán llevar empalmes en el tercio central.

La separación máxima entre puntales es de 1.50m. esta distancia puede variar según el peso a soportar, pero en ningún caso menor a la indicada.

### **c. Tubo alineador**

Es un elemento que tiene la función de alinear algunas partes como por ejemplo los paneles del encofrado.

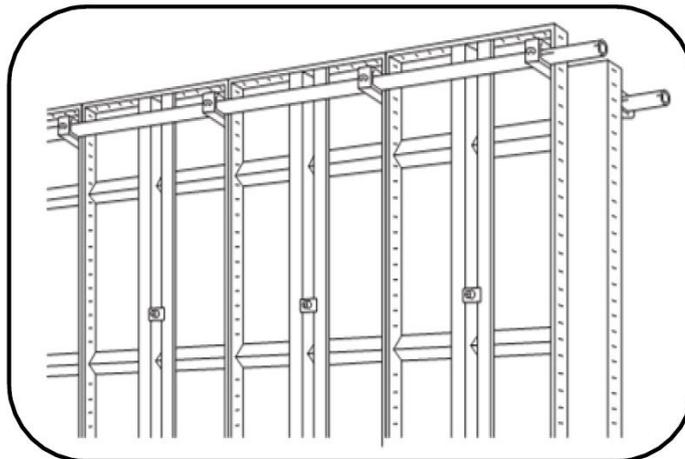


Imagen N° 16: Tubo alineador

### **d. Tirante**

Tirante metálico en tensión que se emplea para evitar la separación del hormigón en un encofrado como resultado de la presión hidrostática del hormigón recién vertido.

Está compuesto por:

- Tensor de 12 mm. de paso.

- Tuerca.
- Golilla.
- Tubo plástico (separador).
- Cono plástico.



Imagen N° 17: Tirante metálico

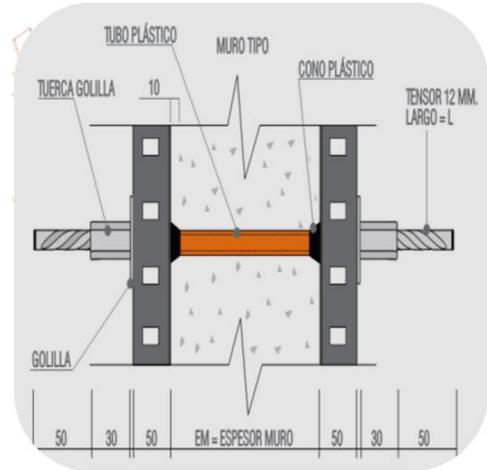


Imagen N° 18: Partes del tirante

### e. Losas de apuntalamiento

La función es mantener la losa apuntalada durante y después del vaciado.

### f. Viga longitudinal de encofrado para losa

Elementos metálicos encargados de transmitir y distribuir las presiones ejercidas en los paneles de encofrado, por el efecto de la contención del hormigón vertido o proyectado, hasta que éste adquiera la resistencia característica mínima para ser auto estable, a las vigas metálicas curvas más externas que conforman el carro de encofrado.

### g. Tablero de losa

Su función es la de soportar el concreto después del vaciado

### h. Base para gatos

Accesorios que se utiliza para mantener nivelado el encofrado en el momento del vaciado del concreto (fundición). Van instalados en la

intersección o junta de 3 o 4 paneles de losa. Estos accesorios son removibles en el momento que se realiza el desencofrado de la losa.



Imagen N° 19: Base para gatos - nivelador

#### **i. Refuerzo central**

Son las encargadas de proporcionar estabilidad y garantizar mayor seguridad a las piezas que conforman los encofrados ya sea a los moldes o puntales.

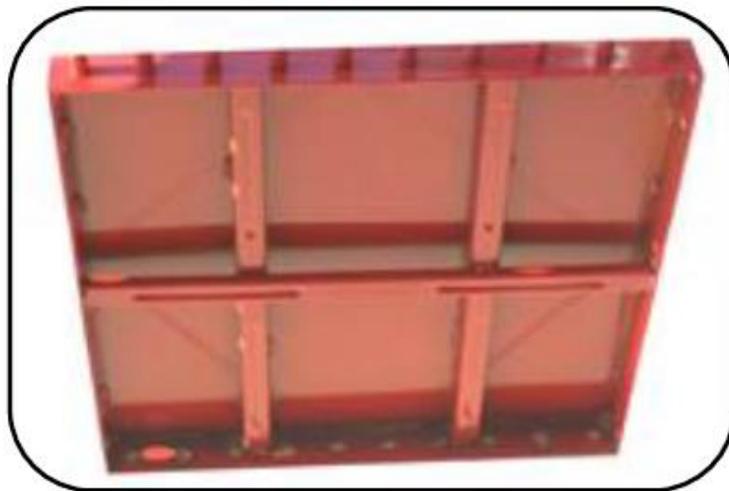


Imagen N° 20: Refuerzo para muro

#### **j. Escuadras de cierre**

Elemento principal para la estabilización del muro a una cara, que tiene la función de unir o cerrar uno o más elementos de la esquina de arriba de la columna descargando la presión de hormigonado a los cimientos.

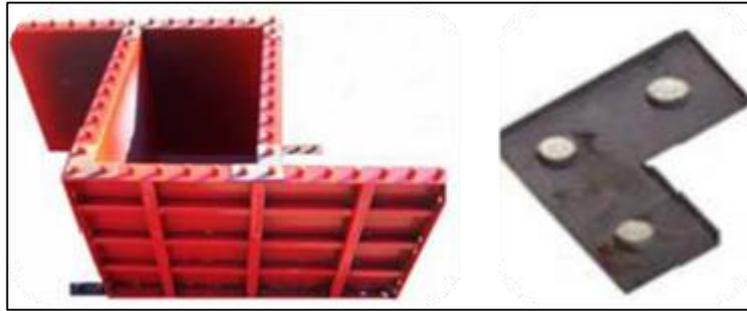


Imagen N° 21: Escuadra de cierre para elementos de los encofrados

### **k. Arranque o base**

Son elementos colocados perpendicularmente uno contra otro y sobre los cuales apoyan los moldes de las losas y vigas de gran tamaño.

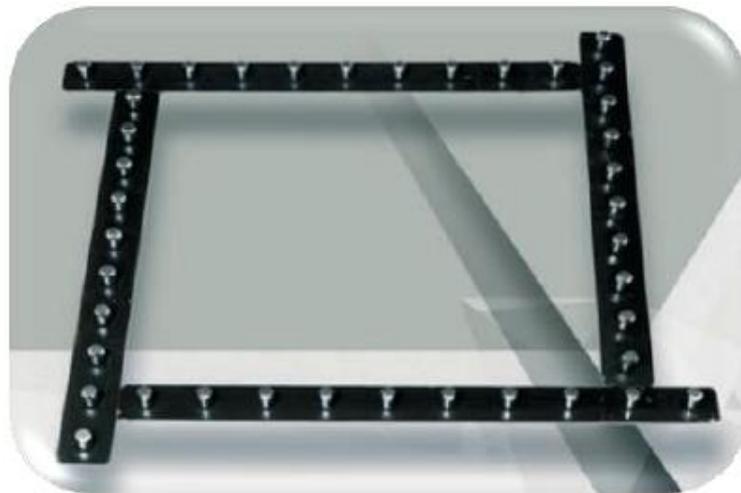


Imagen N° 22: Sujetador Dercons

### **l. Bulón – cuña con cadena**

Asegura la sujeción de paneles. Su acabado galvanizado es una barrera protectora que le asegura una mayor duración.



Imagen N° 23: Accesorios - Sujetador de paneles

### m. Pasadores y cuñas

Accesorio que en conjunto con la cuña sirve para la sujeción de paneles de muro entre sí, con angulares, esquineros de muro y tapa muros; así como para la sujeción básica de paneles de losa. Su forma curva permite insertarla fácilmente disminuyendo el riesgo de daño de la formaleta. Por su trabajo exigente, se recomienda su revisión y cambio cada 250 usos. Si su desgaste es excesivo y no ajusta con el pasador, se deben cambiar.



Imagen N° 24: Tipos de pasadores

### n. Grampa

Accesorio cuya forma de grampa permite la sujeción entre paneles, sin necesidad de accesorios adicionales; esto disminuye la pérdida de elementos en obra. Su acabado galvanizado es una barrera protectora que le asegura una mayor duración.

En el caso que se requiera se deberá suministrar una serie de grapas especiales como son:

**Grampas extensibles.-** Diseñadas para aquellos casos en los que la geometría de la obra haga necesaria la colocación de los paneles de encofrado con suplementos de madera entre ellos.

**Grampas con regulador de presión.-** Diseñadas para los sistemas de encofrados circulares, permitiendo adaptar la fuerza de unión entre estos, mediante el regulador de presión incorporado.

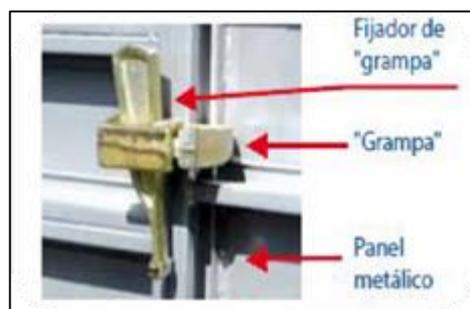


Imagen N° 25: Grampa con sus accesorios

## 2.2.5. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ENCOFRADOS DESLIZANTES.

Es un sistema que se utiliza para construcciones de estructuras verticales u horizontales de sección constante o sensiblemente similares, permitiendo reutilizar el mismo encofrado a medida que el edificio crece en altura o extensión.

Generalmente son de doble cara, de pequeña altura (1.00 m x 1.20 m) con la misma forma geométrica que la estructura a construir.

Este encofrado de fabricación exacta y rígida, se monta sobre el terreno, soportado por unos caballetes metálicos desmontables por piezas y de poco peso, cuya altura libre será la máxima posible para facilitar la colocación de la armadura horizontal; sobre estos caballetes se colocan unos aparatos de elevación, generalmente hidráulicos, que

trepan a través de tubos o barras metálicas de diferentes diámetros, según la capacidad de los elementos de elevación, que transmiten la carga a la cimentación.

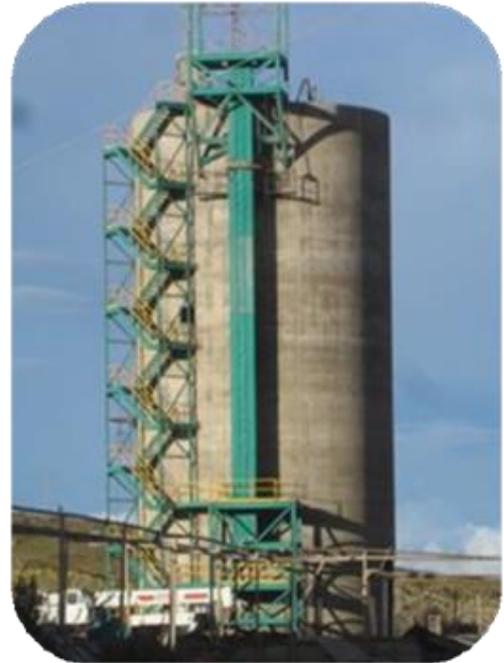


Imagen N° 26: Encofrado, Silo de Homogenización-Cementos Sur S.A.- Juliaca-2006

El hormigón se vierte y a medida que endurece, se levanta el encofrado a intervalos de tiempos pequeños (4 / 8 min.), con carreras cortas de elevación, del orden de 2 a 3 cm.

Los gatos hidráulicos están diseñados para trepar por medio de impulsos y están dotados de dispositivos especiales para controlar el nivel, garantizándola suavidad y el levantamiento uniforme del encofrado deslizante.

Todos los gatos hidráulicos están conectados a un grupo motobomba que trabaja automáticamente por medio de impulsos desde un instrumento de control que puede ajustarse a cualquier velocidad de deslizamiento deseada.

El hormigonado, colocación de armaduras, montaje de puertas, ventanas, placas etc., se hace progresivamente a medida que se eleva el encofrado desde una plataforma de trabajo que se encuentra al nivel del borde superior en ambas caras del encofrado.

De estas plataformas cuelgan otras que se emplean para el control y repaso de la superficie. Todo el peso de las plataformas y del encofrado deslizante, carga a través de los gatos en las barras de trepa; éstos permanecen en el hormigón hasta que finaliza el deslizamiento, pudiendo después ser retirados al disponer de una camisa exterior que se eleva junto con el encofrado y que deja por debajo de éste el hueco fraguado donde se alojan en toda la altura las mencionadas barras de trepa.

La operación una vez iniciada es continua, teniendo previsto dos o tres turnos de trabajo. Las interrupciones en el deslizamiento del encofrado son posibles adoptando las medidas apropiadas.

La velocidad de deslizamiento estará totalmente determinada por dos condiciones:

a) Fraguado del hormigón: En el que intervienen el tipo de cemento utilizado, la temperatura de su puesta en obra y la temperatura y humedad ambiente.

b) Medios empleados:

- Central de hormigonado y taller para la preparación de la ferralla.
- Grúas, cabrestantes, brazos de distribución, etc. para puesta en obra del hormigón y las armaduras.
- Personal para la distribución y el vibrado del hormigón, montaje de armaduras, colocación de huecos, placas y demás elementos incorporados al hormigón.

- Medios auxiliares para el curado y la terminación del hormigón.
- Accesos a las plataformas de trabajo.

### 2.2.5.1. Partes principales de los encofrados deslizantes.

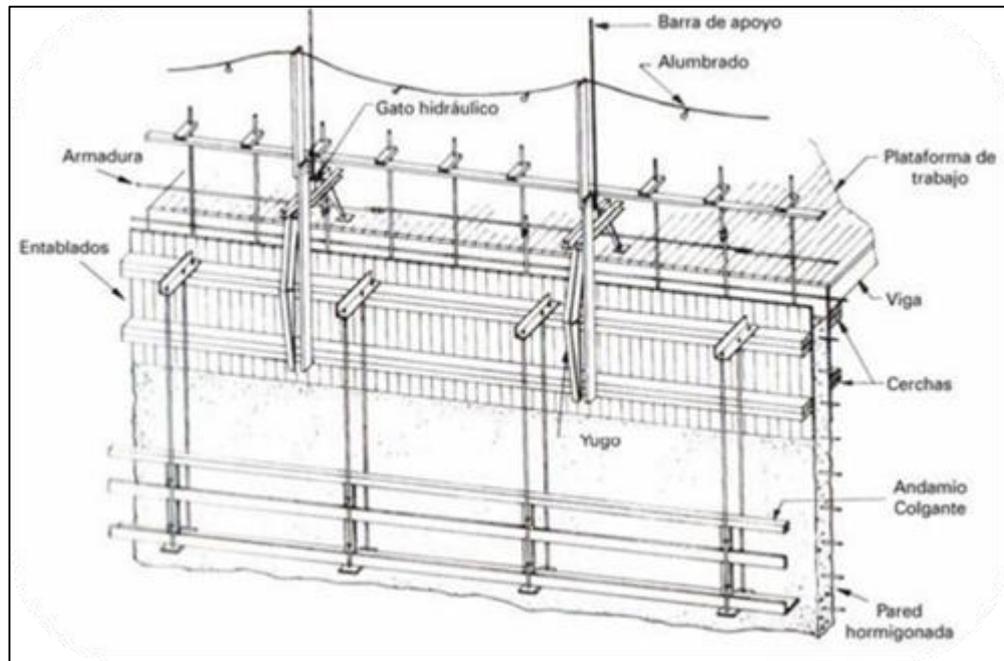


Imagen N° 27: Partes de los encofrados deslizantes

#### a. Los paneles del encofrado deslizante

Es el encofrado o molde el que da al concreto la forma y dimensiones previstas en el proyecto y lo protege hasta que endurece.

Los paneles deben satisfacer las siguientes condiciones:

- La cara que está en contacto con el concreto debe ser lo más lisa e impermeable posible.
- No deben deformarse por carga o debido a la humedad del concreto más allá de sus límites permisibles.
- Deben poder montarse y desmontarse cómodamente, lo cual se consigue fabricando uno de los paneles más cortos (con una longitud de 1-1.50 m) para que sirva como "llave" de todo el encofrado.

- Deben permitir que se dé la inclinación de sus caras.

Los paneles pueden ser de madera, metal, de madera forrados con una plancha metálica o cualquier otro material que pueda soportar las sollicitaciones a las cuales va a estar sometido y que tenga suficiente resistencia al desgaste.



Imagen N° 28: Estructura panel exterior

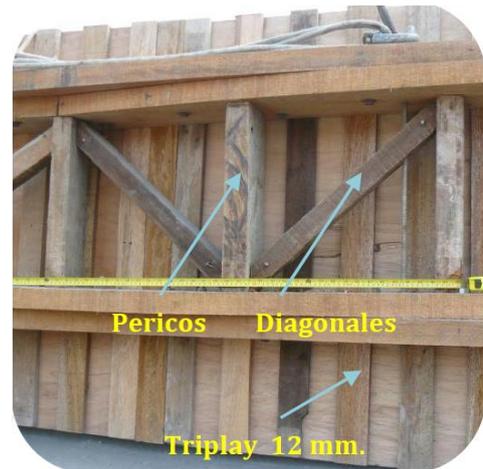


Imagen N° 29: Estructura panel interior

**La pared del panel.-** Es la parte del panel que entra en contacto con el concreto, lo contiene, recibe su empuje y le da su forma final cuando endurece. Su altura varía entre 1.00 a 1.50 m.; esta se fija en función a la velocidad del deslizamiento y al tipo de caballete empleado.

Debe tenerse presente que alturas mayores de 1.20 m. aumentan innecesariamente la fricción del encofrado y alturas menores de 1.00 m. son peligrosas por no permitir el endurecimiento del concreto antes de levantar el encofrado.

Las paredes de los paneles que se vienen empleando son de madera Triplay Lupuna o Fenólico de 12 mm. de espesor que van fijadas sobre tablas cepilladas de Tornillo de 20 mm x 70 mm espaciadas entre sí 145 mm eje a eje, y a su vez éstas van fijadas a los cordones (cerchas) de la estructura del panel.

Las paredes de triplay de los paneles, también pueden ser forradas con planchas galvanizadas de 0.5mm de espesor. Esta opción se emplea cuando se van deslizar alturas mayores a 30m, lo cual permite que la superficie del panel se mantenga lisa y no se deteriore por el rozamiento con el concreto.

Estructura del panel.- Puede ser de madera o metal, siendo la estructura de madera la más empleada en usos comunes. Debe tener una suficiente rigidez vertical y constituir con la pared del panel, un elemento capaz de absorber el peso propio del encofrado y resistir todas las solicitaciones que aparecen durante la colocación del concreto y el deslizamiento del encofrado.

La estructura de panel está formada por los cordones (cerchas), montantes (pericos), diagonales y cartelas.

Los cordones o cerchas constituyen el elemento resistente básico del panel y determinan la forma de la construcción en su conjunto. Se encargan de soportar el empuje del hormigón sobre la distancia de dos caballetes, el peso de las plataformas y otras solicitaciones que aparecen durante el deslizamiento. Sobre ellos se apoyan los andamios y las plataformas de trabajo.

Según su posición en el encofrado se les denomina cordón superior y cordón inferior.

Para paneles de 1.05 m de altura la distancia vertical entre las caras interiores de los cordones debe ser de 40 cm y la distancia vertical entre el cordón inferior y el borde inferior de la pared del panel deber ser de 25 cm; esto se debe al empleo de caballetes metálicos Concretor-Prometo.

Los cordones están formados por grupos de dos o tres tablones de madera solapados uno a la mitad del otro. Se usan tablones de madera

tornillo de 2" de espesor con un ancho variable entre 6" a 12" según sea plano o curvo el encofrado. En los encofrados curvos se recomienda que el mínimo ancho de las cerchas ya habilitadas sea de 8", el cual está determinado por el radio de curvatura y en función a cual se escogen las dimensiones del tablón a habilitar.

Los tablonces de los cordones deben disponerse en escalones del mismo sentido, para facilitar el montaje y desmontaje, unidos entre sí por pernos de  $D=1/2"$  espaciados a 30 cm y colocados en zigzag para poder transmitir mejor los esfuerzos entre sí. También, deben tener bien cepillada la cara que va en contacto con el entablado de los paneles para asegurar una superficie lo más perfecta posible.

Los montantes (pericos) y diagonales forman el resto de la estructura, y se encargan de arriostrar los cordones y formar en conjunto una viga en celosía que resista mejor las solicitaciones a que está sometido el panel durante el deslizamiento. A estos se suman los espárragos (tirantes) de  $D=3/4"$  espaciados a 1.20 m. aproximadamente, que ayudan a mantener la separación vertical entre los cordones ya que habrán diagonales que se encuentren trabajando en tracción.

Las Montantes se colocan normalmente al frente de los caballetes, en los extremos angulares del encofrado y en los puntos de apoyo de las vigas metálicas que soportan la plataforma superior. En el sistema que se emplea actualmente las montantes van espaciadas cada 50 cm aproximadamente, siendo arriostradas estas por las diagonales, con lo cual se ha estandarizado el uso de las montantes y diagonales, cuya sección normalmente es de 2"x4" y 2"x 3".

#### **b. Los yugos o caballetes metálicos**

Los yugos tienen por objeto fijar entre sí los paneles del encofrado impidiendo su desplazamiento lateral, el cual podría ser provocado por el empuje del hormigón fresco, y asimismo arrastrar en vertical el

encofrado deslizante, ya que los yugos se apoyan en los gatos hidráulicos que se apoyan a su vez en las barras de trepar.

Los yugos pueden ser de madera o metal. Existen una gran variedad de yugos metálicos según sea la patente, sin embargo, es el tipo Concretor-Prometo el que se viene empleando a la fecha. Cada yugo se compone de dos montantes verticales y una o dos traviesas horizontales (perfiles U 12) unidos de manera que formen un marco rígido que fije los paneles del encofrado, que sobrepase la plataforma de trabajo superior y se sujete a los gatos.

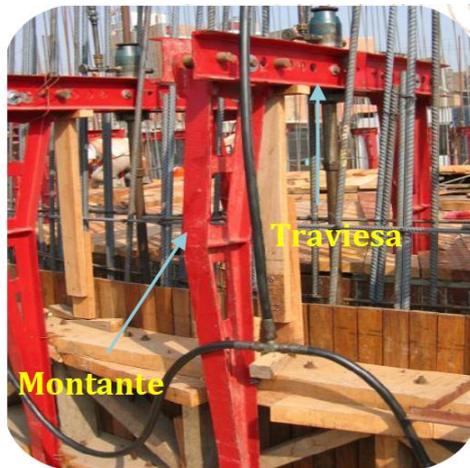


Imagen N° 30: Yugos metálicos



Imagen N° 31: Estructura de la plataforma

Los yugos deben cumplir con las siguientes condiciones:

- Ser capaces de resistir los esfuerzos debidos a las cargas máximas de servicio, de manera que no se produzcan deformaciones mayores a las admisibles.
- Las uniones entre los montantes y traviesas deben ser rígidas, de forma que no permitan ningún giro o desplazamiento.
- Tienen que poder montarse y desmontarse fácilmente; y resistir las operaciones de manejo y transporte.
- Deben tener una suficiente altura que permita la colocación del acero horizontal en su sitio antes de que se coloque el concreto.

- Es deseable que permitan encofrar muros de diferentes anchos.

### c. Plataformas de trabajo

Desde su punto de vista funcional y de posición en el espacio, las plataformas de trabajo se clasifican en:

**Las plataformas superiores.-** Sirven para la circulación del personal, para soportar las herramientas, la maquinaria, los dispositivos e instalaciones precisas para el funcionamiento del encofrado deslizante y para efectuar todas las operaciones para la colocación y compactación del concreto en las paredes, el montaje de las armaduras en las paredes, colocación de los insertos metálicos, marcos y moldes, etc.

**Las plataformas inferiores o andamios colgantes.-** Las cuales están sostenidas de las cerchas y quedan colgadas a 3.50 a 4.00 m. bajo las plataformas de trabajo superiores. Sirven para la circulación del personal, para controlar y curar el concreto que sale del encofrado, para el transporte de los materiales necesarios y para realizar eventuales retoques y acabados de las paredes, así como para el desmontaje de marcos y moldes de los huecos.

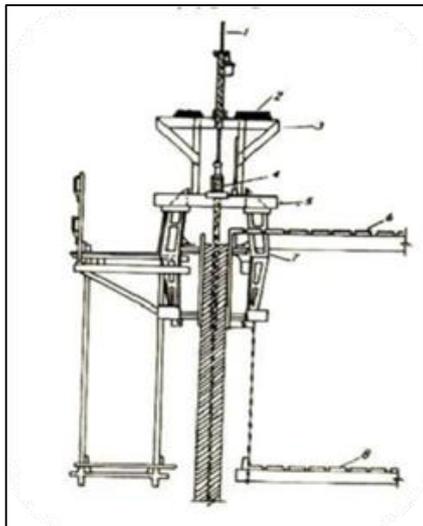


Imagen N° 32: Distribución de elementos

- 1) Barra de trepar.
- 2) Fierro de la armadura.
- 3) Andamio auxiliar.
- 4) Gata.
- 5) Yugo.
- 6) Plataforma superior.
- 7) Patas del yugo.
- 8) Plataforma inferior.

**Entarimado.-** Normalmente es de madera. El de las plataformas superiores puede estar formado por tablas de madera de 1" o 1 ½" de diferentes dimensiones en función al ancho que se le quiera dar a la plataforma; también, puede estar constituida por paneles de triplay de 18mm (4'x8') con bastidores de 2"x3" o 3"x4" espaciados 30 cm., lo cual comúnmente se emplea cuando se va a emplear la plataforma superior como encofrado de la losa final. Y el entarimado de las plataformas inferiores colgantes está compuesto por tablones de 2"x12"x10' a lo largo de todo el perímetro del encofrado.

### **Elementos que soportan los entarimados**

Las plataformas pueden ser sustentadas de distintas maneras, según las luces a cubrir, los materiales que se empleen y se dispongan y de las exigencias especiales que se tenga que satisfacer (por ejemplo, cuando la plataforma se va a emplear como encofrado de losa final ó cuando tiene que llevar cargas especiales como vigas metálicas, equipos, etc)

Debe verificarse las cargas sobre las gatas y las barras de trepar. Usualmente se apoyan las vigas principales entre dos yugos lo menos distanciados entre sí, a fin de compartir la carga concentrada que transmiten. Asimismo se debe reforzar el área de apoyo con espárragos de  $D=3/4"$  al costado de cada yugo y reemplazar en esa zona las diagonales por montantes (Pericos).

Para el soporte de las plataformas colgantes se emplean caballetes de madera, sostenidos por horquillas metálicas de los cordones superiores, sobre las que se aseguran los tablon. También se usan escuadras metálicas de las que cuelgan las plataformas mediante cables metálicos con alma de fibra de  $D=3/8$ ".

**Barandillas.-** Se emplean para evitar el riesgo de accidente por caída al vacío.

Deben construirse muy seguras, verificándose antes de iniciar el deslizamiento. Su altura oscila entre 1.0-1.2m y deben estar provistas de un pasamanos el cual puede estar formado por tablas de 1"x4", por tubos de 2" o por varillas de fierro de  $D=1/2$ ".

En conjunto con las barandillas, se tiene que colocar una línea de vida (cable metálico con alma de fibra de  $D=3/8$ " o soga de  $D=3/4$ " ) en todo el perímetro de las plataformas inferiores y de la plataforma superior exterior, al cual los trabajadores se sujetarán por medio de un arnés con línea de vida doble con absorbedor de impacto en todo instante.



Imagen N° 33: Plataforma superior



Imagen N° 34: Andamios colgantes

#### **d. Entramados, soportes de las armaduras e instalaciones**

Compuesto por un sistema de piezas que se montan en los yugos siguiendo todo el recorrido del perímetro del encofrado y cumplen las siguientes funciones:

- Guiar las armaduras verticales en las paredes.
- Sostener las instalaciones eléctricas.
- Permitir la colocación de los Elevadores de balde y de su plataforma para su operación.



Imagen N° 35: Guía para hierro vertical

#### **e. Los dispositivos del sistema de elevación**

Los dispositivos de elevación se conocen bajo la denominación general de gatos o monos. El sistema de elevación lo terminan de componer los conductos de conexión entre gatos (o conductos de presión) y las bombas de aceite.



Imagen N° 36: Bomba de aceite- dispositivo control automático.

**Gatos.-** Los gatos, sea cual sea su patente y forma de accionamiento, se sujetan sobre unos elementos portantes (barras de sección llena o tubos) que transmiten las cargas directamente a los cimientos o al pie de las paredes ya endurecidas y que arrastran con ellos hacia arriba el encofrado deslizante con todas las instalaciones, materiales y personal.



Imagen N° 37: Gatos conectados con mangueras

Según su principio de funcionamiento tenemos los gatos accionados a mano y los gatos accionados por máquinas, de los cuales describiremos los gatos hidráulicos del tipo Concretor- Prometo.

Las capacidades de carga de los gatos varían de acuerdo a las patentes, siendo común capacidades de carga de 3, 6, 12 y 22 Tn. La patente Bygging- Uddemann también ofrece también gatos con capacidades de carga de 100 y 400 Tn.

Los gatos más usados son los 3 Tn de capacidad, los cuales funcionan normalmente con barras de 25 mm de diámetro.

Asimismo, en el sistema de gatos del tipo Concretor se dirige automáticamente las elevaciones en intervalos fijos previamente determinados. Si algún gato se retrasara puede ser puesto al nivel de los otros por una bomba manual y los que se adelantan pueden ser detenidos utilizando indicadores fijos en las barras y/o manipulando las válvulas de cierre.

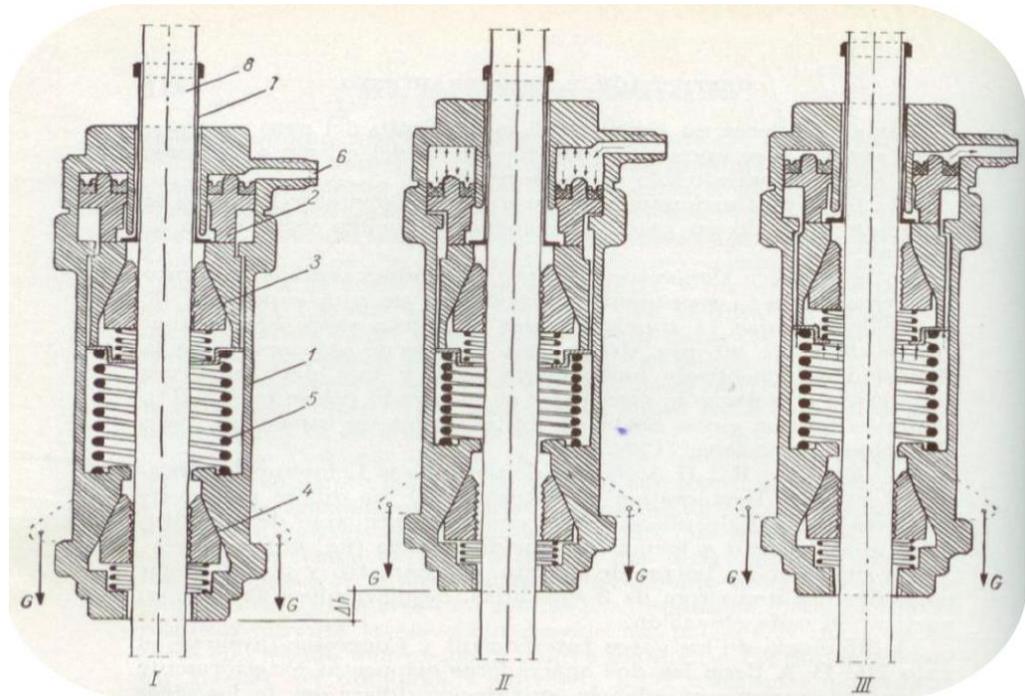


Imagen N° 38: Gato Hidráulico tipo Concretor Prometo de 3 TN - en sus tres fases de funcionamiento

Un gato Concretor-Prometo se compone de un cilindro (1) en cuya parte inferior se sujeta el yugo que soporta el encofrado deslizante; de un pistón anular situado en la parte superior del cilindro (2), bajo el que

se dispone la agarradera superior (3), estando ambos empujados hacia arriba por un potente resorte (5); y de la agarradera inferior (4), situada en la parte de abajo del cuerpo de bomba.

Asimismo, en su parte superior tiene un conducto para la entrada y salida de aceite (6), al que se conectan las válvulas de cierre y las mangueras de alta presión.

### **Conductos de Conexión entre los gatos y las bombas de aceite.-**

En un inicio se empleaban los conductos metálicos, de acero o cobre. Actualmente, se usan los conductos flexibles conocidos como mangueras de neopreno de alta presión provistos de empalme de tuerca tipo holandés en sus extremos que al conectar en serie con los gatos van formando varios circuitos.

Las mangueras deben montarse con cuidado para que no haya pérdidas de aceite en las juntas y empalmes, además, por ir sujetas a las montantes de los yugos se protegerán en los puntos de suspensión en las zonas de paso cerca de las armaduras para evitar su deterioro y/o rotura.

Antes del deslizamiento, todas las mangueras y gatos deben quedar perfectamente purgados.

**Bombas de aceite.-** Son dirigidas por mando eléctrico y se encargan de subir la presión en toda la red para que el aceite llene la cámara superior de los gatos e impulse la mordaza superior hacia arriba.

Las bombas cuentan con un depósito con capacidad de 35-50 litros. Se aconseja usar aceite de automóviles, el cual debe ser absolutamente puro y con una adecuada viscosidad según la temperatura ambiente.

Una bomba puede comandar entre 80 a 100 gatos, pero para un mayor número se debe usar una bomba adicional pues con una sola el flujo

de aceite se retardaría y su funcionamiento sería más lento y no simultáneo.

Las bombas deben estar colocadas lo más cercanas de los gatos que controlan.

Además cada circuito que salga de la bomba debe conectar en serie un máximo de 15 gatos; si los circuitos son largos, se conectarán menos gatos que en los circuitos cortos ya que habrá más pérdida de presión.

El sistema Concretor-Prometo cuenta con un dispositivo automático de puesta en marcha y parada para automatizar la elevación que pone en funcionamiento la bomba cada cierto intervalo de tiempo fijado por el maestro a cargo en función de la velocidad de deslizamiento.

**Funcionamiento del sistema de elevación.-** Para comprender mejor el sistema de elevación se describirá el funcionamiento en conjunto de todas sus partes:

Todos los gatos son conectados por una manguera de neopreno de alta presión a una bomba eléctrica, la cual eleva la presión de aceite en las mangueras y gatos, lo cual hace que suban por las barras de trepar. Se eleva la presión de la red hasta 150 Bar, momento en que se abre la válvula superior haciendo volver el aceite a la red de depósito. Si fuera necesario forzar la elevación de un gato que se ha retrasado, se hace uso de una bomba manual para nivelarlo con los demás gatos, si el retraso persiste en las siguientes elevaciones se tiene que cambiar el gato.

Cada gato tiene mordazas de acero en forma de mandíbulas dentadas alrededor de las barras de trepar, que impiden el deslizamiento hacia abajo pero permiten el movimiento ascendente. Al aplicar presión al gato, la mordaza superior se fija a la barra de trepar y, cuando la fuerza producto de la presión del aceite sea mayor al peso que carga el gato,

el cuerpo del gato subirá, esto hasta que el tope del pistón dentro del gato llegue a su límite. El resorte ubicado entre las mordazas se expande y al regresar a su posición inicial, una vez terminada la acción de la presión hidráulica, expulsa el aceite de la cámara de carga al depósito de la bomba y dejando el gato listo para su próximo movimiento. Cuando el aceite vuelve al depósito de la bomba, hay un ligero descenso de los gatos, por el acomodo de las mordazas superiores después de haber aplicado presión. Se calcula que la elevación útil es de 3-8 mm inferior a la carrera de los gatos debido a esta disminución de presión.

Normalmente los ciclos de elevación duran entre 5 y 30 segundos, siendo un ritmo normal de 6 a 12 elevaciones por hora. Con lo cual en 24 horas se logra un ascenso de concreto entre 3.10 y 7.20 m a una velocidad de deslizamiento casi imperceptible en la plataforma. Se debe considerar siempre tener gatos y bomba de reserva.

#### **f. Las barras de apoyo o de trepar.**

También conocidas como barras de trepar, son de acero liso (Acero SAE 1045) y pueden ser macizas o tubulares. Su función es soportar todo el peso del encofrado deslizante a través de los gatos que se sujetan a ellas y transmitirlo directamente a la cimentación o a la estructura de concreto ya endurecida, sin apoyarse sobre el concreto de las paredes, el cual tiene pocas horas de vaciado y no ha desarrollado completamente su resistencia, aunque si es capaz de restringir la tendencia al pandeo de las barras de trepar.

La barras tienen una longitud variable que oscila entre 2.50 m y 6 m, además, su diámetro oscila entre 25 mm y 75 mm. El diámetro y la calidad de acero de las barras está determinado por el tipo de gato que vaya a emplearse. Los gatos con capacidad de 3 Tn, requieren de barras de 25 mm de diámetro y para gatos de 6 Tn. de capacidad se usan barras de 32 mm a fin de que no pandeen.



Imagen N° 39: Barras de apoyo

La unión entre las barras puede ser soldada si van a quedar como refuerzo en el concreto o roscada si se quieren recuperar al finalizar el deslizamiento, tomando las medidas necesarias para evitar que se adhieran al concreto. Cuando el empalme es roscado usando espárragos se debe verificar que los agujeros tarrajeados de la junta sean exactos y perfectamente centrados; asimismo, a lo largo de la barra no debe existir ninguna saliente ni deformaciones que impida el deslizamiento libre de los gatos. También, hay que cuidar que los empalmes de la barras no se den en el mismo plano horizontal para no congestionar la plataforma al tener que empalmar varias barras al mismo tiempo, lo cual se consigue colocando las barras de inicio de diferentes longitudes.

En caso que las barras de apoyo pasen por algún vano, deberán ser convenientemente arriostradas para evitar su pandeo.

### **g. Las fundas o vainas de recuperación.**

Son tubos de acero (SAE 1010) o PVC fijados a la traviesa de los yugos que cubren a la barra de trepar en cierta altura y que, en su movimiento ascendente con el encofrado, van dejando un agujero cilíndrico de diámetro 3 o 4 mm superior al de las barras. Esto evita que se adhieran al concreto y permite brindarles soporte lateral restringiendo su tendencia al pandeo.

La longitud de las fundas para encofrados de 1.05 m de altura es de 1.50 m, es decir van desde la parte inferior del cabezal del yugo hasta donde termina el encofrado.

Los canales verticales dejados por las fundas, de ser requerido pueden rellenarse después con un concreto fluido o grouting. También pueden emplearse para pasar cables de post tensado o como ducto para las instalaciones.



Imagen N° 40: Funda de recuperación



Imagen N° 41: Barras de trepar

### **h. Control del encofrado deslizante.**

El sistema de encofrados deslizantes permite un trabajo continuo de 24 hrs. Hasta que termine el deslizamiento, por lo cual es preciso conocer,

en todo momento y con la máxima precisión la posición (vertical y horizontal) del encofrado, además de los eventuales giros que se presentan.

Por ello es necesario controlar con precisión:

- Nivel de la Plataforma.
- Verticalidad de la Estructura.
- Giros de la Plataforma.

**Nivel de la plataforma.-** Se debe controlar y asegurar la horizontalidad del encofrado deslizante, la cual influye en la verticalidad de las paredes. Puede hacerse la nivelación con equipo topográfico, mediciones verticales con wincha o con un sistema de niveles con manguera. Este último sistema se compone de una red de mangueras flexibles de plástico transparente ( $D=1/2''$ ), las cuales se conectan a tubos plástico o retazos de la misma manguera fijadas frente a cada gato a una platina metálica que sirve como regla graduada. En esta red se introduce agua con colorante (anilina), para facilitar su lectura. Todos los gatos deben ser nivelados en el mismo plano horizontal.

Gracias a este sistema se puede controlar la horizontalidad del encofrado observando la posición relativa del agua en las señales trazadas previamente y el nivel relativo entre cada gato. La horizontalidad se verifica por lo general cada 2 horas, y se nivela los gatos de ser necesario.

También, se puede controlar la horizontalidad por indicadores fijados sobre las barras de apoyo o por medio de anillos de bloqueo combinados con barras, que permiten ver como desarrolla el ascenso de los gatos en una longitud predeterminada y así nivelarlos manipulando las válvulas de cada gato independientemente. A su vez estos anillos nos permiten ver que gatos presentan mayores retrasos y así evaluar su cambio.

Adicionalmente debe llevarse un control casi exacto de la cota en la que se encuentra la plataforma, lo cual se puede realizar mediante marcas colocadas con equipo topográfico en el refuerzo vertical de la estructura y que se llevan cada metro de altura, a medida que desliza el encofrado. Asimismo, se recomienda identificar en un plano que muestre el desarrollo vertical de la estructura y marcaren el refuerzo vertical las cotas más importantes, como son las cotas de los vanos de puertas y ventanas, de las losas, de los insertos metálicos, de los cambios en la cuantía de acero, etc.

**Verticalidad de la estructura.-** Se utilizan mayormente plomadas para la nivelación vertical, indicando en todo momento si el encofrado se ha desplazado horizontalmente respecto al eje de la construcción o si ha girado. Puede controlarse también desde el exterior de la estructura mediante instrumentos topográficos, usando Teodolito o una Estación Total.

El riesgo de separarse de la vertical es mayor en las construcciones esbeltas de gran altura y menor superficie en planta.

Las plomadas se fijan al encofrado en algunos puntos característicos (que pueden ser los ejes principales de obra), en el interior de la construcción para que no sean afectadas por el viento. Después de iniciado el deslizamiento y a una altura menor a 1.50 m se trazarán en la pared las referencias que servirán para controlar la posición del encofrado.

Las plomadas están compuestas de un soporte colocado en un punto fijo de la cercha inferior del encofrado deslizante (se puede usar una polea o clavos), de un rollo de alambre o cable de longitud superior a la altura de la obra que se van soltando a medida que se eleva el encofrado, y de una pesa de concreto o acero.

La verificación de plomadas se hará cada seis horas pero nunca en períodos mayores a 24 horas. En construcciones de una célula se fijan cuatro plomadas ubicadas en dos ejes rectangulares.

**Giros de la plataforma.-** Adicionalmente, en silos unicelulares se deberá controlar que no haya rotación del encofrado. Para determinar el eventual giro del encofrado, puede verificarse cada 6 horas una marca hecha en el molde con una línea perfectamente aplomada que se vaya trazando sobre el muro recién construido, así como la medida del desplazamiento tangencial de las plomadas perimétricas.

#### **i. Redes de instalaciones diversas.**

Estas abarcan las instalaciones eléctricas y de agua. En lugares con climas fríos se tiene que contar con sistemas de calefacción para asegurar el fraguado del concreto.

**Instalación Eléctrica.-** Previamente al inicio de la obra se verificará el punto de suministro de la instalación eléctrica de fuerza (normalmente es de 440/380/220 V.) y se hará un estudio para determinar la potencia que se requiere para realizar todos los trabajos, a fin de determinar los materiales y equipos adicionales que se requieran (diámetro y tipo de cables, tipo de generador eléctrico, etc).

La conexión entre el tablero general de la obra y el tablero de distribución del encofrado deslizante, ubicado en la plataforma superior, será con un cable trifásico vulcanizado de doble forro NYY. Esta conexión de fuerza sirve, principalmente, para suministrar energía a los motores de las bombas de aceite, los vibradores de concreto, las máquinas de soldar y demás maquinarias menores (amoladoras, radial de mano, taladros, etc); asimismo, hace funcionar el sistema de iluminación de las plataformas de trabajo.

**Instalación de Suministro de agua.-** Es necesario, para preparar el mortero empleado en los resanes superficiales, realizar el solaqueo superficial de las paredes de concreto que van quedando al descubierto, el aseo del personal, la limpieza de las herramientas, etc. Adquiere fundamental importancia cuando se prepara el concreto a pie de obra.

En un principio, se empleaba este suministro de agua para curar las superficies de concreto, sin embargo, esta práctica ya ha entrado en desuso por el empleo de curadores químicos.

#### **j. Los marcos y moldes para los vanos, pases aberturas.**

Estas piezas tienen un uso más extendido en las obras de edificación y en obras industriales que tienen puertas, ventanas, losas intermedias, etc.

Los marcos y moldes sirven para crear aberturas en las paredes de concreto y formar así tras su retiro los vanos de las puertas, ventanas y apoyos de las losas intermedias. Estos, pueden ser de madera, contrachapado, metal, plástico o cualquier material con una resistencia suficiente para soportar las cargas sin deformarse. Si los marcos van a ser de madera, esta tiene que ser de buena calidad (Tornillo), con un espesor de 1 ½" o 2", tener sus caras bien cepilladas y protegidas con laca desmoldante.

Los marcos y moldes se montan desde la plataforma superior del encofrado a la cota prevista en el proyecto y se retiran, desde la plataforma inferior después del paso del encofrado, cuando el concreto ha adquirido una resistencia necesaria para resistir el desencofrado sin daños. Para poder extraerlos con facilidad, se recomienda que sus caras laterales tengan una ligera inclinación (10%-15%) y que su espesor (profundidad) sea 1.5 cm inferior a la abertura del encofrado

en su parte superior, para así evitar que el encofrado los arrastre en su deslizamiento.

Cuando la abertura que se quiere formar presenta grandes dimensiones, se recomienda fabricar un marco dividido en varias partes que faciliten su montaje.

Asimismo, a medida que se va deslizando el encofrado se tiene que ir apuntalando el marco y arriostrando adecuadamente las barras de trepar que queden dentro del vano y sin arriostre.

**k. Las plataformas de acceso al personal y las plataformas de elevación del concreto.**



Imagen N° 42: Escaleras de acceso



Imagen N° 43: Elevación del concreto

**Escaleras de acceso.-** Están constituidas por varios cuerpos de andamio metálico normado (tipo Acrow) en función a la altura de la obra, sobre los cuales se montan cuerpos de escalera metálica o de madera. Una vez montados, estos elementos permiten el acceso del personal a la plataforma superior del encofrado deslizante mediante una pasarela en voladizo (provista de barandas) armada entre dos yugos metálicos.

Siempre debe tener un cuerpo por encima la plataforma superior, con lo cual se evita que el personal realice maniobras de riesgo para acceder a la plataforma.

Cuando las construcciones son muy altas el acceso se realiza mediante un ascensor para el personal, usualmente de cremallera que va creciendo conforme avance el deslizante.

Sistemas para izaje de materiales:

**Winches.-** Empleados mayormente para el abastecimiento de concreto y también para el desmontaje del encofrado deslizante. Estas plataformas se emplean en reemplazo de las grúas torre cuando las características de la obra así lo permiten, utilizándose además elevadores de balde para izar las varillas de acero, barras de apoyo y demás materiales.

**Grúas.-** Las grúas se emplean normalmente para el abastecimiento de concreto mediante un balde concretero, para el izaje del acero de refuerzo usando eslingas y/o estobos, para el montaje de la escalera de acceso y para el izaje de los insertos metálicos.

Su empleo resulta ventajoso cuando la complejidad de la obra lo amerita, ya sea tanto por las grandes dimensiones de la estructura a ejecutar, las dificultades de acceso, la elevada cuantía de acero y volumen de concreto que se tiene que colocar por cada metro de altura.

Además, las grúas resultan de gran ayuda en el desmontaje del molde y de las plataformas del encofrado deslizante.

**Bombas de Concreto.-** Se emplean cuando el volumen de concreto que se tiene que colocar por cada metro de altura de la estructura es considerable y no se puede abastecer solo con el empleo de winches y

grúas. Asimismo, su uso resulta ventajoso cuando se que ejecutar estructuras de gran altura.

Se pueden emplear tanto las bombas tipo pluma como las bombas estacionarias de concreto, según sea la altura final de la estructura.

En nuestro medio para alturas mayores a los 35 m se emplean solo las bombas estacionarias, donde es de mucha importancia que el concreto cuente con un slump adecuado para que pueda ser bombeado sin dificultad y no se presenten problemas de atoro en la tubería de acero.

## **2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES**

### **2.3.1. ENCOFRADO.**

Es un sistema formado por piezas acopladas, moldes temporales o permanentes destinados a dar forma al mortero, hormigón u otros materiales en su estado plástico o fresco.

Ofrece la facilidad de darle al hormigón la forma proyectada proveyendo su estabilidad como hormigón fresco, asegurando la protección y la correcta colocación como armaduras. Entre otras funciones están las de proteger al hormigón de golpes, de las temperaturas externas y de la pérdida de agua.

Es necesario determinar que un encofrado está compuesto de dos elementos, e molde o caja y la estructura que lo soporta, ambos de utilización provisional. Estructuralmente hablando los marcos, a los que también se denomina cimbras y los puntales, son elementos cuya función es netamente resistente y estabilizadora, hasta cierto punto trabajan de modo independiente al de las cajas.

### **2.3.2. ENCOFRADO DESLIZANTE.**

Es un sistema que se utiliza para construcciones de estructuras verticales u horizontales de sección constante o sensiblemente similares, permitiendo reutilizar el mismo encofrado a medida que el edificio crece en altura o extensión. Este encofrado también dispone

espacio para andamios, maquinaria, etc. estructuras utilizadas especialmente, para aquellos trabajos donde el apuntalamiento y el soporte lateral, que se debe proporcionar al encofrado, resulta demasiado costoso y complicado para su ejecución.

### **2.3.3. ENCOFRADO METÁLICO.**

Sistemas de encofrados de metal de calidad para la construcción rápida de estructuras de concreto como muros, plataformas, vigas, columnas, etc

### **2.3.4. ENCOFRADO DE MADERA.**

Sistemas de encofrados de madera en el que se vacía el hormigón hasta que fragua.

### **2.3.5. ACERO GALVANIZADO.**

El acero galvanizado es un tipo de acero procesado con un tratamiento al final del cual queda recubierto de varias capas de zinc. Estas capas de zinc protegen al acero evitando que se oxide. El acero galvanizado también es un material con un acabado más duradero, resistente a las rayaduras y que resulta más atractivo para muchos consumidores. El acero galvanizado también es utilizado en la fabricación de encofrados metálicos.

### **2.3.6. ARRIOSTRE.**

Conjunto de piezas destinadas a asegurar la estabilidad del encofrado. Elemento de refuerzo (horizontal o vertical) o muro transversal que cumple la función de proveer estabilidad y resistencia a los muros portantes y no portantes sujetos a cargas perpendiculares a su plano.

### **2.3.7. BARRAS DE APOYO.**

También conocidas como barras de trepar, son de acero liso y pueden ser macizas o tubulares. Su función es soportar todo el peso del encofrado deslizante a través de los gatos que se sujetan a ellas y transmitirlo directamente a la cimentación o a la estructura de concreto ya endurecida, sin apoyarse sobre el concreto de las paredes, el cual tiene pocas horas de vaciado y no ha desarrollado completamente su resistencia, aunque si es capaz de restringir la tendencia al pandeo de las barras de trepar.

### **2.3.8. FRAGUADO.**

Cambio de fase de líquido a sólido del cemento.

### **2.3.9. TRACCIÓN.**

Es el esfuerzo interno a que está sometido un cuerpo por la aplicación de dos fuerzas que actúan en sentido opuesto, y tienden a estirarlo.

### **2.3.10. ESCANTILLÓN.**

Son un "patrón" o "guía" a seguir en la construcción o fabricación de un objeto. Regla, modelo o patrón que sirve para trazar las líneas y fijar las dimensiones según las cuales se han de grabar en ciertas herramientas e instrumentos.

### **2.3.11. GRAMPÓN.**

Elemento metálico para sujetar piezas al piso.

### **2.3.12. ANCLAJE.**

Fijación al piso o a otro elemento.

### **2.3.13. MONTAJE.**

Colocación de piezas para constituir un elemento.

### **2.3.14. PLACA DE MONTAJE.**

Superficie plana que permite colocar y unir piezas o partes.

### **2.3.15. RIGIDEZ.**

Propiedad de los sólidos para impedir su deformación.

### **2.3.16. ENTARIMADO.**

Normalmente es de madera. El de las plataformas superiores puede estar formado por tablas de madera de diferentes dimensiones en función al ancho que se le quiera dar a la plataforma; también, puede estar constituida por paneles de triplay con bastidores, lo cual comúnmente se utiliza cuando se va a emplear la plataforma superior como encofrado de la losa final.

### **2.3.17. AGREGADO GRUESO.**

Los agregados gruesos o gravas, consisten en materiales extraídos de rocas de cantera, triturados o procesados, piedra bola o canto rodado, escorias de altos hornos, cuyas partículas comprenden tamaños que van desde 4.75mm. a 3 pulgadas, para los fragmentos más grandes, pudiendo contener fragmentos de arena y roca.

## **CAPITULO III**

### **ANALISIS COMPARATIVO VENTAJAS Y DESVENTAJAS EN EL PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LOS ENCOFRADOS**

#### **3.1. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL ENCOFRADO DE MADERA.**

Para armar el encofrado no se permitirá el empleo de maderas en mal estado ya que la madera interviene de dos maneras diferentes ya sea que deba estar en contacto directo con el concreto mojado, o que sirva para soportar o dar resistencia.

La madera que recibe el concreto deberá ofrecer las siguientes cualidades:

- No elaborarse con la humedad.
- No hincharse exageradamente al ser mojada.
- No estar ni muy verde, ni exageradamente seca.

La madera no es suficientemente rígida, cuando se moja; y las maderas secas, se rajan cuando toman agua; además de que aumentan mucho de volumen; y la madera de grano grueso propensa a producir hebras salientes o polos, origina superficies ásperas; las maderas blandas son las que dan superficies más lisa al concreto; pero por otro lado son fáciles de hincharse con el agua.

##### **3.1.1. Ejecucion**

**a.** Tendrán las formas, dimensiones, niveles y alineamientos necesarios para moldear las estructuras, de modo tal que ellas resulten de las dimensiones y formas indicadas en los planos y cumplan las tolerancias dimensionales y de posición establecidas en el Reglamento Nacional de Edificaciones y en los documentos de obra.

**b.** Una vez levantado el muro de ladrillos, se procederá al encofrado de las columnas que servirán de molde para el vaciado de concreto esto para el sistema estructural de albañilería confinada.

**c.** Los encofradores empezarán por habilitar la madera, es decir, cortarán y juntarán una pieza con otra; se deberá verificar que se encuentre en buen estado, limpia de desperdicios y no arqueada.

**d.** A los fierros de las columnas se les deben adherir unos dados de concreto de 2 cm de espesor, que actúan como separadores, evitando que se peguen al encofrado, de manera que tengan suficiente concreto de recubrimiento y que en un futuro no se oxiden.

Los encofrados de madera no protegidos contra la acción de la intemperie, no deben quedar expuestos al viento y al sol durante un tiempo prolongado. Antes de proceder al moldeo de las estructuras, y con suficiente anticipación, dichos encofrados serán convenientemente humedecidos.

**e.** Las tablas de madera que sirven para encofrar la columna, deben estar unidas por barrotes ubicados a no más de 50 cm uno del otro. Por su parte, la superficie que estará en contacto con el concreto debe mojarse con petróleo, a fin de que el concreto endurecido no se pegue a la madera, facilitando el desencofrado.

**f.** Una vez colocado el encofrado, se deben ajustar las caras opuestas con alambre N°8, cuidando de que no queden espacios entre el muro y el encofrado por donde pueda escurrirse el concreto durante el vaciado.

Para la ejecución de estas estructuras no se permitirá el empleo de maderas mal estacionadas. Para corregir posibles asentamientos que puedan producirse antes o durante las tareas de hormigonado, los puntales y elementos de sostén estarán provistos de cuñas, gatos, tornillos y otros dispositivos adecuados.

**g.** Luego el encofrado será asegurado contra el piso por medio de unos puntales. Para terminar, es importante verificar que el encofrado haya quedado totalmente vertical, utilizando una plomada.

**h.** En caso de que se esté encofrando una columna que colinda con el muro de una propiedad vecina, debemos colocar una plancha de tecnopor para conservar la separación entre las dos propiedades. Esta separación permitirá que, durante un sismo, nuestra vivienda se mueva de forma independiente sin chocar con la vivienda vecina.

**i.** Se recomienda revisar la zona de trabajo durante el proceso de encofrado, pues es frecuente encontrar en el piso maderas con clavos que pueden ocasionar accidentes.

Para facilitar la inspección y limpieza de los encofrados, y también para facilitar y vigilar la colocación y compactación del hormigón, especialmente en el caso de los encofrados profundos, en el pie de columnas, pilares y muros, a distintas alturas y a distancias

### **3.1.2. Condiciones de Aplicación**

Para la correcta ejecución de los trabajos empleando este método, se requieren unas condiciones mínimas que se resumen en:

- Suficiente rigidez a la flexión dada por la carga del hormigón.
- Suficiente exactitud de dimensionamiento con relación a los acabados que deben ejecutarse posteriormente.
- El encofrado debe soportar la carga muerta del hormigón recién fundido (2 400 kg/m<sup>3</sup>), carga axial o vertical.

Se emplean generalmente en las estructuras de hormigón de los siguientes tipos:

- a)** Estructuras tipo pórtico.
- b)** Losas.
- c)** Columnas.
- d)** Vigas.
- e)** Tableros de puente.
- f)** Escaleras.
- g)** Rampas.

## **3.2. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL ENCOFRADO METALICO.**

El sistema de encofrados metálicos se caracteriza por su economía, versatilidad y simplicidad, resultado de extensos estudios en el campo de la ingeniería civil. El reducido número de componentes y los altos rendimientos en el montaje y desencofrado lo hacen el más efectivo del medio. Este sistema aporta soluciones en la construcción de muros, losas, vigas y para cualquier elemento estructural de concreto. En lo que respecta a obras civiles, este moderno sistema de encofrados y andamios metálicos es absolutamente aplicable y puede ser empleado en puentes (estribos, vigas, riostras o losas), en obras de arte, tanques y canales.

### **3.2.1. Ejecucion**

#### **a. Replanteo de puntales**

Replanteo de la cubierta sobre la cimentación de la construcción que se pretende realizar, de manera que se obtenga la posición de los apoyos de la cubierta proyectados sobre la cimentación y se puedan montar correctamente posicionados los puntales que se requieren, montaje de puntales: la parte inferior de cada puntal (denominada puntal de apoyo en montaje) se fija al suelo mediante una placa inferior de apoyo, y presenta una placa de unión en su extremo superior; la parte superior de cada puntal (denominada puntal de izado y posicionamiento) , que se compone de un puntal tubular telescópico (con tubo interior y tubo exterior) , con una placa de unión con taladros en el extremo inferior, se atornillará al puntal de apoyo en montaje atravesando la placa de unión en su extremo inferior, y se soldará directamente al apoyo del nervio de la cubierta en su parte superior, para aplomar se puede utilizar Tornapuntas con medidas de 3, 6 y 9 m.

#### **b. Habilitación de los paneles metálicos**

Colocamos el berengeno que es un accesorio para matar los cantos del pilar, el berengeno tiene unas aletas de goma para evitar que la lechada de hormigón se pierda.

#### **c. Montaje de los paneles metálicos**

La unión de los paneles se realizara mediante la unión del Bulón y la Cuña integrada en las correderas del panel. La cuña se desliza por la corredera, el bulón se introduce en el agujero de reducción y la cuña une los paneles.

Cada panel tiene variaciones de 5 cm para resolver paneles de 20 hasta 60 cm, una vez identificado el ancho del pilar se debe extraer el tapón correspondiente a la medida a realizar. Los paneles se unirán con un simple golpe de martillo.

#### **d. Armado del sistema de losa**

Se colocan las gatas base o placa base sobre el piso, luego sobre ellas, se instalan los puntales, estos se arriostran en las dos direcciones con travesaños en dos alturas. Sobre los puntales se apoyan las gatas J que apoyan a su vez las vigas de aluminio, o las gatas doble cabeza si se trata de las vigas. Cuando se apoyan dos vigas sobre el mismo puntal, se usan gatas (con mayor espacio) en lugar de J. Una vez completado el armado, se instala el arriostramiento diagonal.

#### **3.2.1. CONDICIONES DE APLICACION**

- Se deberá de contar con equipo y maquinaria necesaria para el desplazamiento de los diferentes elementos si fuera necesario.
- Un prolijo estudio de aplicación del encofrado, de acuerdo a los planos favorece una mayor programación y coordinación de las actividades de la obra tomando en cuenta plazos de construcción, equipos de levante, vaciado y otros.
- Espacio y seguridad para los trabajadores que van a montar el encofrado, para el trabajo del herrero y para el proceso de fundición.

Se emplean generalmente en las estructuras de los siguientes tipos:

- a) Para elementos estructurales que conservan las mismas dimensiones.
- b) Estructuras de gran envergadura donde se requiera mayor resistencia para el soporte de la carga muerta del hormigón

### **3.2.2. Ventajas**

- Se pueden armar, desarmar y transportar con gran rapidez.
- Su gran ventaja radica, no sólo en la facilidad y rapidez tanto en el encofrado como en el desencofrado, así como en que las piezas moldeadas alcanzan unos paramentos lisos, bien cuidados, sino en que la duración de dicho encofrado es prácticamente ilimitada, ya que no se deforman ni deterioran por el uso.
- Llevan en los extremos, en los cantos, unos machos o vástagos, los cuales penetran en los orificios de otro tablero. Esto permite que con un mismo tablero se puedan obtener pilares de varias secciones.
- Tanto las operaciones de encofrado y desencofrado como las de aplomado son rápidas y sencillas.
- Otra ventaja es la bondad de los paramentos. Salen pilares de caras limpias.
- Gran capacidad de carga.

### **3.2.3. Desventajas**

- El costo de inversión es elevado en relación a los demás materiales.
- Su inadaptabilidad a todo tipo de pilares, como sucede con la madera.
- Su mayor peso para el traslado y manejo.
- Ante el trato brutal que recibe el material de construcción por parte de la mano de obra, sufren torceduras, deformaciones o abollamientos costosos de reparar.
- No protegen el fraguado del hormigón en tiempo frío.
- Necesitan protección para evitar la oxidación, lo cual representa un gasto adicional.

### **3.3. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DEL ENCOFRADO DESLIZANTE.**

El sistema de construcción con encofrados deslizantes es un sistema dinámico no convencional mediante el cual el concreto requerido, que es el material más importante y que marca la velocidad de izaje, debe cumplir estrictamente con determinadas características:

**Tiempo de fragua (Inicial y Final).**- Se debe garantizar que la fragua inicial del concreto debe encontrarse entre 3.5 a 4 horas como parámetro estable y la fragua final se encuentre entre las 7 y 8 horas.

**Plasticidad.**- El concreto deberá presentar características plásticas como mínimo en una altura de 1.30 m (medido de la parte superior del molde hacia abajo) lo cual permita que el concreto pueda resistir su propio peso. Esto nos podrá permitir corregir desplomes y/o giros que normalmente ocurren en este sistema no convencional por tratarse de un proceso dinámico.

**Trabajabilidad.**- El concreto deberá mantener una trabajabilidad moderada que permita realizar un acabado superficial sin la necesidad de emplear otros productos diferentes al mismo concreto.

El proceso de fragua del concreto, el cual marca la velocidad de deslizamiento, está influenciado por la temperatura ambiental, la temperatura del concreto, la curva granulométrica de los agregados, el tipo de cemento, la relación A/C , la cantidad de cemento en la mezcla, los aditivos y el grado de compactación, los que en su conjunto hacen que se retrase o acelere el proceso de fragua.

#### **3.3.1. Condiciones de aplicacion**

Para el correcto desarrollo de los trabajos empleando este método, se requieren unas condiciones mínimas que se resumen en:

- Continuidad en las tareas de hormigonado y colocación de armaduras.
- Correcta organización del equipo humano y de suministro de materiales.
- Formación, responsabilidad y disciplina del personal a realizar las tareas.

Se emplean generalmente en las estructuras de hormigón de los siguientes tipos:

- a)** Silos y tanques de almacenamiento.
- b)** Estructuras de edificios, fábricas y centrales.
- c)** Columnas.
- d)** Depósitos de agua.
- e)** Pozos verticales de túneles y minas.
- f)** Chimeneas

### **3.3.2. Ventajas**

- Ejecución continua de la estructura, con ausencia de juntas frías, característica especialmente importante en ejecución de estructuras de almacenamiento de líquidos y gases.
- Reducción del plazo de ejecución, al realizarse la estructura sin paradas.
- Eliminación de tiempos muertos, al realizarse todas las tareas de forma simultánea (no consecutiva).
- Velocidad de ejecución, con rendimientos entre 3 y 6 m/día.
- Calidad superior de la obra, debido al monolitismo.
- Economía de materiales, debido a su estandarización y reutilización.
- Construcción de obras de gran altura sin utilización de andamios.
- Reducción y facilidad de las labores de acabado.
- Elevación simultánea de estructuras pesadas (cubiertas, etc.) y elementos auxiliares (grúa torre, etc.)

### **3.3.3. Desventajas**

- La estructura debe ser simétrica.
- El montaje y aplome en el momento inicial son bastantes largos

Es muy difícil para el vaciado antes de finalizar la obra, por lo que debe estar trabajando las veinticuatro horas del día.

## **CAPITULO IV**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS**

#### **4.1. COMPARACIÓN ECONÓMICA DE LOS ENCOFRADOS DESLIZANTES Y METÁLICOS FRENTE AL SISTEMA DE ENCOFRADOS CONVENCIONALES APLICADO A ESTRUCTURAS TIPO SILOS, RESERVORIOS, TORRES.**

##### **Descripción:**

Con el propósito de realizar la comparación de costos, tiempo de ejecución, rendimientos; entre los diferentes sistemas de encofrados, es que se recomienda la aplicación del sistema de encofrados deslizantes a estructuras tales como: silos, reservorios, torres, pilares de puentes, etc. que por lo general presentan geometría constante en su altura, por ello se considero como ejemplo práctico de referencia las siguientes estructuras:

- A. Silo de Homogenización de 4,500 Tn., ejecutado en el 2007 con encofrados deslizantes en la fábrica Cementos Sur S.A. en Caracoto – Juliaca - Puno.
  
- B. Batería de Silos de 7,500 Tn. ejecutado en el 2012 con encofrados deslizantes en la planta de UNACEM S.A.A. en Atocongo – Lima.

En general para considerar el uso de encofrados deslizantes y poder aprovechar al máximo las ventajas que ofrece el método, como se mencionó anteriormente, se recomienda que las construcciones sean estructuras altas y simétricas, donde el uso de encofrados convencionales es costoso y compleja su ejecución. Para saber si el uso de encofrados deslizantes resulta rentable frente a encofrados convencionales, se tiene que determinar la altura mínima de la estructura en que los costos de ambos métodos se equiparan y a partir de la cual, a medida que esta incrementa, se generan mayores beneficios con los encofrados deslizantes.

Si se busca hacer una comparación precisa de costos entre estos métodos, se tendrían que considerar las partidas afines del presupuesto que influyen en los costos, tales como: Movilización y desmovilización de equipos, implementos de seguridad, habilitación y colocación de acero, encofrado de las paredes, colocación de concreto y colocación de insertos metálicos, sumadas a los gastos generales que se involucran.

Además, hay que resaltar que en el sistema con encofrados deslizantes se obtiene un alto rendimiento en la partida de colocación de acero. Sin embargo, para fines prácticos de la presente comparación, solo se considerarán las partidas de encofrado de las paredes, para las cuales se han asumido una serie de consideraciones y parámetros:

- Los materiales que se emplean en cada una de las partidas se les ha considerado que su uso es para una sola obra, en función a la altura, no considerando futuras reutilizaciones.
- En los encofrados metálicos se ha considerado el alquiler de tres juegos de anillos con paneles de 1.20 m de altura, para poder trepar a razón de 2.40 m por ciclo, quedando siempre atrapado un anillo con paneles de 1.20 m, que es el que nos permite trepar. Asimismo, se ha considerado el alquiler de 150 escuadras metálicas para que permitan armar la pasarela de andamios y aplomar los muros.
- El tiempo mínimo de alquiler del encofrado metálico es de un mes, por lo cual en la presente comparación se está cargando todo ese precio a la partida de encofrado de muros, si se le pudiera dar otros usos a ese material, el precio se reduciría, permitiendo disminuir el precio unitario de la partida y obtener mayores ahorros.
- El precio mensual por alquiler de encofrado metálico se ha considerado en S/.45(m<sup>2</sup>) y el de las escuadras metálicas en S/.14.5(und.)

- En los encofrados deslizantes para determinar el tiempo promedio de ejecución de trabajos se ha asumido una velocidad promedio de deslizamiento de 17.5 cm/h. Además, que el tiempo de montaje de todo el sistema es de 10 días y el tiempo por desmontaje es de 5 días.
- La comparación se aplica a estructuras tipo silos, reservorios y torres de diámetro interior mayor a 10m y espesor de muros mayor a 15 cm, considerando una velocidad promedio de izaje 17.5 cm/h para el Silo de Homogenización de cementos sur y 25 cm/h. para la batería de silos de UNACEM.
- Asimismo, se han asumido una serie de valores sustentados por el tiempo promedio de ejecución de los trabajos y por la experiencia obtenida en campo, como se detalla en los siguientes cuadros:

CUADRO N° 1: Tiempo promedio de ejecución del encofrado de madera.

ENCOFRADO DE MADERA		ALTURAS			
DESCRIPCION		0 - 12 m.	12 - 24 m.	24 - 36 m.	36 - 50 m.
1.	Cuadrilla de Encofrado.	0.1 capataz + 1.0 operario + 1.0 oficial			
	Rendimiento (m2/día)	10.0	9.0	8.0	7.0
2.	Cuadrilla de Desencofrado.	1.0 cap. + 1.0 op. + 1.0 of.			
	Rendimiento (m2/día)	40	38	36	34

Fuente: CAPECO – 2011.

CUADRO N° 2: Tiempo promedio de ejecución del encofrado metálico

ENCOFRADO METALICO		ALTURAS			
DESCRIPCION		0 - 12 m.	12 - 24 m.	24 - 36 m.	36 - 50 m.
1.	Cuadrilla de Encofrado.	0.1 capataz + 1.0 operario + 1.0 oficial			
	Rendimiento (m2/día)	20.0	19.0	18.0	17.0
2.	Cuadrilla de Desencofrado.	0.1 capataz + 1.0 operario + 1.0 oficial			
	Rendimiento (m2/día)	50	48	46	44

Fuente: Elaboración propia F.A.A

CUADRO N° 3: Tiempo promedio de ejecución del encofrado deslizante

ENCOFRADO DESLIZANTE		ALTURAS			
DESCRIPCION		0 - 12 m.	12 - 24 m.	24 - 36 m.	36 - 50 m.
1.	Cuadrilla de Encofrado.	1 capataz + 7 operario + 2 oficial + 2 peón			
	Rendimiento (m2/día)	134	134	134	134
2.	Cuadrilla de Desencofrado.	1 capataz + 6 operario + 2 oficial + 4 peón			
	Rendimiento (m2/día)	16	16	16	16
3.	Cuadrilla habilitación del molde	1 capataz + 6 operario + 2 oficial + 2 peón			
	Rendimiento (m2/día)	16	16	16	16
4a.	Velocidad prom. de izaje (m/h) Silo - Cementos Sur	0.175	0.175	0.175	0.175
5b.	Velocidad prom. de izaje (m/h) Batería de Silos-UNACEM S.A.A.	0.25	0.25	0.25	0.25

Fuente: Erik Pavel Pinao Elera, P.U.C- 2011.

## 4.2. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DEL ENCOFRADO DESLIZANTE.

### 4.2.1. Datos generales

#### Triplay

Resistencia a la flexión ( $\sigma$ ).	=120 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia al corte ( $\tau$ ).	= 10 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la compresión perpendicular ( $C^{\perp}$ )	=18 Kg/cm <sup>2</sup>
Módulo de elasticidad (E).	= 90,000 Kg/cm <sup>2</sup>

#### Madera Tornillo

Resistencia a la flexión ( $\sigma$ ).	= 100 Kg/cm <sup>2</sup> +10% (A.C)
Resistencia al corte (T).	= 8 Kg/ cm <sup>2</sup> + 10% (A.C)
Resistencia a la compresión perp. ( $C^{\perp}$ ).	= 15 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la compresión paralela( $C//$ )	= 80 Kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia a la tracción (T).	= 75 Kg/cm <sup>2</sup>
Módulo de elasticidad (E).	= 90,000 Kg/cm <sup>2</sup> (A.C)

\*A.C = Acción en conjunto, en los entablados, viguetas y vigas en celosía.

#### 4.2.2. zas de Fricción.

La fuerza de rozamiento entre el panel del encofrado deslizante y el concreto, resulta ser la más importante para determinar la estabilidad del encofrado deslizante, para lo cual de una manera conservadora se usará la fórmula de propuesta por Tudor Dinescu:

$$Fr = \frac{2}{3} \times f \times h^2 \left( \frac{Tn}{m} \right) = \text{donde:}$$

f = 0.60, coeficiente de rozamiento para encofrados de madera.

h = 1.05, para el llenado inicial (Molde lleno).

h = 0.75, durante el deslizamiento.

$$Fr = \frac{2}{3} \times 0.60 \times 1.05^2 = 0.441 \left( \frac{Tn}{m} \right) = 441 \left( \frac{Tn}{m} \right) (\text{Arranque})$$

$$Fr = \frac{2}{3} \times 0.60 \times 0.75^2 = 0.225 \left( \frac{Tn}{m} \right) = 225 \left( \frac{Tn}{m} \right) (\text{Deslizamiento})$$

#### 4.2.3. Verificación de la capacidad de carga del encofrado deslizante

Cargas Muertas	
Peso de la estructura metálica (48 m. x 150 Kg/m.)	= 7,200 Kg.
Peso de la estructura del E.D (4,000 p2. x 1.3 Kg/p2.)	= 5,200 Kg.
Peso de la pared del E.D (43 pl. x 20 Kg/pl.)	= 860 Kg.
Peso de la madera - plataformas (6,000p.2x1.3Kg/p2)	= 7,800 Kg.
Peso de caballetes y yugos (44 und. x 60 Kg/und.)	= 2,640 Kg.
<b>Carga Permanente</b>	<b>23,700 Kg.</b>

### Cargas Vivas

Peso del acero (aprox. 120 barras de 1") 120und. x36 Kg/und.	= 4,320 Kg.
Peso de personal (aprox. 60 personas) 60 per x 90 Kg/per	= 5,400 Kg.
Peso de las barras de trepar (48 und. x 20 Kg/und.)	= 960 Kg.
Fr - Arranque (441 Kg/m. x 96.13 m.)	= 42,394 Kg.
Fr - Deslizamiento (225 Kg/m. x 96.13 m.)	= 21,630 Kg.

**Carga Viva en el Arranque 53,074 Kg.**

**Carga Viva en el Deslizamiento 32,310 Kg.**

Carga Total en el Arranque	=23,700 + 53,074	= 76,774 Kg.
Carga Total en el Deslizamiento	=23,700 + 32,310	= 55,800 Kg.

Para 44 gatos, con 3,000 Kg de capacidad cada uno, obtenemos una capacidad total de carga de 132,000 Kg, con lo que obtenemos:

$$FS_{ARRANQUE} = \frac{132,000}{76,774} = 1.72$$

$$FS_{DESLIZAMIENTO} = \frac{132,000}{55,800} = 2.37$$

Con lo cual se comprueba la estabilidad del encofrado deslizante, siendo la carga máxima de trabajo por gato de aproximadamente 2 Tn, lo cual proporciona un buen margen de seguridad considerando que la distribución de las cargas no es uniforme, que los gatos por el uso ya no tienen la misma capacidad de carga y a su vez no presentan una elevación simultánea.

#### 4.2.4. Empuje del concreto.

El A.C.I para determinar la presión lateral del concreto sobre el encofrado, en concretos vibrados realizados con encofrados deslizantes, propone la siguiente fórmula:

$$P = 4.8 + \frac{524 \times R}{T + 17.8}$$

Dónde:

P = Presión lateral del concreto (KPa).

R = Velocidad de llenado del concreto (m/h).

T = Temperatura del concreto (°C).

Considerando la velocidad máxima de llenado del molde de 1.0 m/h y una temperatura promedio del concreto de 20 °C, obtenemos:

$$P = 0.488 + \frac{0.962 \times 1.00}{20 + 17.8} = 18.66 \text{ Kpa} = 0.1903 \text{ kg/cm}^2$$

#### 4.2.5. Estabilidad de los paneles del encofrado deslizante.

El panel del encofrado deslizante está compuesto por tablas de 20x70 mm. espaciadas 145 mm entre sí, eje a eje, sobre las cuales se fija una plancha de triplay de Lupuna de 12 mm.

El encofrado se modela como una viga simplemente apoyada entre las cerchas, distanciadas entre sí 50 cm. eje a eje, con voladizos en sus extremos. Para efectos prácticos de diseño, se ha considerado que las tablas y el triplay forman una sección transversal rectangular de 20x32mm.

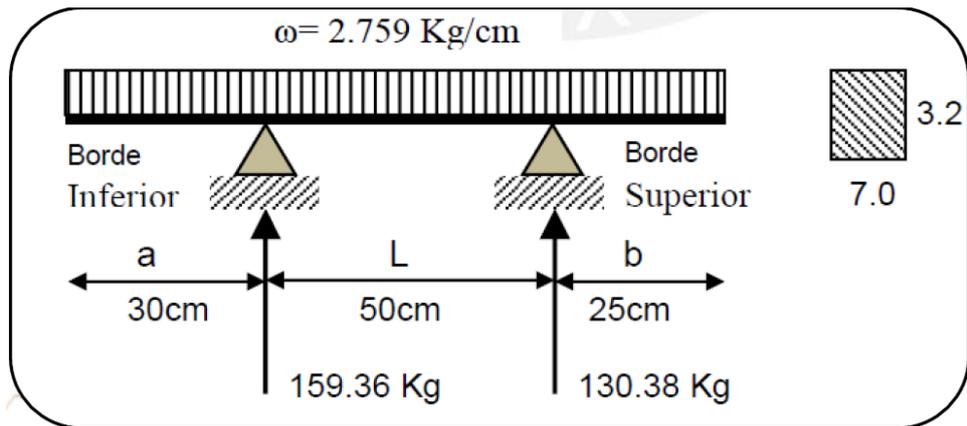


Imagen N° 44: Modelo de carga del encofrado

**a) Verificación de la estabilidad del entablado:**

- $P = 0.1903 \text{ Kg/cm}^2$
- $W = (0.1903 \text{ Kg/cm}^2) \times (14.5 \text{ cm}) = 2.759 \text{ Kg/cm}$
- Ancho de la Sección:  $b = 7.0 \text{ cm}$
- Peralte de la Sección:  $h = 3.2 \text{ cm}$
- Momento de inercia de la sección:  $I = 19.11 \text{ cm}^4$
- El momento flector y la cortante máxima se dan en el borde inferior del encofrado ( $a = 30\text{cm}$ ), y se calculan a la cara de apoyo de la tabla sobre las cercha ( $a = 25\text{cm}$ )

$$M_f = \frac{1}{2} W * (a + x_1)^2 - R a * x_1 = \frac{1}{2} (2.759) x (30 + 5)^2 - (159.36) x (5)$$

$$M_f = 893.36 \text{ Kg} \times \text{cm}^2$$

$$\sigma = \frac{6 \times M}{b \times h^2} = \frac{6 \times 893.36}{7 \times 3.2^2} = 74,78 \text{ Kg/cm}^2$$

Como el esfuerzo que se está aplicando al encofrado es menor que el esfuerzo resistente a flexión de la madera tornillo ( $90 \text{ Kg/cm}^2$ ), se verifica la estabilidad del entablado para el empuje del concreto.

$$V_{act} = wx(a - x1) = 2.759 x(30 - 5) = 68.99 Kg.$$

$$V_{Resist} = \frac{\tau x A}{1.5} = \frac{10 x 7 x 3.2}{1.5} = 119.47 Kg.$$

Como  $V_{act} < V_{resist}$  , se verifica la estabilidad del panel por corte.

Analizando con el programa SAP2000 la viga apoyada con voladizos en sus extremos, se obtiene que la deflexión máxima es:

$$\Delta_{max act} = 0.2931 \text{ cm.}$$

Verificando el ACI 117-90, Sección 7.3, se observa que la tolerancia en las dimensiones de la sección transversal de las paredes ejecutadas con encofrados deslizantes son +3/4" y -3/8". Para efectos de diseño consideramos:

$$\Delta_{max act} = \frac{1"}{8} = \frac{2.54}{8} = 0.3175 \text{ cm.}$$

Como  $\Delta_{max act} < \Delta_{max act}$  se verifica la estabilidad del panel por deflexión.

**b) Verificación de la estabilidad del panel de triplay de Lupuna del encofrado:**

W = (0.1903 Kg/cm <sup>2</sup> ) x (105 cm)	=	19.98 Kg/cm.
Ancho del Triplay (b)	=	105 cm.
Peralte del Triplay (h)	=	1.2 cm.
Luz (L) = 14.5 cm; Luz libre (L1)	=	7.5 cm.
Momento de inercia de la sección (I)	=	15.12 cm <sup>4</sup> .

$$M_f = \frac{1}{10} (W x L^2) = \frac{1}{10} (19.98) * (14.5^2) = 420.08 \text{ Kg} * \text{m}.$$

$$\sigma = \frac{6 x M}{b x h^2} = \frac{6 x 420.08}{105 x 1.2^2} = 16.67 \text{ Kg/cm}^2.$$

Como el  $\sigma_{act} < \sigma_{Resist}$  (120 Kg/cm<sup>2</sup>) se verifica la estabilidad del triplay para el empuje del concreto.

$$V_{act} = \frac{5}{8} * W * L1 = \frac{5}{8} * 19.98 * 7.5 = 93.66 \text{ Kg}.$$

$$V_{Resist} = \frac{t * A}{1.5} = \frac{10 * 105 * 1.2}{1.5} = 840 \text{ Kg}.$$

Como  $V_{act} < V_{Resist}$ , se verifica la estabilidad del panel por corte.

$$\Delta_{max act} = \frac{W x L^4}{185 x E x I} = \frac{19.98 x 7.5^4}{185 x 90,000 x 15.12} = 0.00025 \text{ cm}.$$

$$\Delta_{max adm} = \frac{L1}{270} = \frac{7.5}{270} = 0.028 \text{ cm}.$$

Como el  $\Delta_{max act} < \Delta_{max adm}$  se verifica la estabilidad del panel por deflexión.

**c) Verificación de la estabilidad de las Cerchas para la presión lateral del concreto:**

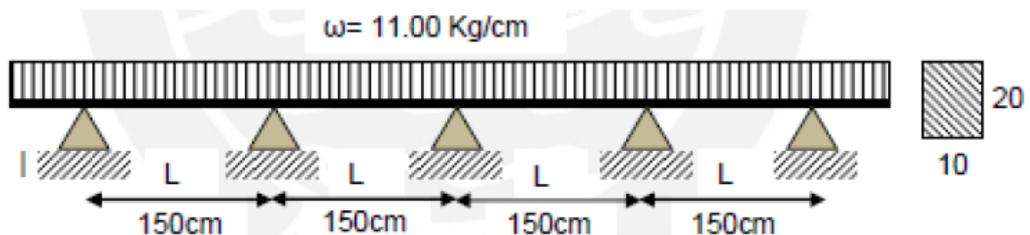


Imagen N° 45: Análisis de estabilidad de cerchas

$$W = \frac{159,36 \text{ Kg}}{14.5 \text{ cm}} = 11.00 \text{ Kg/cm.}$$

- Ancho del Cercha:  $b = 10 \text{ cm.}$
- Peralte del Cercha:  $h = 20 \text{ cm.}$
- Considerando que los yugos se encuentran espaciados entre sí 150 cm como máximo, Luz (L) = 150 cm.
- Momento de inercia de la sección:  $I = 6,666.67 \text{ cm}^4.$

$$M_f = \frac{1}{10} (W \times L^2) = \frac{1}{10} (11.0) \times (150)^2 = 24,750 \text{ kg x cm.}$$

$$\sigma = \frac{6 \times M}{b \times h^2} = \frac{6 \times 24,750}{10 \times 20^2} = 37,13 \text{ Kg/cm}^2$$

Como  $\sigma_{act} < \sigma_{Resist}$  (90/  $\text{cm}^2$ ), se verifica la estabilidad de la cercha para el empuje del concreto

$$V_{act} = \frac{5}{8} \times W \times L = \frac{5}{8} \times 11 \times 150 = 1,031.25 \text{ Kg.}$$

$$V_{resist} = \frac{\tau \times A}{1.5} = \frac{8 \times 10 \times 20}{1.5} = 1,066.67 \text{ Kg.}$$

Como  $V_{act} < V_{re}$ , se verifica la estabilidad de la cercha por corte.

$$\Delta_{max \ act} = \frac{W \times L^4}{185 \times E \times I} = \frac{11.0 \times 150^4}{185 \times 90,000 \times 6,666.67} = 0.0502 \text{ cm.}$$

$$\Delta_{max \ adm} = \frac{1''}{8} = \frac{2.54}{8} = 0.3175 \text{ cm.}$$

Como el  $\Delta_{max \ act} < \Delta_{max \ adm}$  se verifica la estabilidad del panel por deflexión.

Se observa que por fuerza cortante las cerchas del encofrado deslizante estarían trabajando en su límite, por lo cual se recomienda espaciar los yugos a una distancia menor de 1.50 (1.20m o 1.30m) y llenar el molde a una menor velocidad (30 - 50cm/h) para contar con un mayor factor de seguridad.

**d) Verificación de la estabilidad de las Cerchas para la Carga de Trabajo:**

Se va a verificar la estabilidad de las cerchas interiores del encofrado deslizante, las cuales soportan las mayores cargas. Estas cerchas, están sometida a las cargas debido al peso propio del encofrado, peso de la estructura metálica, a las fuerzas de rozamiento entre el encofrado y el concreto, y a una sobrecarga (200Kg/m<sup>2</sup>), como se detalla a continuación:

Cargas Muertas	
Peso de la estructura metálica (150 Kg/ml.)	= 150 Kg/m
Peso de la estructura del E.D.(42 p2./ml. x 1.3 Kg/p2.)	= 54.6 Kg/m
Peso de la pared del E.D. (0.45 pl/ml x 20 Kg/pl.)	= 9 Kg/m
Peso de la madera – plataformas (80p2/ml x 1.3Kg/p2)	= 103 Kg/m
<b>Carga Permanente</b>	<b>317 Kg/m</b>

Cargas Vivas	
Sobrecarga (200 Kg/m <sup>2</sup> x 2.50 m.)	= 500 Kg/m
Fr – Arranque (441 Kg/ml) = 441 Kg/m	
Fr - Deslizamiento (225 Kg/ml.)	= 225 Kg/m

<b>Carga Viva en el Arranque</b>	<b>941 Kg/m</b>
----------------------------------	-----------------

<b>Carga Viva en el Deslizamiento</b>	<b>725 Kg/m</b>
---------------------------------------	-----------------

<b>Carga Total en el Arranque</b>	<b>= 317 + 941</b>	<b>= 1,258 Kg/m.</b>
<b>Carga Total en el Deslizamiento</b>	<b>= 317 + 725</b>	<b>= 1,042 Kg/m.</b>

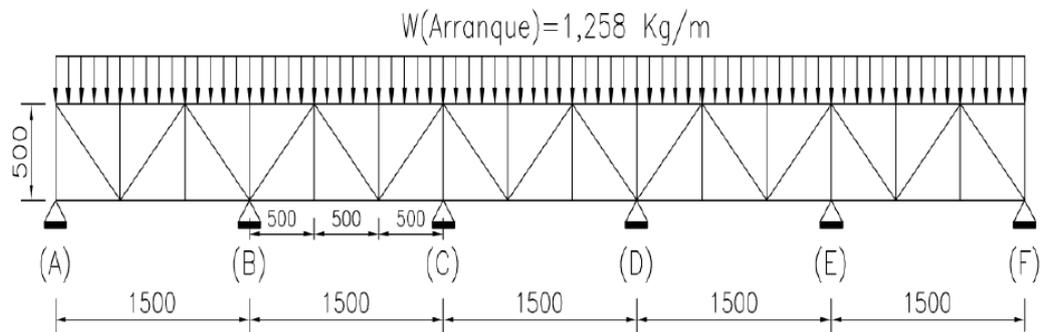


Imagen N° 46: Esquema de Viga Celosía de 5 tramos, sometida a una carga distribuida uniforme W

Las cerchas superior e inferior se encuentran unidas mediante montantes (2"x4") y diagonales (2"x3") formando una viga en celosía, la cual puede considerarse apoyada en los puntos en que el encofrado esta sostenido por los yugos metálicos.

Para efectos de diseño se va analizar una viga celosía de 05 tramos, con lo yugos espaciados 1.50 m entre sí, sometida a una carga uniformemente distribuida en el arranque del deslizamiento de  $W = 1,258 \text{ Kg/m}$ . (Img. 46).

Antes de analizar la viga celosía, se determinan las fuerzas máximas que soportan en Tracción y Compresión, las montantes (2"x4"x40cm) y las diagonales (2"x3"x60cm) que conforman el reticulado de la viga celosía.

Hay que mencionar que casi todo el porcentaje de las fuerzas de Tracción que se generan son asumidas por los espárragos de 3/4", que unen los cordones superiores e inferiores, ubicados cada 1.20m en todo el perímetro del encofrado.

- Fuerzas máximas para elementos en Tracción:

$$F_{\tau} = \sigma_{\tau} * A$$

$$F_{\tau Montaje} = 75 * 5 * 10 = 3,750 \text{ Kg.}$$

$$F_{\tau Diagonal} = 75 * 5 * 7.5 = 2,812 \text{ Kg}$$

Fuerzas máximas para elementos en Compresión:

$$(\lambda = \frac{L_{Ef}}{d}) < 10$$

$$F_c = \sigma_c * A$$

$$10 < \lambda < C_K$$

$$F_c = \sigma_c * A * [1 - \frac{1}{3} * (\frac{\lambda}{C_K})^4]$$

$$\lambda_M = \frac{40}{5} = 8 < 10$$

$$F_{c Montaje} = 80 * 5 * 10 = 4,000 \text{ Kg}$$

$$\lambda_D = \frac{60}{5} = 12 < 18.42$$

$$F_{c Diagonal} = 80 * 5 * 7.5 * [1 - \frac{1}{3} * (\frac{12}{18.42})^4]$$

$$F_{c Diagonal} = 3,000 * [0.93996] = 2,820 \text{ Kg.}$$

Después de analizar la viga celosía se observa que las fuerzas de compresión y tracción que se generan en las montantes y diagonales (Img. 47 y 48) son menores a las fuerzas permisibles, contando con un factor de seguridad mayor a 2.5, con lo que se verifica la estabilidad de las cerchas del encofrado deslizante para las cargas que se generan en el arranque.

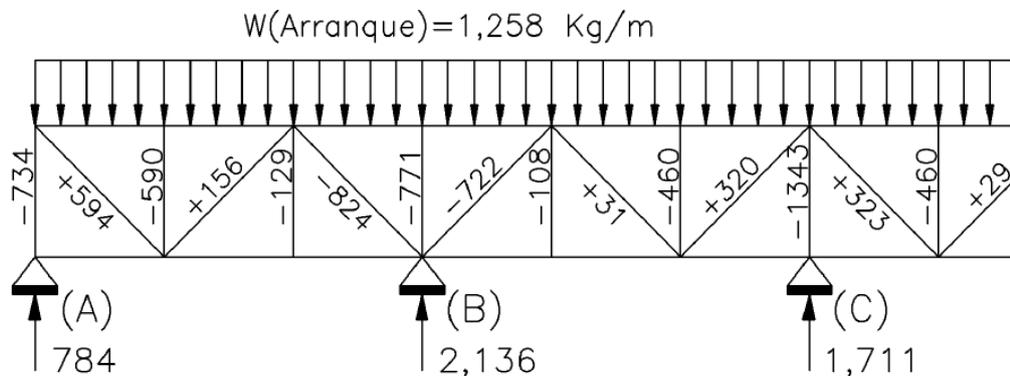


Imagen N° 47: Cargas Axiales y Reacciones que se generan en la Viga Celosía (T. inicial)

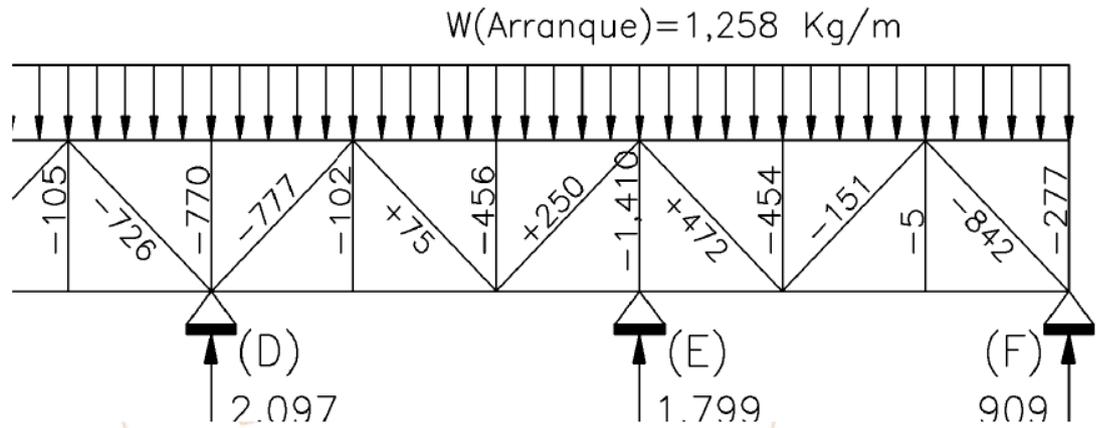


Imagen N° 48: Cargas Axiales y Reacciones que se generan en la Viga Celosía (T. final)

Asimismo, de los resultados se observa que la máxima reacción que se genera en uno de los apoyos interiores durante el arranque del deslizamiento es de 2.14 Tn. (Img. 47), con lo cual este gato estaría trabajando en el límite de su capacidad de carga. Por ello, se recomienda colocar los yugos a una distancia de 1.20m a 1.30m entre sí, para trabajar del lado de la seguridad en caso de que un gato falle, y los gatos adyacentes tengan que asumir toda la carga.

#### e) Verificación de la estabilidad de las Cerchas cuando un gato falla durante el deslizamiento:

Para efectos de diseño se va analizar una viga celosía de 06 tramos, con los yugos espaciados 1.25 m entre sí, sometida a una carga uniformemente distribuida durante el deslizamiento de  $W= 1,042 \text{ Kg/m}$ . (Img. 49), donde el gato central (D) no está trabajando.

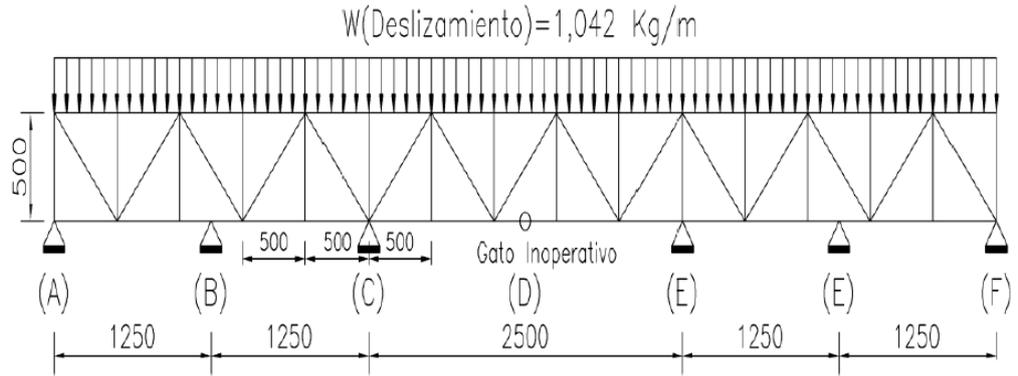


Imagen N° 49: Viga Celosía de 5 tramos, sometida a una carga distribuida uniforme W

Después de analizar la viga celosía se observa que las fuerzas de compresión y tracción que se generan en las montantes y diagonales (Img. 50 y 51) son menores a las fuerzas permisibles, contando con un factor de seguridad mayor a 2.0, con lo que se verifica la estabilidad de las cerchas del encofrado deslizante para las cargas que se generan durante el deslizamiento cuando un gato se encuentre inoperativo.

Asimismo, de los resultados se observa que la máxima reacción que se genera en uno de los apoyos interiores adyacentes al gato que falla durante el deslizamiento es de 2.24 Tn, con lo cual se comprueba la estabilidad del encofrado. Sin embargo, se recomienda reemplazar el gato inoperativo en el menor tiempo posible para no esforzar mucho a los gatos adyacentes y continuar trabajando del lado de la seguridad.

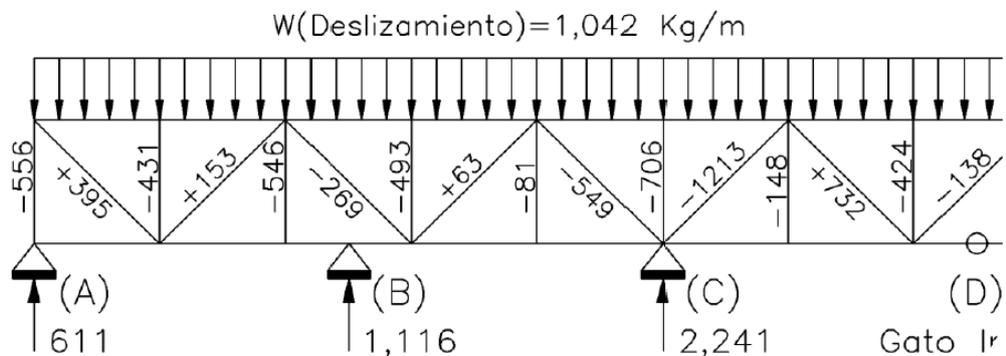


Imagen N° 50: Cargas Axiales y Reacciones que se generan en la Viga Celosía (T. inicial)

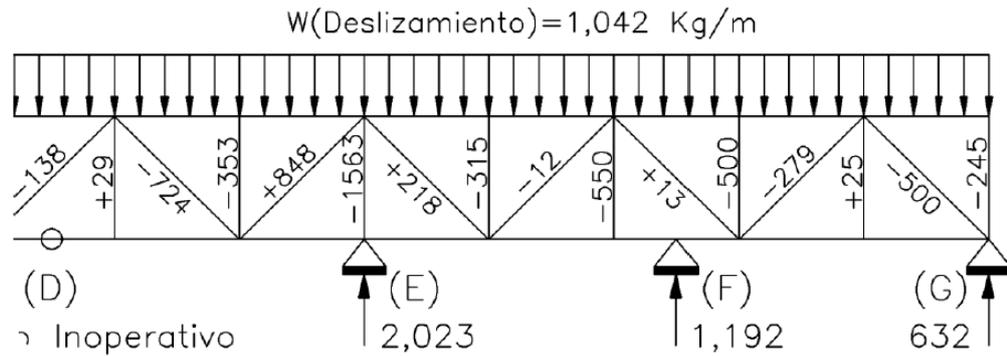


Imagen N° 51: Cargas axiales y reacciones que se generan en la Viga Celosía (T. final)

#### 4.2.6. Verificación de pandeo en las barras de apoyo

El modelo a verificar será el de una barra empotrada con carga axial en el eje de ella misma, con extremo empotrado y el otro extremo con un apoyo simple (Img. 52)

El AISC para estos casos considera un factor de esbeltez  $K= 0.80$ . La esbeltez de la barra está definida por las siguientes fórmulas:

$$\text{Esbeltez} = \frac{K*L}{r}$$

$$\lambda_c = \frac{K*L}{\pi*xr} \sqrt{\frac{Fy}{E}}$$

Donde:

- K: Factor de esbeltez = 0.80
- r: radio de giro de la barra = 0.25\*D
- D: Diámetro de la barra = 25 mm.
- E: Modulo de Elasticidad = 2,100,00 Kg/cm<sup>2</sup>
- Fy: Resistencia a la fluencia, para el acero ASTM A50, Fy= 3,515 Kg/cm<sup>2</sup>
- $\lambda_c$ : Función de Esbeltez
- L: Longitud libre entre el gato y el concreto endurecido.

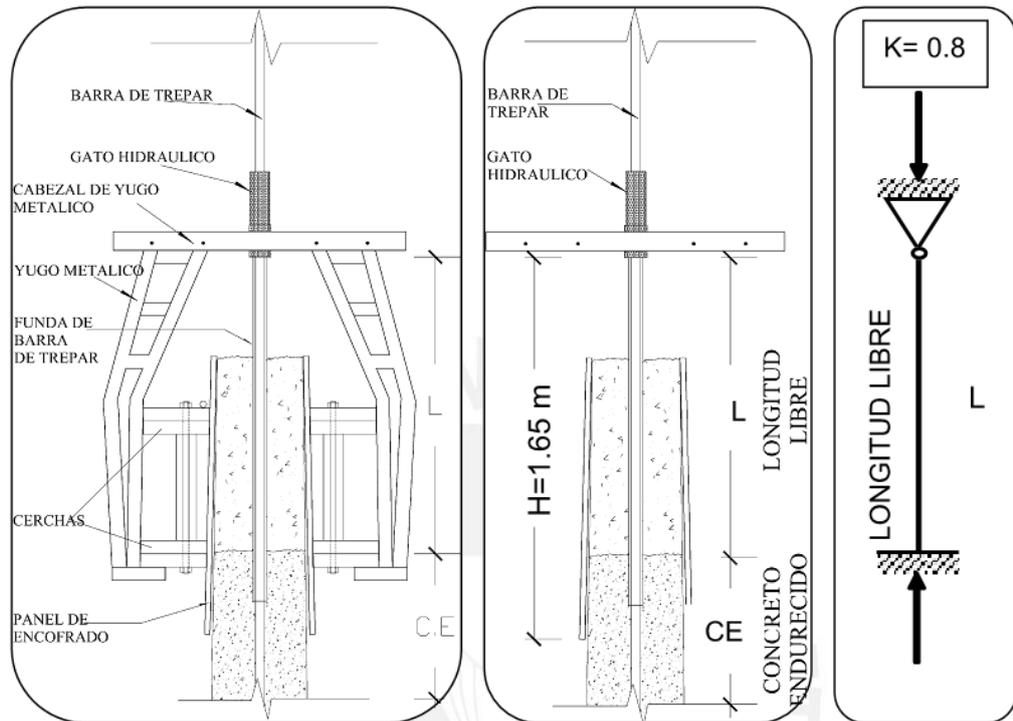


Imagen N° 52: Esquema de la barra de trepar, apoyada en el gato y empotrada en el concreto

a) Cuando la Barra de Trepar atraviesa vanos ( $L=1.65\text{m}$ )

$$\text{Esbeltez} = \frac{0.8 \times 1.65}{0.25 \times 0.025} = 211.20$$

$$\lambda_c = \frac{0.8 \times 1.65}{\pi \times 0.25 \times 0.25} \sqrt{\frac{3,515}{2,100,000}} = 2.7504$$

Cuando  $\lambda_c \geq 1.5$

$$\phi_c * F_{cr} = 0.85 * \frac{(0.877)}{2.754^2} * 3,515 = 346,38 \text{ Kg/cm}^2$$

La fuerza máxima admisible de la barra es:

$$\Phi * P_n = \phi_c * F_{cr} * \text{Area de la barra}$$

$$\Phi * P_n = 346.38 * 4.91 * 1,700. \text{Kg}$$

Por lo tanto, para evitar que las barras de trepar fallen por pandeo cuando se atraviesan vanos, deben soportar cargas menores a 1.70 Tn y ser arriostradas contra la estructura que se va ejecutando, aproximadamente cada 60 cm.

**b) Cuando hay 30cm de concreto endurecido en el molde (L=1.35m)**

$$Esbeltex = \frac{0.8 \times 1.35}{0.25 \times 0.025} = 172.8$$

$$\lambda_c = \frac{0.8 \times 1.35}{\pi \times 0.25 \times 0.25} \sqrt{\frac{3,515}{2,100,000}} = 2.2503 > 1.5$$

$$\phi_c * F_{cr} = 0.85 * \frac{(0.877)}{2.2503^2} * 3,515 = 517,43 \text{ Kg/cm}^2$$

La fuerza máxima admisible de la barra es:

$$\phi * P_n = \phi_c * F_{cr} * \text{Areadelabarra}$$

$$\phi * P_n = 517,43 * 4.91 = 2,540.6 \text{ Kg.}$$

Por lo tanto, para evitar que las barras de trepar fallen por pandeo, deben soportar cargas menores a 2.54 Tn y procurar llevar el molde con una fragua constante de 30cm. Sin embargo, como los gatos se calculan para trabajar con una carga de máxima 2 Tn, las barras no fallarían por Pandeo.

Para el caso particular de células circulares aisladas de pequeño diámetro debe considerarse la tendencia al giro del encofrado, para lo cual se deben tomar las precauciones necesarias para controlar y/o evitar la rotación del encofrado. Por lo cual, no se tiene que sobrecargar las barras ya que su capacidad portante disminuye al aumentar su esbeltez, esto debido a que las cargas no se distribuyen uniformemente y generan componentes horizontales que acentúan la tendencia al giro.

### **4.3. RESUMEN DE RESULTADOS**

Para que se pueda comprender todo lo mencionado de una manera cuantitativa se adjunta a continuación la tabla resumen de resultados para diferentes alturas de las dos estructuras.

**RESUMEN DE RESULTADOS**  
**SILO DE HOMOGENIZACION - CEMENTOS SUR S.A.**

CUADRO N° 4: Resumen de resultados - Cementos Sur.

ALTURA	ÁREA ENCOFRADO	COSTOS UNITARIOS ENCOFRADO (S/. *m2)			COSTO TOTAL (S/.)			TIEMPO DE EJECUCIÓN (DÍA)		
		E. DE MAD.	E. METAL.	E. DESLIZ.	E. DE MAD.	E. METAL.	E. DESLIZ.	E. DE MAD.	E. METAL.	E. DESLIZ.
12	1,152.96	S/. 52.60	S/. 59.06	S/. 70.41	S/. 60,646	S/. 68,094	S/. 81,180	23	16	18
13	1,249.04	S/. 52.75	S/. 59.10	S/. 69.05	S/. 65,887	S/. 73,818	S/. 86,246	25	18	18
14	1,345.12	S/. 52.89	S/. 59.14	S/. 67.70	S/. 71,143	S/. 79,550	S/. 91,065	27	19	18
15	1,441.20	S/. 53.04	S/. 59.18	S/. 66.34	S/. 76,441	S/. 85,290	S/. 95,609	29	21	19
16	1,537.28	S/. 53.18	S/. 59.22	S/. 64.98	S/. 81,753	S/. 91,038	S/. 99,892	31	22	19
17	1,633.36	S/. 53.33	S/. 59.26	S/. 63.63	S/. 87,107	S/. 96,793	S/. 103,931	33	23	19
18	1,729.44	S/. 53.48	S/. 59.30	S/. 62.27	S/. 92,490	S/. 102,556	S/. 107,692	35	25	19
19	1,825.52	S/. 53.62	S/. 59.34	S/. 60.91	S/. 97,884	S/. 108,326	S/. 111,192	37	26	20
20	1,921.60	S/. 53.77	S/. 59.38	S/. 59.56	S/. 103,324	S/. 114,105	S/. 114,450	38	27	20
21	2,017.68	S/. 53.91	S/. 59.42	S/. 58.20	S/. 108,773	S/. 119,891	S/. 117,429	40	29	20
22	2,113.76	S/. 54.06	S/. 59.46	S/. 56.84	S/. 114,270	S/. 125,684	S/. 120,146	42	30	20
23	2,209.84	S/. 54.20	S/. 59.50	S/. 55.49	S/. 119,773	S/. 131,485	S/. 122,624	44	32	20
24	2,305.92	S/. 54.35	S/. 59.54	S/. 54.13	S/. 125,327	S/. 137,294	S/. 124,819	49	34	21
25	2,402.00	S/. 54.53	S/. 59.58	S/. 53.68	S/. 130,981	S/. 143,111	S/. 128,939	51	36	21

<b>26</b>	2,498.08	S/. 54.71	S/. 59.63	S/. 53.23	S/. 136,670	S/. 148,961	S/. 132,973	53	37	21
<b>27</b>	2,594.16	S/. 54.89	S/. 59.67	S/. 52.78	S/. 142,393	S/. 154,794	S/. 136,920	55	39	21
<b>28</b>	2,690.24	S/. 55.06	S/. 59.72	S/. 52.32	S/. 148,125	S/. 160,661	S/. 140,753	57	40	22
<b>29</b>	2,786.32	S/. 55.24	S/. 59.76	S/. 51.87	S/. 153,916	S/. 166,510	S/. 144,526	59	42	22
<b>30</b>	2,882.40	S/. 55.42	S/. 59.81	S/. 51.42	S/. 159,743	S/. 172,396	S/. 148,213	61	43	22
<b>31</b>	2,978.48	S/. 55.60	S/. 59.85	S/. 50.97	S/. 165,603	S/. 178,262	S/. 151,813	63	44	22
<b>32</b>	3,074.56	S/. 55.78	S/. 59.89	S/. 50.52	S/. 171,499	S/. 184,135	S/. 155,327	65	46	23
<b>33</b>	3,170.64	S/. 55.96	S/. 59.94	S/. 50.07	S/. 177,429	S/. 190,048	S/. 158,754	67	47	23
<b>34</b>	3,266.72	S/. 56.13	S/. 59.98	S/. 49.61	S/. 183,361	S/. 195,938	S/. 162,062	70	49	23
<b>35</b>	3,362.80	S/. 56.31	S/. 60.03	S/. 49.16	S/. 189,359	S/. 201,869	S/. 165,315	72	50	23
<b>36</b>	3,458.88	S/. 56.49	S/. 60.07	S/. 48.71	S/. 195,392	S/. 207,775	S/. 168,482	79	54	24
<b>37</b>	3,554.96	S/. 56.67	S/. 60.11	S/. 48.48	S/. 201,460	S/. 213,689	S/. 172,344	81	56	24
<b>38</b>	3,651.04	S/. 56.85	S/. 60.16	S/. 48.26	S/. 207,562	S/. 219,647	S/. 176,199	83	57	24
<b>39</b>	3,747.12	S/. 57.03	S/. 60.20	S/. 48.03	S/. 213,698	S/. 225,577	S/. 179,974	85	59	24
<b>40</b>	3,843.20	S/. 57.20	S/. 60.25	S/. 47.80	S/. 219,831	S/. 231,553	S/. 183,705	87	60	25

Fuente: Elaboración propia F.A.A

## BATERIA DE SILOS - UNACEM S.A.A.

CUADRO Nº 5: Resumen de resultados - UNACEM.

ALTURA	ÁREA ENCOFRADO	COSTOS UNITARIOS ENCOFRADO (S/. *m2)			COSTO TOTAL (S/.)			TIEMPO DE EJECUCIÓN (DÍA)		
		E. DE MAD.	E. METAL.	E. DESLIZ.	E. DE MAD.	E. METAL.	E. DESLIZ.	E. DE MAD.	E. METAL.	E. DESLIZ.
25	2,823.00	S/. 54.53	S/. 59.58	S/. 51.11	S/. 153,938	S/. 168,194	S/. 144,284	56	40	19
26	2,935.92	S/. 54.71	S/. 59.63	S/. 50.66	S/. 160,624	S/. 175,069	S/. 148,734	59	42	19
27	3,048.84	S/. 54.89	S/. 59.67	S/. 50.21	S/. 167,351	S/. 181,924	S/. 153,082	61	44	20
28	3,161.76	S/. 55.06	S/. 59.72	S/. 49.75	S/. 174,087	S/. 188,820	S/. 157,298	63	45	20
29	3,274.68	S/. 55.24	S/. 59.76	S/. 49.30	S/. 180,893	S/. 195,695	S/. 161,442	65	47	20
30	3,387.60	S/. 55.42	S/. 59.81	S/. 48.85	S/. 187,741	S/. 202,612	S/. 165,484	68	48	20
31	3,500.52	S/. 55.60	S/. 59.85	S/. 48.40	S/. 194,629	S/. 209,506	S/. 169,425	70	50	20
32	3,613.44	S/. 55.78	S/. 59.89	S/. 47.95	S/. 201,558	S/. 216,409	S/. 173,264	72	52	20
33	3,726.36	S/. 55.96	S/. 59.94	S/. 47.50	S/. 208,527	S/. 223,358	S/. 177,002	75	53	21
34	3,839.28	S/. 56.13	S/. 59.98	S/. 47.04	S/. 215,499	S/. 230,280	S/. 180,600	77	55	21
35	3,952.20	S/. 56.31	S/. 60.03	S/. 46.59	S/. 222,548	S/. 237,251	S/. 184,133	79	56	21
36	4,065.12	S/. 56.49	S/. 60.07	S/. 46.14	S/. 229,639	S/. 244,192	S/. 187,565	86	61	21
37	4,178.04	S/. 56.67	S/. 60.11	S/. 45.91	S/. 236,770	S/. 251,142	S/. 191,814	89	62	21
38	4,290.96	S/. 56.85	S/. 60.16	S/. 45.69	S/. 243,941	S/. 258,144	S/. 196,054	91	64	21
39	4,403.88	S/. 57.03	S/. 60.20	S/. 45.46	S/. 251,153	S/. 265,114	S/. 200,200	94	66	22
40	4,516.80	S/. 57.20	S/. 60.25	S/. 45.23	S/. 258,361	S/. 272,137	S/. 204,295	96	67	22

Fuente: Elaboración propia F.A.A

#### 4.4.- INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

Las estructuras analizadas a continuación fueron:

A. Silo de Homogenización - Cementos Sur S.A.

B. Batería de Silos – UNACEM. S.A.A.

Estas fueron analizadas tomando en cuenta el objetivo a alcanzar; de este modo se obtuvieron los siguientes resultados:

##### 4.4.1. Silo de Homogenización - Cementos Sur S.A.

###### Costo de los sistemas de encofrados:

En el cuadro N° 6. Se muestran los resultados obtenidos, referentes al tipo de encofrado más económico, de la misma forma se hicieron una serie de iteraciones para aplicarlos a estructuras de alturas mayores de hasta 40m.

CUADRO N° 6: Costo total de los encofrados – Cementos Sur

DESCRIPCIÓN	ENC. DE MADERA		ENC. METÁLICO		ENC. DESLIZANTE	
	s/.	%	s/.	%	s/.	%
12 m.	60,646	28.9	68,094	32.4	81,180	38.7
20 m.	103,324	31.1	114,105	34.4	114,450	34.5
30 m.	159,743	33.3	172,396	35.9	148,213	30.9
40 m.	219,831	34.6	231,553	36.5	183,705	28.9

Fuente: Elaboración Propia F.A.A

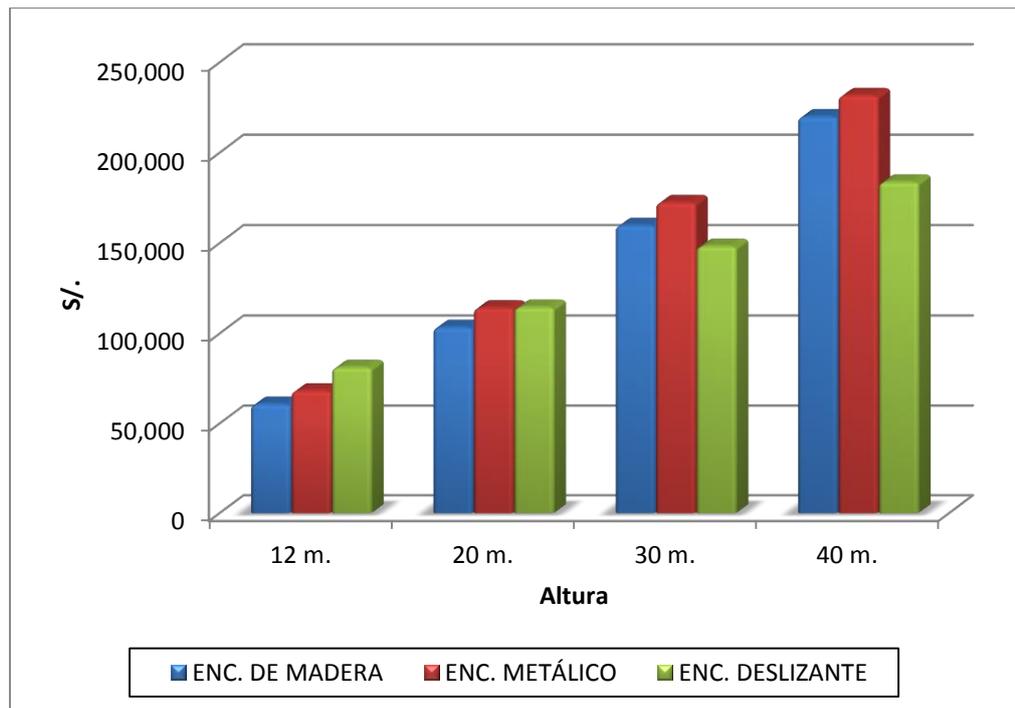


Imagen N° 53: Comparación de costo de los encofrados - Cementos Sur

Los resultados obtenidos determinan que a mayor altura el encofrado deslizante resulta más económico, realizando una comparación con los encofrados metálicos el encofrado deslizante nos resulta rentable a partir de estructuras mayores a los 21 m. de altura y en comparación al encofrado de madera resulta económico aplicar a estructuras mayores de 24 m. de altura; a partir de ese intervalo, a medida que aumenta la altura del silo se hacen más notorias las diferencias de costos, resultando cada vez más económica la construcción con el sistema de encofrados deslizantes como se muestran a continuación:

- Para 12m. de altura el porcentaje de costos es la siguiente.

Encofrado de Madera	= 28.9 %	⇒ El más económico
Encofrado Metálico	= 32.4 %	
Encofrado Deslizante	= 38.7 %	

- Para 20m. de altura el porcentaje de costos es la siguiente.

Encofrado de Madera	= 31.1 %	⇒ El más económico
Encofrado Metálico	= 34.4 %	
Encofrado Deslizante	= 34.5 %	

- Para 30m. de altura el porcentaje de costos es la siguiente.

Encofrado de Madera	= 33.3 %	
Encofrado Metálico	= 35.9 %	
Encofrado Deslizante	= 30.9 %	⇒ El más económico

- Para 40m. de altura el porcentaje de costos es la siguiente.

Encofrado de Madera	= 34.6 %	
Encofrado Metálico	= 36.5 %	
Encofrado Deslizante	= 28.9 %	⇒ El más económico

### Tiempo de ejecución de los sistemas de encofrados:

En el cuadro N° 7 se muestran los resultados obtenidos conforme al tipo de encofrado que se ejecutara en menor tiempo, de la misma forma se hicieron iteraciones para aplicarlos a estructuras de alturas mayores de hasta 40m.

CUADRO N° 7: Tiempo de ejecución de los encofrados – Cementos Sur

DESCRIPCIÓN	ENC. DE MADERA		ENC. METÁLICO		ENC. DESLIZANTE	
	días	%	días	%	días	%
12 m.	23	40.4	16	28.1	18	31.6
20 m.	38	44.7	27	31.8	20	23.5
30 m.	61	48.4	43	34.1	22	17.5
40 m.	87	50.6	60	34.9	25	14.5

Fuente: Elaboración Propia F.A.A

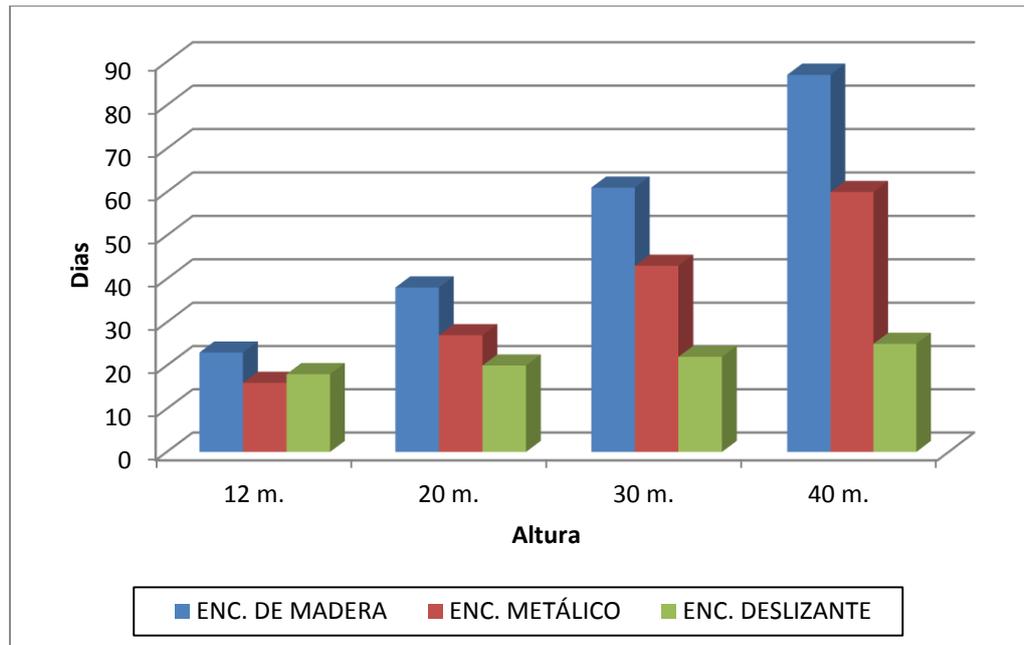


Imagen N° 54: Comparación del tiempo de ejecución - Cementos Sur

También, como se puede observar en el cuadro N° 7, en las estructuras mayores a 10 m. de altura los tiempos de ejecución usando encofrados deslizantes son más reducidos a comparación de los encofrados convencionales y a 13 m. de altura en comparación a los encofrados metálicos; como se detalla a continuación:

- Para 12m. de altura el tiempo de ejecución más rápido.

Encofrado de Madera = 40.4 %

Encofrado Metálico = 28.1 % ⇒ Menor tiempo de ejecución

Encofrado Deslizante = 31.6 %

- Para 20m. de altura el tiempo de ejecución más rápido.

Encofrado de Madera = 44.7 %

Encofrado Metálico = 31.8 %

Encofrado Deslizante = 23.5 % ⇒ Menor tiempo de ejecución

- Para 30m. de altura el tiempo de ejecución más rápido.

Encofrado de Madera = 48.4 %  
 Encofrado Metálico = 34.1 %  
 Encofrado Deslizante = 17.5 % ⇒ Menor tiempo de ejecución

- Para 40m. de altura el tiempo de ejecución más rápido.

Encofrado de Madera = 50.6 %  
 Encofrado Metálico = 34.9 %  
 Encofrado Deslizante = 14.5 % ⇒ Menor tiempo de ejecución

Por otro lado, cabe resaltar, que si se logra establecer una velocidad de izaje promedio mayor a los 17.5 cm/h., la diferencia de costos se inclina más a favor de los encofrados deslizantes como se muestra a continuación:

#### 4.4.2. Batería de Silos - UNACEM S.A.A.

##### Costo de los sistemas de encofrados:

En el cuadro N° 8. se muestran los resultados obtenidos referentes al tipo de encofrado más económico, con la finalidad de verificar la incidencia de la velocidad de deslizamiento en el costo ya que esta batería de silos presenta un promedio de izaje de 25 cm/h. el cual es superior al silo evaluado anteriormente.

CUADRO N° 8: Costo total de los encofrados – UNACEM.

DESCRIPCIÓN	ENC. DE MADERA		ENC. METÁLICO		ENC. DESLIZANTE	
	s/.	%	s/.	%	s/.	%
Altura						
25 m.	153,938	33.0	168,194	36.1	144,284	30.9
30 m.	187,744	33.8	202,612	36.5	165,484	29.8
40 m.	258,361	35.2	272,137	37.0	204,295	27.8

Fuente: Elaboración Propia F.A.A

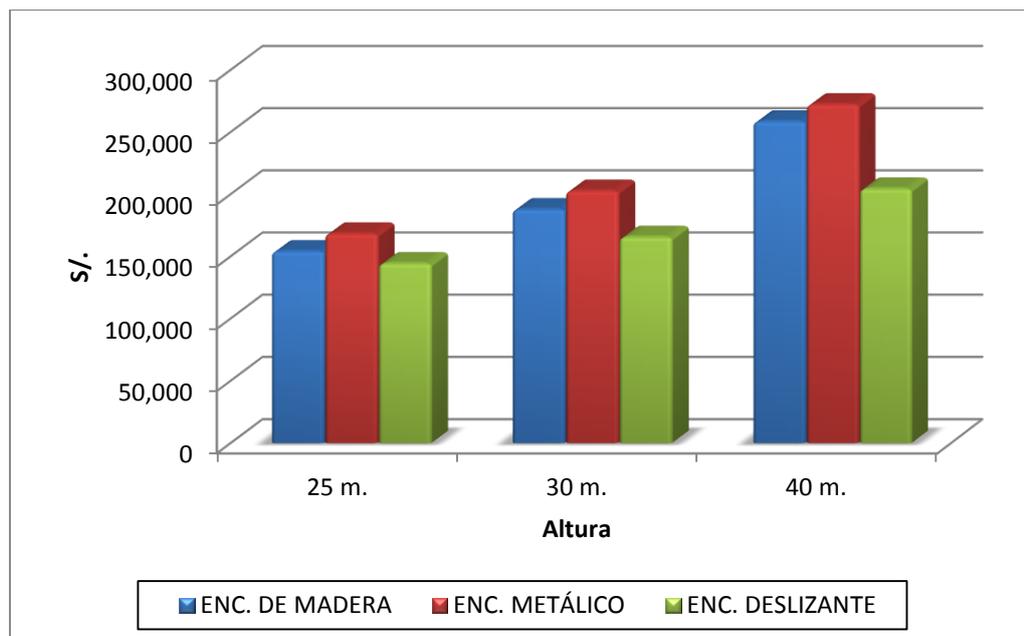


Imagen N° 55: Comparación de costo de los encofrados – UNACEM

Como se puede observar el costo es menor en 3% en comparación al primer silo evaluado por tal razón la velocidad de deslizamiento es un factor determinante favorable.

#### Tiempo de ejecución de los sistemas de encofrados:

En el cuadro N° 9. se muestran los resultados obtenidos conforme al tipo de encofrado que se ejecutara en menor tiempo, de la misma forma se hicieron iteraciones para aplicarlos a estructuras de alturas mayores de hasta 40m.

CUADRO N° 9: Tiempo de ejecución de los encofrados – UNACEM

DESCRIPCIÓN	ENC. DE MADERA		ENC. METÁLICO		ENC. DESLIZANTE	
	días	%	días	%	días	%
25 m.	56	48.7	40	34.8	19	16.5
30 m.	68	50.0	48	35.3	20	14.7
40 m.	96	51.9	67	36.2	22	11.9

Fuente: Elaboración Propia F.A.A

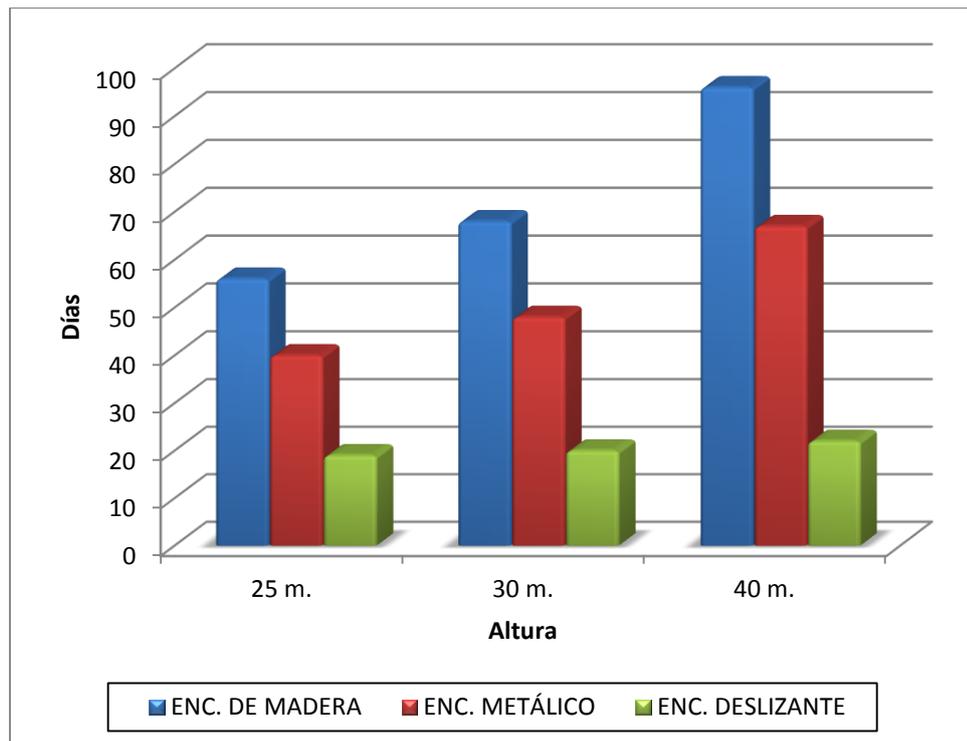


Imagen N° 56: Comparación del tiempo de ejecución – UNACEM.

Verificamos que el tiempo de ejecución es mayor en 4% en comparación al primer silo evaluado que tenía una velocidad de deslizamiento menor a este, por tal razón la velocidad de deslizamiento es un factor importante que se debe tomar en cuenta.

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

- Para estructuras inferiores a los 21m. de altura resulta más económico la aplicación del sistema de encofrados convencionales y metálicos por la facilidad del montaje al inicio del encofrado, lo cual no sucede con el encofrado deslizante por lo complejo de la habilitación del molde; sin embargo a medida que aumenta la altura de la estructura se hacen notorias las diferencias de costos, resultando cada vez más económica la construcción con el sistema de encofrados deslizantes a partir de los 21m. de altura en comparación a los encofrados metálicos y 24m. de altura frente al sistema de encofrados convencionales.
- En cuanto a rendimiento se llegó a la conclusión que los encofrados metálicos son una buena alternativa debido a la larga vida útil que presenta este material, lo cual se recomienda deberá aplicarse en la medida que se estandaricen las simetrías de las estructuras, lo cual nos permitirá disminuir los costos ya que de otro modo seria antieconómico su uso. Por otro lado el encofrado deslizante presenta una mayor rapidez en el tiempo de ejecución, realizando una comparación este es ampliamente superior hasta en un 36 % frente al sistema de encofrados convencionales y en 20 % más rápido frente a los encofrados metálicos.
- Las ventajas o desventajas que presentan cada uno de los sistemas de encofrados están condicionadas directamente al tipo de estructura. Realizando una comparación de los diferentes sistemas de encofrados se obtuvo que las mayores ventajas obtenidas provienen del sistema de encofrados deslizantes por la ejecución continua y en simultáneo de varias operaciones, suprimiendo así los tiempos

mueritos y los estrangulamientos que se ve reflejado en una mayor economía y productividad de la mano de obra.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- En general se recomienda que todo proyecto debe de ser estudiado a detalle antes del inicio de los trabajos, realizando una compatibilización entre todos los planos, para que se pueda adaptar y/o modificar en función al proceso constructivo y así elegir el tipo de encofrado favorable.
- Se recomienda la aplicación de los encofrados deslizantes a estructuras elevadas, que presenten una sección en planta uniforme en el desarrollo de su altura, para que así se pueda obtener un mayor beneficio de las ventajas que ofrece el método. Lo cual se refleja principalmente en una mayor productividad, una economía en los costos y una mejor calidad de las obras.
- Si el deslizamiento de las paredes se va a realizar en una temporada donde son frecuentes las lluvias y/o granizadas como es el caso de la región Puno, se debe de prever con anticipación el suministro, habilitación, montaje y colocación de un toldo que proteja las plataformas interiores y exteriores de trabajo. Asimismo, la plataforma de trabajo superior debería de tener una inclinación contraria a las paredes de concreto, para evitar que el agua drene hacia el molde. También se debe evaluar con anticipación la calidad y dosificación del concreto que se va a emplear, usando de preferencia un concreto seco, y manteniendo lleno el molde en todo momento.
- En el caso de la región Puno, se debe de proteger el concreto del intemperismo hasta que supere su resistencia crítica de 35 Kg/cm<sup>2</sup>, para lo cual se cubren las plataformas exteriores con una manta de yute o geotextil, y a la vez se colocan Estufas eléctricas distribuidas

en todo el perímetro para mantener la temperatura del concreto a unos 130 C, según lo indicado en la norma ACI 306 R-88.

## FUENTES DE INFORMACIÓN

ACI Perú (2001) *Normas Peruanas de Estructuras*. Lima.

Ayala, R. E., Chimbo C. V. y Yaguana, D. (2010) *Clasificación, utilización e importancia del encofrado como elemento provisional en el área de la construcción*. Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Camilo, J. (2002) *Diseño de Encofrados en Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

Cámara peruana de la construcción (2010) *Costos y presupuestos en edificación*. Lima.

Delgado, G. (2006) *Costos y presupuestos en edificaciones*. Lima: Ed. Edicivil.

Dercons (2000) *Encorados Metálicos*. Lima.

El Peruano (2006) *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima.

Gallegos J. (1996) *Los Encofrados Deslizantes, Técnicas y Utilización*. Lima: Cementos Lima S.A.

Harmsen, T. (2005) *Diseño de estructuras de concreto armado*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Izo, M. V. (2011) *Diseño de un Módulo de Encofrado Metálico transportable tipo bóveda para soportar una carga de hormigón de 12 toneladas*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana.

Ulloa, J. M. (2005) *Planeamiento integral de la construcción de cuatro bloques de cincuenta viviendas unifamiliares para el programa mí vivienda*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Pinao, E. (2011) *Aplicación de Encofrados Deslizantes en Estructuras Verticales*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Ramos, J. (1998) *Costos y Presupuestos en Edificación*. Lima: Cámara Peruana de la Construcción.

UNISPAN, (2008) *Sistemas de encofrados y andamios*. Colombia.

Vintimilla, J. B. (2012) *La influencia de los encofrados deslizantes en la construcción de las torres de un puente*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.

Vásquez, O. (2011) *Todo sobre presupuestos en edificaciones*. Lima.

## **PÁGINAS DE INTERNET**

[http://biblioteca.unet.edu.ve/db/alexandr/db/bcunet/edocs/TEUNET/2010/pregrado/Arquitectura/RodriguezC\\_LuisO/Capitulo2.pdf](http://biblioteca.unet.edu.ve/db/alexandr/db/bcunet/edocs/TEUNET/2010/pregrado/Arquitectura/RodriguezC_LuisO/Capitulo2.pdf)

<http://www.youtube.com/watch?v=9hfA1hmZm64>

<http://www.youtube.com/watch?v=9E0wWwAFXV8>

<http://www.youtube.com/watch?v=jM0YhfVdln4>

<http://www.slideshare.net/villcasainz/encofrados-deslizantes>

<http://procedimientosconstruccion.blogs.upv.es/category/maquinaria-y-procedimientos-constructivos-de-cimentaciones-y-estructuras/cimbras-andamios-y-encofrados/>

<http://procedimientosconstruccion.blogs.upv.es/category/maquinaria-y-procedimientos-constructivos-de-cimentaciones-y-estructuras/cimbras-andamios-y-encofrados/>

<http://www.acerosarequipa.com/maestro-obra/boletin-construyendo/edicion-14/maestro-de-obra-boletin-construyendo-edicion-14-siempre-seguros-encofrados-metalicos.html>

<http://issuu.com/cvillenat/docs/pc20>

# **ANEXOS**



Barrotes	Ext.	p2	49	2	3.00	3.28	80.38	10%	88.42	2.00	44.21		
	Int.	p2	47	2	3.00	3.28	77.10	10%	84.81	2.00	42.40		
Estacas	Ext.	p2	49	2	3.00	1.97	48.23	10%	53.05	2.00	26.53		
	Int.	p2	47	2	3.00	1.97	46.26	10%	50.89	2.00	25.44		
Clavos de 3"		kg	60					10%	66.00	1.00	66.00		<b>0.0572</b>
Alambre N° 8		kg	150					5%	157.50	1.00	157.50		<b>0.1366</b>
Laca desmoldeadora		gl	12					10%	13.20	1.00	13.20		<b>0.0114</b>
Clavos de 4"		kg	230					10%	253.00	1.00	253.00		<b>0.2194</b>
<b>Madera Andamiaje</b>											<b>1.0449</b>		
Tablones de andamios Int.		p2	140	2	12	10	2,800.00	5%	2940.00	1.00	2940		
Ext.		p2	147	2	12	10	2,940.00	5%	3087.00	1.00	3087		

Fuente: Elaboración Propia F.A.A

CUADRO N° A.2. Metrado del encofrado metálico.

DESCRIPCIÓN	Und.	Cant. Elem.	a (pulg)	L (m)	H (m)	Parcial (m2)	% Desperd.	Sub Total	N° usos	TOTAL	Cantidad	
<b>Paneles para encofrado</b>											<b>0.7350</b>	
Paneles metalicos	Int.	m2	7	47.10	1.2	395.64	5%	415.42	1	415.42		
	Ext.	m2	7	48.98	1.2	411.43	5%	432.00	1	432.00		
Tensores	Und	1,010					15%	1161.50	1	1161.50	<b>1.0074</b>	
Escuadra de apoyo	Und	150						150.00	1	150.00	<b>0.1301</b>	
Desmoldante	gal	14					10%	15.40	1	15.40	<b>0.0140</b>	
Rollo de vaina plastica (*150)	Und	6					10%	7.05	1	7.05	<b>0.0061</b>	
Alambre N° 8	kg	461					5%	484.05	1	484.05	<b>0.4198</b>	
Clavos	kg	81					10%	89.10	1	89.10	<b>0.0773</b>	
<b>Madera Andamiaje</b>											<b>1.0449</b>	
Tablones de andamios	Int.	p2	140	2	12	10	2,800.00	5%	2940.00	1		5880.00
	Ext.	p2	147	2	12	10	2,940.00	5%	3087.00	1		6174.00

Fuente: Elaboración Propia F.A.A

CUADRO N° A.3. Metrado del encofrado deslizante.

DESCRIPCIÓN	Und.	Cant. Elem.	a (pulg)	b (pulg)	L (pie)	Parcial (pie 2)	% Desperd.	Sub Total	Total	Cant.*m2 de encof.	
<b>Madera para el encofrado</b>									<b>3489.96</b>	<b>3.0264</b>	
Tablones para cerchas	Int.	p2	80	2	12	8.00	1,280.00	7%	1369.60		
	Ext.	p2	84	2	12	8.00	1,344.00	7%	1438.08		
Montante (Pericos)	Int.	p2	136	2	3	1.50	102.00	10%	112.20		
	Ext.	p2	141	2	3	1.50	105.75	10%	116.33		
Diagonales	Int.	p2	136	2	3	1.50	102.00	10%	112.20		
	Ext.	p2	141	2	3	1.50	105.75	10%	116.33		
Entablado	Int.	p2	110	1	3	3.50	96.25	10%	105.88		
	Ext.	p2	124	1	3	3.50	108.50	10%	119.35		
Tripay de 12 mm.	Int.	pl	20					5%	21.00		43.05
	Ext.	pl	21					5%	22.05		
Desmoldante		gl	24					5%	25.20		25.20
Clavos de 2" , 3" , 4"		kg	180					15%	207.00	207.00	<b>0.1795</b>
Pernos de 1/2" * 5"		Und	673					10%	740.30	740.30	<b>0.6421</b>
Esparragos de 3/4" * 30"		Und	89					10%	97.90	97.90	<b>0.0849</b>

<b>Madera Andamiaje</b>									5453.47	0.9455
Tablones de Andamios Int.	p2	40	2	12	10.00	800.00	5%	840.00		
Ext.	p2	63	2	12	10.00	1,260.00	5%	1323.00		
Andamios de Madera	p2	41	2	4	8.00	218.67	10%	240.53		
	p2	41	2	4	10.00	273.33	10%	300.67		
	p2	164	1	6	5.00	410.00	10%	451.00		
	p2	82	1	6	6.00	246.00	10%	270.60		
	p2	41	2	6	6.00	246.00	10%	270.60		
	p2	41	2	4	4.00	109.33	10%	120.27		
Plataforma Superior		124	1.5	12	8.00	1,488.00	10%	1636.80		

Fuente: Elaboración Propia FAA

**METRADO**

BATERIA DE SILOS - UNACEM S.A.A.

**DATOS GENERALES**

Radio Exterior (m)	<b>5.40</b>	Radio Interior (m)	<b>5.25</b>
--------------------	-------------	--------------------	-------------

Circunf. Exterior (m)	<b>56.92</b>	Circunf. Interior (m)	<b>56.00</b>
-----------------------	--------------	-----------------------	--------------

Altura del Silo (m)	<b>25.00</b>	Area Total de Encofrado (m2)	<b>2,823</b>
---------------------	--------------	------------------------------	--------------

CUADRO N° A.4. Metrado del encofrado de madera.

DESCRIPCIÓN	Und.	Cant. Elem.	a (pulg)	b (pulg)	H (pie)	Parcial (pie 2)	% Desperd.	Sub Total	N° de usos	Total	Cantidad	
<b>Madera para encofrado</b>											<b>5.7166</b>	
Tablones	Ext.	p2	589	1.5	8.00	19.69	11,597.4	12%	12989.10	2.00		6494.55
	Int.	p2	580	1.5	8.00	19.69	11,420.2	12%	12790.62	2.00		6395.31
Puntales a	Ext.	p2	114	3	3.00	19.13	1,635.62	12%	1831.89	2.00		915.94
	Int.	p2	112	3	3.00	19.13	1,606.92	12%	1799.75	2.00		899.88
Puntales b	Ext.	p2	114	3	3.00	9.84	841.32	12%	942.28	2.00		471.14
	Int.	p2	112	3	3.00	9.84	826.56	12%	925.75	2.00		462.87
Barrotes	Ext.	p2	114	3	3.00	3.28	280.51	12%	314.17	2.00		157.09
	Int.	p2	112	3	3.00	3.28	275.59	12%	308.66	2.00		154.33
Estacas	Ext.	p2	114	3	3.00	1.97	168.31	12%	188.50	2.00		94.25
	Int.	p2	112	3	3.00	1.97	165.35	12%	185.20	2.00		92.60

Clavos de 3"	kg	147					10%	161.70	1.00	161.70	<b>0.0573</b>
Alambre N° 8	kg	367					5%	385.35	1.00	385.35	<b>0.1365</b>
Laca desmoldeadora	gl	29					10%	31.90	1.00	31.90	<b>0.0113</b>
Clavos de 4"	kg	563					10%	619.30	1.00	619.30	<b>0.2194</b>
<b>Madera Andamiaje</b>											<b>1.0449</b>
Tablones de andamios Int.	p	140	2	12	10	2,800.00	5%	2940.00	1.00	2940	
Ext.	2	147	2	12	10	2,940.00	5%	3087.00	1.00	3087	
	p										

Fuente: Elaboración Propia FAA

CUADRON° A.5. Metrado del encofrado de metálico.

DESCRIPCIÓN	Und.	Cant. Elem.	a (pulg)	L (m)	H (m)	Parcial (m2)	% Desperd.	Sub Total	N° usos	TOTAL	Cantidad	
<b>Paneles para encofrado</b>											<b>0.7056</b>	
Paneles metalicos	Int.	m	14	56.00	1.2	940.80	5%	987.84	1	987.84		
	Ext.	2 m	14	56.92	1.2	956.26	5%	1004.07	1	1004.07		
Tensores	Und	2,473					15%	2843.95	1	2843.95	<b>1.0074</b>	
Escuadra de apoyo	Und	367						367.00	1	367.00	<b>0.1300</b>	
Desmoldante	gal	36					10%	39.60	1	39.60	<b>0.0140</b>	
Rollo de vaina plastica (*150)	Und	15					10%	16.50	1	16.50	<b>0.0058</b>	
Alambre N° 8	kg	1128					5%	1184.4	1	1184.40	<b>0.4196</b>	
Clavos	kg	198					10%	217.80	1	217.80	<b>0.0772</b>	
<b>Madera Andamiaje</b>											<b>1.0449</b>	
Tablones de andamios	Int.	p	140	2	12	10	2,800.00	5%	2940.00	1	5880.00	
	Ext.	2 p	147	2	12	10	2,940.00	5%	3087.00	1	6174.00	

Fuente: Elaboración Propia.F.A.A

CUADRO N° A.6. Metrado del encofrado deslizante.

DESCRIPCIÓN	Und.	Cant. Elem.	a (pulg)	b (pulg)	L (pie)	Parcial (pie 2)	% Desperd.	Sub Total	Total	Cant.*m2 de encof.		
<b>Madera para el encofrado</b>									<b>3663.21</b>	<b>1.2976</b>		
Tablones para cerchas	Int.	p2	80	2	12	8.00	1,280.00	7%	1369.60			
	Ext.	p2	84	2	12	8.00	1,344.00	7%	1438.08			
Montante (Pericos)	Int.	p2	136	2	3	1.50	102.00	10%	112.20			
	Ext.	p2	141	2	3	1.50	105.75	10%	116.33			
Diagonales	Int.	p2	136	2	3	1.50	102.00	10%	112.20			
	Ext.	p2	141	2	3	1.50	105.75	10%	116.33			
Entablado	Int.	p2	200	1	3	3.50	175.00	10%	192.50			
	Ext.	p2	214	1	3	3.50	187.25	10%	205.98			
Tripay de 12 mm.	Int.	pl	49					5%	51.45		105.00	
	Ext.	pl	51					5%	53.55		<b>0.0372</b>	
Desmoldante		gl	57					5%	59.85		59.85	<b>0.0212</b>
Clavos de 2" , 3" , 4"		kg	441					15%	507.15		507.15	<b>0.1796</b>
Pernos de 1/2" * 5"		Und	1648					10%	1812.80	1812.80	<b>0.6422</b>	
Esparragos de 3/4" * 30"		Und	218					10%	239.80	239.80	<b>0.0849</b>	

Madera Andamiaje									5442.47	0.945 5
Tablones de Andamios Int.	p2	40	2	12	10.00	800.00	5%	840.00		
Ext.	p2	63	2	12	10.00	1,260.00	5%	1323.00		
Andamios de Madera	p2	41	2	4	8.00	218.67	10%	240.53		
	p2	41	2	4	10.00	273.33	10%	300.67		
	p2	160	1	6	5.00	400.00	10%	440.00		
	p2	82	1	6	6.00	246.00	10%	270.60		
	p2	41	2	6	6.00	246.00	10%	270.60		
	p2	41	2	4	4.00	109.33	10%	120.27		
Plataforma Superior		124	1.5	12	8.00	1,488.00	10%	1636.80		

Fuente: Elaboración Propia.F.A.A

## ANEXO B: ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS

### ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS USANDO ENCOFRADO DE MADERA

**Partida : ENCOFRADO DE MADERA**

Rendimiento : m2/DIA **10.00**

Costo unitario directo por : m2

**S/. 52.60**

Descripción Recurso	Und.	Cuadrilla	Cantidad	Precio s/.	Parcial s/.
<b>Mano de Obra</b>					
Capataz	hh.	0.10	0.0800	8.50	0.68
Operario	hh.	1.00	0.8000	7.99	6.39
Oficial	hh.	1.00	0.8000	7.61	6.09
					<b>13.16</b>
<b>Materiales</b>					
Clavos para madera de 4"	Kg.		0.2194	5.00	1.10
Clavos para madera de 3"	Kg.		0.0572	5.00	0.29
Alambre negro rec. N° 08	Kg.		0.1366	5.00	0.68
Madera tornillo	p2.		5.1613	4.70	24.26
Laca desmoldeadora	Gal.		0.0114	85.00	0.97
Madera de andamiaje	p2.		1.0449	4.50	4.70
					<b>32.00</b>
<b>Equipos</b>					
Herramientas manuales	%mo		0.0300	13.16	0.39
Escalera de acceso	mes		0.0100	250.00	2.50
					<b>2.89</b>
<b>Subcontratos</b>					
Desencofrado de muros	m2.		1.0000	4.55	4.55
					<b>4.55</b>

**Partida : DESENCOFRADO DE MUROS**

Rendimiento : m2/DIA **40.00**

Costo unitario directo por : m2

Descripción Recurso	Und.	Cuadrilla	Cantidad	Precio s/.	Parcial s/.
<b>Mano de Obra</b>					
Oficial	hh.	1.00	0.2000	7.99	1.60
Peón	hh.	2.00	0.4000	7.04	2.82
					<b>4.41</b>
<b>Equipos</b>					
Herramientas manuales	%mo		0.0300	4.41	0.13
					<b>0.13</b>

**S/. 4.55**

**ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS  
USANDO ENCOFRADO METÁLICO**

**Partida : ENCOFRADO METÁLICO**

Rendimiento : m2/DIA **20.00**

Costo unitario directo por : m2 **S/. 59.06**

Descripción Recurso	Und.	Cuadrilla	Cantidad	Precio s/.	Parcial s/.
<b>Mano de Obra</b>					
Capataz	hh.	0.10	0.0400	8.50	0.34
Operario	hh.	1.00	0.4000	7.99	3.20
Oficial	hh.	1.00	0.4000	7.61	3.04
					<b>6.58</b>
<b>Materiales</b>					
Alambre negro rec. N° 08	Kg.		0.4198	5.00	2.099
Encofrado metálico	m2.		0.7350	45.00	33.08
Tensores	Und.		1.0074	4.00	4.03
Escuadras metálicas	Und.		0.1301	15.95	2.08
Rollo vaina plástica	Und.		0.0061	100.00	0.61
Desmoldante efco	Gal.		0.0140	25.00	0.35
Madera de andamiaje	p2.		1.0449	4.50	4.70
					<b>46.94</b>
<b>Equipos</b>					
Herramientas manuales	%mo		0.0300	6.58	0.20
Escalera de acceso	mes		0.0100	250.00	2.50
					<b>2.70</b>
<b>Subcontratos</b>					
Desencofrado de muros	m2.		1.0500	2.71	2.85
					<b>2.85</b>

**Partida : DESENCOFRADO DE MUROS**

Rendimiento : m2/DIA **50.00**

Costo unitario directo por : m2 **S/. 2.71**

Descripción Recurso	Und.	Cuadrilla	Cantidad	Precio s/.	Parcial s/.
<b>Mano de Obra</b>					
Capataz	hh.	0.10	0.0160	8.50	0.14
Operario	hh.	1.00	0.1600	7.99	1.28
Oficial	hh.	1.00	0.1600	7.61	1.22
					<b>2.63</b>
<b>Equipos</b>					
Herramientas manuales	%mo		0.0300	2.63	0.08
					<b>0.08</b>

**ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS  
USANDO ENCOFRADO DESLIZANTE**

**Partida : ENCOFRADO DESLIZANTE**

Rendimiento : m2/DIA **134.00**

Costo unitario directo por : m2 **S/. 70.41**

Descripción Recurso	Und.	Cuadrilla	Cantidad	Precio s/.	Parcial s/.
<b>Mano de Obra</b>					
Capataz	hh.	1.00	0.0597	8.50	0.51
Operario	hh.	7.00	0.4179	7.99	3.34
Oficial	hh.	2.00	0.1194	7.61	0.91
Peón	hh.	2.00	0.1194	7.04	0.84
					<b>5.60</b>
<b>Materiales</b>					
Clavos para madera de 3"	Kg.		0.1795	5.00	0.90
Pernos 1/2*4" con tuerca	Und.		0.6421	3.00	1.93
Esparragos 3/4"*30"	Und.		0.0849	8.00	0.68
Desmoldante zeta - lac	Gal.		0.0215	60.00	1.29
Madera de andamiaje	p2.		0.9455	4.50	4.25
Madera tornillo incluido corte	p2.		3.0264	4.70	14.22
Triplay de 12mm.	pl.		0.0373	70.00	2.61
					<b>25.88</b>
<b>Equipos</b>					
Herramientas manuales	%mo		0.0300	5.60	0.17
Escalera de acceso	mes		0.0100	250.00	2.50
Circular y garlopa	hm	0.50	0.0299	12.00	0.36
Soldadora	hm	0.50	0.0299	12.00	0.36
Gatos hidráulicos	hm	44.00	2.6269	10.50	27.58
					<b>30.97</b>
<b>Subcontratos</b>					
Desencofrado de molde	m2.		0.0833	51.41	4.28
Habilitación de molde	m2.		0.0833	44.16	3.68
					<b>7.96</b>

**Partida : DESENCOFRADO DEL MOLDE**

Rendimiento : m2/DIA **16.00**

Costo unitario directo por : m3 **S/. 51.41**

Descripción Recurso	Und.	Cuadrilla	Cantidad	Precio s/.	Parcial s/.
<b>Mano de Obra</b>					
Capataz	hh.	1.00	0.5000	8.50	4.25
Operario	hh.	6.00	3.0000	7.99	23.97
Oficial	hh.	2.00	1.0000	7.61	7.61
Peón	hh.	4.00	2.0000	7.04	14.08
					<b>49.91</b>

<b>Equipos</b>					
Herramientas manuales	%mo		0.03	49.91	1.50
					<b>1.50</b>

**Partida : CONSTRUCCIÓN DEL MOLDE**

Rendimiento : m2/DIA **16.00**

Costo unitario directo por : **S/. 44.16**

Descripción Recurso	Und.	Cuadrilla	Cantidad	Precio s/.	Parcial s/.
<b>Mano de Obra</b>					
Capataz	hh.	1.00	0.5000	8.50	4.25
Operario	hh.	6.00	3.0000	7.99	23.97
Oficial	hh.	2.00	1.0000	7.61	7.61
Peón	hh.	2.00	1.0000	7.04	7.04
					<b>42.87</b>
<b>Equipos</b>					
Herramientas manuales	%mo		0.03	42.87	1.29
					<b>1.29</b>