

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



TESIS

**CONSTRUCCIÓN DE MUROS DE TABIQUERÍA DE CONCRETO
LIGERO MEDIANTE EL USO DE ENCOFRADO DESLIZANTE**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR

CARLOS EDUARDO SUAREZ MENDOZA

ASESOR

Mg. Ing. FÉLIX WILFREDO ULLOA VELÁSQUEZ

LIMA- PERÚ

2019

DEDICATORIA

A mis padres por su cariño y apoyo incondicional, gracias por mantener su fe en mí.

AGRADECIMIENTO

Al Ing. Wilfredo Ulloa por su asesoría y consejos a lo largo del desarrollo de la tesis.

A la empresa COSAPI S.A. por su apoyo durante las diversas etapas de la presente investigación.

Al Ing. Diego Gonzales por su valiosa orientación y enseñanzas a lo largo de la tesis.

A la empresa DEPCONST S.A.C. por su apoyo con el Encofrado usado en los ensayos de vaciado.

ÍNDICE

RESUMEN	6
ABSTRACT	8
PRÓLOGO	10
LISTA DE CUADROS	11
LISTA DE FIGURAS	13
LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS	16
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	18
1.1 GENERALIDADES	18
1.2 ESTADO DEL PROBLEMA	19
1.3 JUSTIFICACION DEL PROBLEMA	24
1.4 OBJETIVOS	25
1.4.1 Objetivo General	25
1.4.2 Objetivos Específicos	25
1.5 HIPÓTESIS	25
1.6 ORGANIZACIÓN DE LA TESIS	26
CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO	28
2.1 CONOCIMIENTOS DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE MUROS DE TABIQUERÍA	28
2.1.1 Clasificación por la función estructural	28
2.1.1.1 <i>Muros no portantes</i>	28
2.1.1.2 <i>Muros portantes</i>	28
2.1.2 Clasificación por la distribución del refuerzo	28
2.1.3.1 <i>Muros no reforzados o de albañilería simple</i>	29
2.1.3.2 <i>Muros reforzados</i>	29
2.1.4 Procedimientos de construcción	30
2.1.5.1 <i>Muros confinados</i>	30
2.1.5.2 <i>Muros armados</i>	31
2.1.6 Sistemas usados para la ejecución de muros de tabiquería	31
2.1.6.1 <i>Tabiquería de ladrillo King Kong 18 huecos</i>	32

2.1.6.2	<i>Tabiquería de bloquetas de concreto</i>	32
2.1.6.3	<i>Tabiquería de ladrillo sílico calcáreo</i>	34
2.2	ESTUDIO DEL TRABAJO	35
2.2.1	Definición del estudio del trabajo	35
2.2.2	Análisis de procesos constructivos	35
2.2.2.1	<i>Simplificación de métodos de trabajo en construcción:</i>	35
2.2.2.2	<i>Diagrama del proceso</i>	36
2.2.2.3	<i>Símbolos empleados en los cursogramas</i>	37
2.2.2.4	<i>Diagrama de recorrido</i>	39
2.2.2.5	<i>Cursograma analítico</i>	40
2.3	RESISTENCIA DE MATERIALES	40
2.3.1	Esfuerzos en los elementos de una estructura	40
2.3.2	Esfuerzo cortante	41
2.3.3	Consideraciones de diseño	42
2.3.3.1	<i>Determinación de la resistencia última del material</i>	42
2.3.3.2	<i>Carga permisible y esfuerzo permisible: factor de seguridad</i>	42
2.3.3.3	<i>Selección de un factor de seguridad adecuado</i>	43
2.4	CONCRETO LIGERO	43
2.4.1	Clasificación de concretos ligeros	44
2.4.2	Tipos de agregado ligero	44
2.4.3	Concreto ligero con perlas de poliestireno expandido	45
2.4.4	Poliestireno expandido	45
2.4.4.1	<i>Características</i>	45
2.4.4.2	<i>Aislamiento térmico</i>	46
2.4.4.3	<i>Comportamiento frente al agua y vapor de agua</i>	46
2.4.4.4	<i>Comportamiento frente a factores atmosféricos</i>	47
2.5	ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DE LOS ENCOFRADOS DESLIZANTES	47
2.5.1	Descripción general	47
2.5.2	Ventajas de su aplicación	48
2.5.3	Inclinación del encofrado deslizante	49
2.5.4	Paneles del encofrado deslizante	50
2.5.4.1	<i>Paneles metálicos</i>	51
2.5.5	Calculo de los paneles	51
2.5.5.1	<i>El empuje del concreto no endurecido</i>	51
2.5.5.2	<i>Método de Nanning</i>	52
2.6	CONCRETO UTILIZADO EN ENCOFRADOS DESLIZANTES	54
2.6.1	Cualidades del concreto que se coloca en encofrados deslizantes	54
2.6.2	Dosificación y puesta en obra del concreto	55
2.6.2.1	<i>Materiales</i>	55
2.6.2.2	<i>Puesta en obra del concreto</i>	55

2.6.2.3	<i>Compactación del concreto</i>	56
2.6.2.4	<i>Para la compactación manual</i>	56
2.6.2.5	<i>Determinación de la velocidad de deslizamiento</i>	56
	<i>Organización de la obra</i>	56
	<i>Endurecimiento del concreto</i>	57
2.7	SISTEMA DE IMPRESIÓN 3D	57
2.7.1	Impresoras 3D	57
2.7.2	Tipos de impresoras 3d	57
2.7.2.1	<i>Impresoras 3D por Estereolitografía (SLA)</i>	58
2.7.2.2	<i>Impresoras 3D de Sintetización Selectiva por Láser (SLS)</i>	58
2.7.2.3	<i>Impresoras 3D por Inyección</i>	58
2.7.2.4	<i>Impresión por deposición de material fundido (FDM)</i>	58
	CAPITULO III: DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO LIGERO CON POLIESTIRENO EXPANDIDO	59
3.1	PROPIEDADES DE LOS MATERIALES	59
3.2	PARAMETROS DEL ESTUDIO	61
3.3	ELABORACIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA	61
3.3.1	Cálculo de volúmenes absolutos	62
3.3.2	Contenido de agregado fino	63
3.3.3	Valores de diseño	63
3.3.4	Corrección por humedad del agregado	64
3.4	PROCESO DE ELABORACIÓN	67
3.4.1	Observaciones	69
3.5	SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO	70
3.6	ACABADO CEMENTICIO SUPERFICIAL	72
3.7	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE	73
3.8	ENSAYO DE FRAGUADO	73
3.9	DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL	75
3.10	DISEÑO DE MEZCLA DEFINITIVO	76
3.11	PORCENTAJES Y PROPORCIONES FINALES	77
	CAPITULO IV: DISEÑO DE PRIMER PROTOTIPO DE ENCOFRADO DESLIZANTE Y ENSAYO DE VACIADO	80
4.1	DISEÑO DEL PRIMER PROTOTIPO	80

4.1.1	Análisis de esfuerzos	81
4.1.2	Análisis de factor de seguridad	82
4.1.3	Fabricación y modelado 3D	82
4.1.4	Elaboración de maqueta	84
4.1.4.1	<i>Ensayo de elevación en maqueta</i>	85
4.1.5	Construcción del encofrado deslizante	87
4.2	ENSAYO DE VACIADO CON EL ENCOFRADO DESLIZANTE	89
4.2.1	Características del ensayo de elevación	89
4.2.2	Proceso de realización	90
4.2.2.1	<i>Instalación del encofrado</i>	90
4.2.2.2	<i>Armado de la malla de acero</i>	90
4.2.2.3	<i>Elaboración del concreto</i>	91
4.2.2.4	<i>Vaciado</i>	91
4.2.2.5	<i>Elevación del encofrado</i>	92
CAPITULO V: DISEÑO DE SEGUNDO PROTOTIPO DE ENCOFRADO DESLIZANTE Y ENSAYO DE VACIADO DE MURO		94
5.1	MODELAMIENTO DEL SEGUNDO PROTOTIPO	94
5.1.1	ANALISIS POR ELEMENTOS FINITOS	94
5.1.1.1	<i>ANALISIS DEL ENCOFRADO</i>	94
5.1.1.2	<i>ANALISIS DEL SOPORTE</i>	97
5.2	MEJORAMIENTO DEL PROTOTIPO DE ENCOFRADO DESLIZANTE:	98
5.2.2	Sistema de unión-encofrado tubo guía	99
5.2.3	Inclinación de los paneles	100
5.3	ENSAYO DE VACIADO DEL MURO CON EL ENCOFRADO DESLIZANTE	101
5.3.1	Cronograma de ejecución del muro	101
5.3.2	Parámetros del estudio	103
5.3.3	Proceso de construcción del muro	107
5.3.3.1	<i>Instalación del encofrado</i>	107
5.3.3.2	<i>Armado de la malla de acero</i>	107
5.3.3.3	<i>Aplicación de desmoldante</i>	108
5.3.3.4	<i>Preparación de la mezcla</i>	108
5.3.3.5	<i>Primer vaciado y desencofrado</i>	108
5.3.3.6	<i>Segundo vaciado y desencofrado</i>	109
5.3.3.7	<i>Tercer vaciado y desencofrado</i>	110
5.3.3.8	<i>Cuarto vaciado y desencofrado</i>	110
5.3.3.9	<i>Quinto vaciado y desencofrado</i>	112
5.3.3.10	<i>Sexto vaciado y desencofrado</i>	113
5.3.3.11	<i>Séptimo y último vaciado y desencofrado.</i>	113
5.3.4	Resultados del ensayo	114

5.4	ANÁLISIS DEL PROCESO DE VACIADO Y ENCOFRADO POR MEDIO DEL ESTUDIO DE TRABAJO	119
CAPITULO VI: ANALISIS DE COSTOS Y CUADROS COMPARATIVOS		122
6.1	ANALISIS DE COSTOS DEL SISTEMA DE TABIQUERIA DE CONCRETO LIGERO CON ENCOFRADO DESLIZANTE PARA MUROS DE E=14CM	122
6.1.1	Colocación de anclajes	122
6.1.2	Habilitado y colocado de acero	122
6.1.3	Mezclado y vaciado de concreto ligero con poliestireno expandido	123
6.1.4	Encofrado y desencofrado con encofrado deslizante	124
6.1.5	Armado de andamio	125
6.1.6	Tarrajeo	126
6.2	CUADRO COMPARATIVO DE PRECIOS	126
6.3	COMPARACIÓN DE PESOS DE SISTEMAS DE TABIQUERIA CON EL SISTEMA DE CONCRETO LIGERO CON PERLAS DE EPS	129
CONCLUSIONES		131
RECOMENDACIONES		133
REFERENCIA BIBLIOGRAFIA		134
ANEXO		135

RESUMEN

La industria de la construcción es uno de los motores de la economía peruana, el crecimiento sostenido del PBI de nuestro país en los últimos años fue impulsado en gran medida por dicho sector productivo, viviéndose así un denominado “Boom de la construcción” en todo el Perú, en este contexto se dio el incremento de los proyectos de edificaciones en Lima y en el interior del país, siendo el nivel de rentabilidad y la productividad en la ejecución de los mismos primordial para las constructoras, inmobiliarias y demás empresas vinculadas al rubro, las que dependen en gran medida de la aplicación de metodologías de trabajo con el fin de optimizar los recursos y el tiempo a emplearse durante su proceso de construcción.

Durante el proceso de análisis de la rentabilidad de los proyectos existen dos factores incidentes a considerarse: los costos (que engloba los directos, indirectos, adicionales, deductivos, etc.) y los plazos de entrega, es así que se determinó la importancia de realizar un análisis más detenido de una de las partidas más incidentes: la partida de ejecución de muros de tabiquería, con el fin de buscar otras opciones más óptimas para su construcción, ante esa búsqueda es que se encontró la innovación como un impulsor de la mejora y la productividad, basándose en ello, la presente tesis busca plantear un nuevo sistema de construcción para tabiquería empleando concreto ligero y encofrados deslizantes con el objetivo de que puedan satisfacer los requisitos que exige la norma E-070 de albañilería, cumplir con los plazos de entrega establecidos, disminuir los tiempos muertos, mejorar los rendimientos, optimizar el tiempo de colocación y reducir los desperdicios generados en su ejecución con respecto a los producidos por los sistemas clásicos de ejecución de muros de albañilería con acabado cementicio.

Si bien existen estudios respecto al concreto ligero y sus aplicaciones, no se han desarrollado trabajos que muestren su aplicación directa en la construcción de tabiques, es por ello que como primer objetivo de la tesis se planteó la elaboración de un diseño de mezcla de concreto ligero que cumpla con los requerimientos comunes de un tabique, para lo cual se probó diversos diseños de mezcla en el laboratorio, analizando sus propiedades en estado fresco y endurecido hasta hallar el diseño más óptimo.

Como segundo objetivo se realizó el diseño de un prototipo de encofrado para la construcción del muro planteándose un encofrado deslizante, el cual es empleado actualmente en la edificación de silos y demás estructuras altas o repetitivas, por lo que se optó por aplicar este sistema a la construcción de tabiques de concreto ligero, es así que inicialmente se creó un modelo en 3D del encofrado empleando el software de diseño Solid Works verificando que los esfuerzos generados, las deformaciones y el factor de seguridad sean los adecuados, para luego proceder a la construcción del mismo.

Posteriormente se realizó el ensayo de vaciado del muro de tabiquería de concreto ligero empleando el encofrado deslizante, a partir del cual, se midieron los tiempos de ejecución, costo de mano de obra, equipos y herramientas entre otros parámetros, para luego finalmente contrastarlos con las variables correspondientes de los sistemas tradicionales vale decir, ladrillos King Kong de arcilla, placas sílico calcáreas y bloquetas de concreto.

A partir de los resultados y conclusiones de este estudio se abre un nuevo campo de investigación con respecto al uso de sistemas alternativos a los tradicionales para la construcción de tabiques, esperando contribuir con este pequeño aporte al impulso de la innovación tecnológica en la ingeniería civil en el Perú.

ABSTRACT

The construction industry is one of the engines of the Peruvian economy, sustained growth of PBI of our country in recent years was largely driven by that sector, living thus a denominated "Boom of the construction" in all the Peru, in this context the increase in building projects in Lima and the provinces were given, with the level of profitability and productivity in executing the same essential for construction, real estate and other companies linked to the heading, which they depend heavily on the application of working methods in order to optimize resources and time to be used during the construction process.

During the process of analyzing the profitability of the projects there are two incidents considered factors: cost (which includes direct, indirect, additional, deductive, etc.) and deadlines, so the importance of determined a closer look at one of the processes most incidents analysis: processes of execution walls of partition, in order to seek more optimal options for construction to that search is that innovation was found as a driver of improvement and productivity, based on this, this thesis seeks to raise a new construction system for partitioning using lightweight concrete and slipforms order that can meet the requirements under the E-070 standard masonry meet deadlines established, reduce downtime, improve performance, optimize installation time and reduce waste generated in its implementation with respect to those produced by conventional systems running masonry walls with cementitious finish.

While there are studies regarding the lightweight concrete and its applications they have not been developed work that shows direct application in the construction of walls, which is why primary objective of the thesis the development of a mix design of lightweight concrete was raised that meets the requirements of a common partition wall, for which various mix designs tested in the laboratory, analyzing their fresh state and hardened to find the most optimal design.

The second objective the design of a prototype formwork for the wall construction considering a sliding formwork, which is currently employed in the construction of silos and other high or repetitive structures, so we chose to apply this system was made to construction of partitions of lightweight concrete, so that initially a 3D

model of the form was created using design software Solid Works verifying that the stresses generated, deformation and safety factor are appropriate, then proceed with the construction of same.

Subsequently the test drain wall partitions of lightweight concrete using the sliding formwork, from which was made, execution times, cost of labor, equipment and tools and other parameters were measured and then finally compare them with the corresponding variables of traditional systems is to say, King Kong clay bricks, Siliceous limestone slabs and concrete blocks.

From the results and conclusions of this study a new field of research regarding the use of alternative systems to traditional building walls open, hoping to contribute with this small contribution to the promotion of technological innovation in civil engineering in Perú.

PRÓLOGO

Actualmente la industria de la construcción en nuestro país se encuentra en pleno desarrollo y mejora constante; los tiempos, los costos y la productividad son factores importantes en el desarrollo de las obras de edificaciones, siendo la ejecución de muros de tabiquería muy incidente durante la construcción.

Ante ello el presente estudio busca el desarrollo de una nueva metodología para su realización, relacionando para ello dos elementos: un tipo de concreto ligero desarrollado especialmente para tabiques y un prototipo de encofrado del tipo deslizante adaptado para su colocación. Para la obtención del diseño de mezcla óptimo se hicieron diversas pruebas hasta encontrar la dosificación adecuada de cada uno de los materiales para producir el concreto.

A la par también se desarrolló el prototipo del encofrado, empleando para su modelamiento el programa de diseño mecánico SolidWork, para posteriormente crear un modelo a escala por medio de la tecnología de fabricación digital 3D, el uso de estas dos herramientas en conjunto optimizaron el prototipo antes de su construcción. Finalmente se realizó un ensayo de vaciado para luego completar la ejecución de un muro de concreto ligero en una sola jornada de trabajo empleando este encofrado, demostrando que su aplicación es posible.

Este estudio abre una nueva línea de investigación respecto a la ejecución de los muros de tabiquería, proceso de creación e implementación de nuevos equipos para la construcción facilitando de esta manera la innovación tecnológica en la ingeniería civil.

Mg.Ing. Félix Wilfredo Ulloa Velásquez
Asesor

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.1: Partidas más incidentes en presupuesto de edificaciones en Lima	20
Cuadro 1.2: Actividades para el control de la programación en Obra	21
Cuadro 1.3: Rendimiento en la ejecución de muros c/s tuberías	22
Cuadro 1.4: Cuadro de consolidado de datos	24
Cuadro 2.1: Espesores mínimos	54
Cuadro 3.1: Principales propiedades de los agregados	60
Cuadro 3.2: Propiedades y usos del aditivo utilizado para el diseño de mezcla para concreto ligero	60
Cuadro 3.3 Cálculo de volúmenes absolutos para un 1 m ³ de concreto	63
Cuadro 3.4: Valores de diseño de mezcla	63
Cuadro 3.5: Valores de diseño de mezcla corregidos por humedad	65
Cuadro 3.6: Valores de diseño de mezcla para una tanda de prueba de 0.01 m ³	65
Cuadro 3.7: Mezclas de prueba realizadas	66
Cuadro 3.8: Volumen de agua en litros por m ³ vs Asentamiento medido en Pulg.	71
Cuadro 3.9: Curva de Asentamiento vs Volumen de agua	72
Cuadro 3.10: Condiciones de la muestra para ensayo de fraguado	74
Cuadro 3.11: Cuadro de resultados de las cargas de ensayos de penetración a lo largo del tiempo	74
Cuadro 3.12: Diseños de mezcla definitivos para asentamientos de 4, 6 y 8 pulg.	77
Cuadro 3.13: Porcentajes en peso, volumen y precio del diseño de mezcla 3	77
Cuadro 4.1: Especificaciones técnicas de la impresora 3D FORTUS 400 mc	83
Cuadro 4.2: Características del primer ensayo de vaciado y desencofrado usando el sistema deslizante	89
Cuadro 5.1: Información de malla generada	95
Cuadro 5.2: cronograma de ejecución del muro de tabiquería con concreto ligero	102
Cuadro 5.3: Dimensiones para un encofrado determinado	103
Cuadro 5.4: Dimensiones del muro a construirse	103
Cuadro 5.5: Parámetros principales de estudio	103

Cuadro 5.6: Parámetros dependientes de estudio	104
Cuadro 5.7: Tiempos estimados para el proceso de vaciado	104
Cuadro 5.8: Proporciones de los materiales para la elaboración de las tandas de vaciado	105
Cuadro 5.9: Planeamiento del progreso de vaciado	106
Cuadro 5.10: Problemas ocurridos durante el vaciado y ascenso del encofrado, las posibles causas y las soluciones planteadas	116
Cuadro 5.11: Detalle del progreso de vaciado del muro	117
Cuadro 5.12: Cuadro de tiempos de las actividades de vaciado	118
Cuadro 5.13: Diagrama de procesos de mezclado y vaciado de concreto ligero	120
Cuadro 5.14: Cursograma Analítico procesos de mezclado y vaciado de concreto ligero	121
Cuadro 6.1: Análisis de precios unitarios de la partida de colocación de anclajes	123
Cuadro 6.2: Análisis de precios unitarios de la partida de habilitación y colocación de acero	123
Cuadro 6.3: Análisis de precios unitarios de la partida de concreto ligero con poliestireno expandido	124
Cuadro 6.4: Análisis de precios unitarios de la partida de encofrado y desencofrado con encofrado deslizante	125
Cuadro 6.5: Análisis de precios unitarios de la partida de armado de andamio	125
Cuadro 6.6: Análisis de precios unitarios de la partida de tarrajeo	126
Cuadro 6.7: Comparativo entre precios totales a todo costo de tabiquería tradicionales y el sistema de tabiquería con concreto ligero para $e=14\text{cm}$	128
Cuadro 6.8: comparativo entre pesos totales de los sistemas tradicionales de tabiquería y el sistema de tabiquería con concreto ligero	130

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Aplicación de método líneas de balance al control de la programación	22
Figura 1.2: Curvas de velocidades de asentamiento	23
Figura 2.1: Sección transversal de un muro laminar	30
Figura 2.2: Asentado de ladrillos King Kong 18 huecos	32
Figura 2.3: Proceso de asentamiento de bloquetas de concreto, obra de la Videna	33
Figura 2.4. Armado de muros con placas sílico calcáreos	34
Figura 2.5: Esfuerzo sobre un elemento	40
Figura 2.6: Generación de esfuerzo cortante	41
Figura 2.7: Obtención de la inclinación del encofrado deslizante	49
Figura 2.8: Sentido de la inclinación del encofrado deslizante	50
Figura 2.9: Diagrama de empujes del concreto al principio del deslizamiento, según Nenning	53
Figura 2.10: Diagrama de empujes del concreto durante el deslizamiento, según Nenning	53
Figura 2.11: Estado del concreto en el encofrado deslizante	55
Figura 3.1: Curva granulométrica de la arena gruesa	59
Figura 3.2: Adición de agua a la mezcla durante el proceso de mezclado.	68
Figura 3.3: Momento de la adición de perlas de EPS a la mezcla.	68
Figura 3.4: Mezcla final con las perlas de EPS distribuidas homogéneamente en la matriz de concreto.	69
Figura 3.5: Medición del asentamiento mediante el ensayo del Cono de Abrams.	71
Figura 3.6: Vista de la muestra usada en el ensayo de penetración.	73
Figura 3.7: Grafica de la curva de fraguado	75
Figura 3.8: Curva de resistencia a la compresión en función del tiempo	76
Figura 3.9: Porcentaje de peso por materiales	78
Figura 3.10: Porcentaje de volumen por materiales	78
Figura 3.11: Porcentaje en precio por materiales	79
Figura 4.1: Se muestra el análisis de esfuerzos de la barra de apoyo para la gata hidráulica	81

Figura 4.2: se muestra el análisis de factor de seguridad de la barra de apoyo para la gata hidráulica.	82
Figura 4.3: Vista frontal de impresora 3D Fortus 400 mc	82
Figura 4.4: Imagen vista del panel a escala del encofrado deslizante	84
Figura 4.5: Maqueta en escala $\frac{1}{4}$ del prototipo de encofrado deslizante fabricado por medio de la impresión 3D.	85
Figura 4.6: Elevación del encofrado deslizante por medio de un sistema neumático con jeringas comunes.	86
Figura 4.7: Vista en perfil de la maqueta indicando el momento producido en la base durante el proceso de elevación del encofrado.	87
Figura 4.8: Vista del primer prototipo de encofrado deslizante para tabiquería, escala $\frac{1}{2}$ en el taller metal- mecánico	88
Figura 4.9: Nivelación y aplome del encofrado	90
Figura 4.10: Vista de la malla de acero de refuerzo de $\frac{1}{4}$ "	91
Figura 4.11: Concreto vaciado en el encofrado	91
Figura 4.12: Elevación del encofrado deslizante	92
Figura 5.1: Modelamiento del segundo prototipo de encofrado deslizante	94
Figura 5.2: Ensayo enmallado del encofrado por el método de elementos finitos	95
Figura 5.3: Ensayo Cajón-Estudio 1-Desplazamientos-Desplazamientos1	96
Figura 5.4: Ensayo Cajón-Estudio 1-Factor de seguridad	96
Figura 5.5: Ensayo soporte-Estudio 1-Desplazamientos1	97
Figura 5.6: Ensayo soporte-Estudio 1-Factor de seguridad	98
Figura 5.7: Segundo prototipo del encofrado deslizante para tabiquería- Fabricación Depconst SAC	98
Figura 5.8: Sistema de elevación por medio de poleas comunicantes y un cabrestante de mano	99
Figura 5.9: Vista en planta del sistema de deslizamiento del primer prototipo y su mejora para el segundo prototipo	100
Figura 5.10: Patín de deslizamiento entre el encofrado y el tubo guía verticales	100
Figura 5.11: Perfil del encofrado deslizante mostrándose la inclinación o "conicidad" de los paneles	101
Figura 5.12: Vista de la malla de acero y detalle de alambre de amarre en la unión de aceros	108
Figura 5.13: Procesos del 1er vaciado y desencofrado	109

Figura 5.14: Término de 3er vaciado de muro	110
Figura 5.15: Desencofrado del 3er vaciado	111
Figura 5.16: Procesos de llenado del 4 vaciado en el encofrado	111
Figura 5.17: Proceso de desencofrado del 4to vaciado por elevación	112
Figura 5.18: Proceso de llenado del 5to vaciado.	112
Figura 5.19: Proceso de desencofrado del 5to vaciado	113
Figura 5.20: Procesos de vaciado y desencofrado del 7mo vaciado	114
Figura 5.21: Diagrama de recorrido del proceso de mezclado y vaciado de concreto ligero	119
Figura 6.1: Comparativo de costos de ejecución - sistemas de tabiquería e=14 cm	127
Figura 6.2: Comparativo de peso total de sistemas de tabiquería por m2 para e=14 cm	129

LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS

SIMBOLOS

% : Porcentaje

" : Pulgada

SIGLAS

ASTM : American Society for Testing and Materials.

Pu : Carga última del material

cm : Centímetro

f : Coeficiente de rozamiento

μ_k : Coeficiente de rozamiento estático

dB : Decibel

σ : Esfuerzo

τ_{Prom} : Esfuerzo cortante promedio en la sección

h : Altura de muro de concreto

e : Espesor

d : Espesor de las paredes

F.S. : Factor de seguridad

F : Fuerza de rozamiento.

N : Fuerza normal

°C : Grados centígrados

Hz : Hertz

h : Hora

i : Inclinación del encofrado

Lb : Libra

M : Metro

m² : Metro cuadrado

m³ : Metro cubico

mm : Milímetros

mm/m : Milímetros por metro

N : Newton, unidad de fuerza

NTP : Norma Técnica Peruana

OIT	:	Organización Internacional del Trabajo
γ	:	Peso específico del concreto
Ph	:	Presión del concreto.
pulg ²	:	Pulgada cuadrada
a/c	:	Relación de agua cemento
SI	:	Sistema Internacional
t_p	:	Tiempo de fraguado
t	:	Tonelada
V_B	:	Velocidad del concreto

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

El sector de la construcción en nuestro país se encuentra poco tecnificado debido principalmente a la naturaleza de sus procesos, su tipo de mano de obra y falta de inversión a pesar de que la innovación, la tecnificación y automatización de los procesos es una tendencia actual en la industria de la construcción a nivel de Latinoamérica y del mundo, ello con el fin de mejorar la productividad, disminuir las pérdidas y los costos y cumplir con los plazos establecidos, las constructoras que deseen seguir manteniéndose vigentes y competentes requieren la innovación como parte de su filosofía empresarial.

En este mercado actual de la construcción el cumplimiento de los plazos de entrega y la productividad son elementos muy importantes en el éxito de la ejecución de los proyectos, es por ello que toda oferta se evalúa en base a un análisis de acuerdo a la ley de Pareto la cual señala que el 20% de los conceptos de trabajo representan el 80% del importe de la obra, es así que al realizar este análisis se observa que la ejecución de la partida de construcción de muros de tabiquería es una de las partidas más incidentes en el presupuesto, junto con el vaciado de concreto, el encofrado y la habilitación e instalación de acero; así mismo también se observa que en el cronograma de una obra de edificaciones dicha partida se encuentra muchas veces dentro de la ruta crítica del proyecto.

Respecto a los materiales usados en su ejecución, en el caso de la ciudad de Lima, los sistemas más usados son los ladrillos King Kong de 18 huecos, las placas sílico calcáreas y las bloquetas de concreto, cada uno de estos sistemas posee una velocidad de ejecución, un peso por m² y una resistencia de sus unidades, así como un porcentaje aproximado de desperdicios, un costo de ejecución, así como diversos problemas presentados en su ejecución como la dificultad de colocación en muros con gran congestión de tuberías, la modulación y el bajo ratio de ejecución en muros cortos entre otros.

Ante ello se plantea la búsqueda de un sistema alternativo a los ya existentes basándose en las propiedades del concreto ligero y en el uso del encofrado deslizante juntándolos para plantear un método constructivo con posibles mejores propiedades y más beneficios, para la ejecución de muros de tabiquería en edificaciones, buscando la innovación en el sector constructivo y abriendo camino para la generación de nuevas investigaciones.

1.2 ESTADO DEL PROBLEMA

El sector construcción es uno de los más importantes de la economía del país, el cual, durante muchos años fue uno de los responsables del crecimiento sostenido del producto bruto interno, dándose su punto más alto en abril del 2008 creciendo un 42.4%, en dicho mes la economía peruana alcanzo un crecimiento de 8.94%, sin embargo factores externos como la baja del precio de los minerales, la disminución de la inversión extranjera y factores internos como la baja en las obras ejecutadas por los gobiernos regionales han hecho que a partir de mediados del 2014 este importante sector comience una contracción constante, experimentado crecimientos negativos según vemos en los cuadros publicados por el BCR y el INEI, la peor caída de dicho sector se dio en el mes de febrero del 2015 alcanzando una contracción de 9,88% que fue la más aguda desde el mes de octubre del 2004, cuando se desplomó 19,9%, luego de lo cual los índices negativos disminuyeron en los siguientes meses, sin embargo, la tendencia a la contracción se mantuvo, en el año 2016 se espera una recuperación de este sector aunque esto en gran parte dependerá de las políticas económicas del gobierno central, de la capacidad ejecutora de los gobiernos regionales así como de la recuperación de la economía mundial, es así que el sector inmobiliario también se vio afectado por el “denominado frenazo del Boom de la Construcción”, cayendo un 24% en el primer semestre del 2015 comparado con el mismo periodo del 2014. A pesar que este sector tuvo un crecimiento sostenido en los últimos años, aún no cubre el déficit de viviendas ni la gran demanda de oficinas en Lima. En este contexto actual de desaceleración las empresas inmobiliarias y constructoras requieren hoy más que nunca de medios que las ayuden a mejorar su productividad, disminuir sus costos y cumplir con los plazos de entrega establecidos en los contratos de obra para así evitar penalidades.

Desde el punto de vista de los costos es importante conocer las actividades que poseen una mayor incidencia en el presupuesto de las obras a ejecutarse, debido a ello es importante realizar un análisis con el fin de identificar las partidas más determinantes del presupuesto de la obra, en el caso de los proyectos de edificaciones multifamiliares u oficinas.

A continuación en el cuadro 1.1 citamos un estudio realizado a 10 obras de edificaciones en Lima por Inga (9), cuyo análisis según la Ley de Pareto (“El 20% de los conceptos de trabajo representan el 80% del importe de la obra”) de sus respectivos presupuestos arrojó el siguiente cuadro.

Cuadro 1.1: Partidas más incidentes en presupuesto de edificaciones en Lima
(Fuente: Inga, 09)

Partidas más incidentes en los presupuestos analizados
1. Habilitación de acero en placas
2. Habilitación de acero en columnas
3. Vaciado de concreto en placas
4. Encofrado y desencofrado de placas
5. Encofrado y desencofrado de columnas
6. Asentado de muros de tabiquería
7. Tarrajeo de interiores
8. Tarrajeo de exteriores
9. Encofrado y desencofrado de vigas
10. Vaciado de concreto en vigas

En donde se observa que la partida de muros de tabiquería se encuentra entre las más incidentes desde el punto de vista económico en los presupuestos de las obras de edificaciones y que por tanto la innovación en dicha partida traería beneficios económicos importantes para las empresas constructoras.

Por otro lado, también se debe de analizar la importancia de la partida de tabiquería para el cumplimiento de plazos, tomaremos como base el cronograma de obra, en el cual se debe identificar los principales hechos que marcan logros importantes durante el desarrollo del proyecto, en este punto citaremos el método de la línea de balance ya que es un método de programación gráfica que considera a la localización explícitamente como una dimensión, esto facilita la planificación de recursos, lo cual a su vez permite ahorros en el costo y un menor riesgo en la programación (Soini, Leskela, Seppanen, 2004).

Orihuela y Estebes (12) mencionan "al igual que el diagrama Gantt, en el eje horizontal se muestra el tiempo, pero en el eje vertical, se muestra la localización donde se desarrollarán estos trabajos"

Agregan Orihuela y Estebes (12) que las pendientes de las líneas indican la velocidad de la ejecución de la actividad, por lo tanto si la pendiente es menor a

la planificada indica un retraso en las actividades posteriores, así también señalan que si la pendiente es mayor, esto ocasionaría que en el futuro dicha partida se quede sin “cancha de trabajo”.

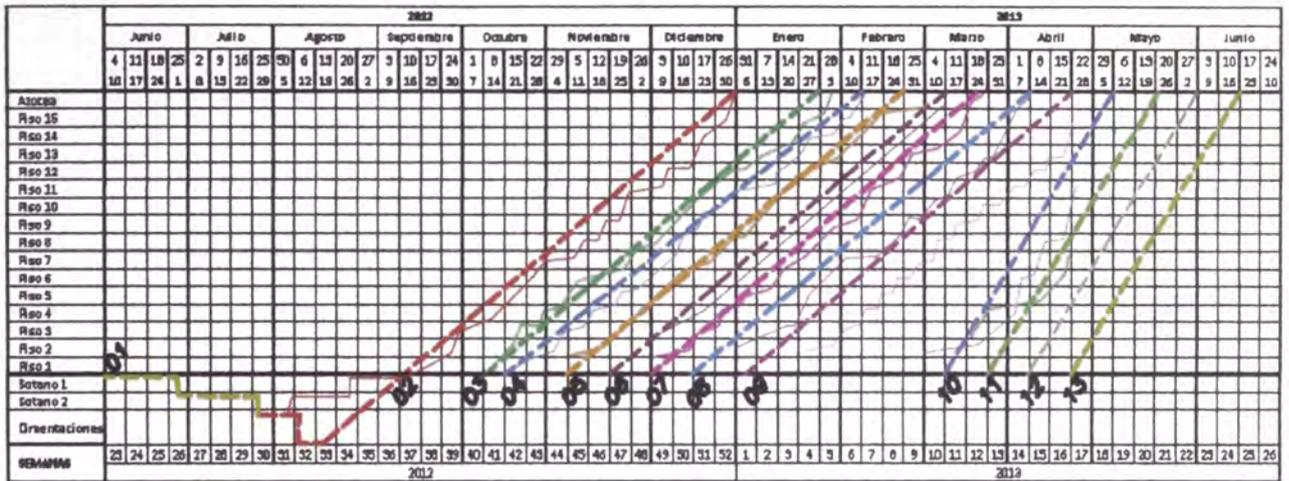
Según Orihuela y Estebes (12), las actividades consideradas para un buen control en la ejecución de obra con la programación Líneas Balance, son las que se indican en el cuadro 1.2.

Cuadro 1.2: Actividades para el control de la programación en Obra
(Fuente: Orihuela y Estebes, 12)

Actividades
1. Muros anclados
2. Pórtico
3. Tarrajeo cieloraso y vigas
4. Tabiques y columnetas
5. Tarrajeo interior
6. Contrapiso
7. Enchapes con cerámico
8. Empaste y pintura 1er mano
9. Carpintería de madera
10. Aparatos y sanitarios
11. Vidrios y mamparas
12. Pisos
13. Pintura 2da mano

De este cuadro se observa que la tabiquería se encuentra dentro de los hitos planteados para el desarrollo de las líneas Balance, la correcta ejecución de esta partida evitara que haya retrasos en las partidas que siguen a dicha actividad.

En la Fig. 1.1 se observa las líneas de balance de un proyecto analizado por Orihuela y Estebes (12), en dicha programación se compara lo planificado (líneas punteadas) con lo real (línea continua).



Item	Actividad	Item	Actividad	Item	Actividad	Item	Actividad
1	Muros anclados	5	Tarrajeo interior	9	Carpintería de madera	13	Pintura 2da mano
2	Pórtico	6	Contrapiso	10	Aparatos y sanitarios	14	Pintura 1ra mano
3	Tarrajeo cieloraso y vigas	7	Enchapes con cerámico	11	Vidrios y mamparas	15	Pintura 2da mano
4	Tabiques y columnetas	8	Empaste y pintura 1er mano	12	Pisos	16	Pintura 1ra mano

Figura 1.1 Aplicación de método líneas de balance al control de la programación
(Fuente: Orihuela y Esteves, 12)

Aunque en este caso ambas líneas coinciden, de haberse presentado el caso de una pendiente menor con respecto a la línea planificada hubiera habido un retraso en la ejecución de las partidas siguientes y por ende un retraso en el plazo de entrega de la obra.

Cabe mencionar que Inga (09) también obtuvo datos respecto de cómo la existencia de tuberías en los muros retrasa la velocidad de ejecución de los mismos, dichos rendimientos se plantearon en el cuadro 1.3.

Cuadro 1.3: Rendimiento en la ejecución de muros c/s tuberías
(Fuente: Elaboración propia)

	Con tubería (m2/día)	Sin tubería (m2/día)
Ladrillos Econoblock	12.23	15.3
Ladrillos King Block	8.07	8.85

Este retraso se debe principalmente a la demora en la modulación de las unidades de albañilería por la presencia de las tuberías.

Así también Inga (09) realizó las mediciones de velocidad de asentamiento a lo largo de la longitud del paño para las alternativas de mercado en Lima, estos resultados se muestran en la Fig. 1.2.

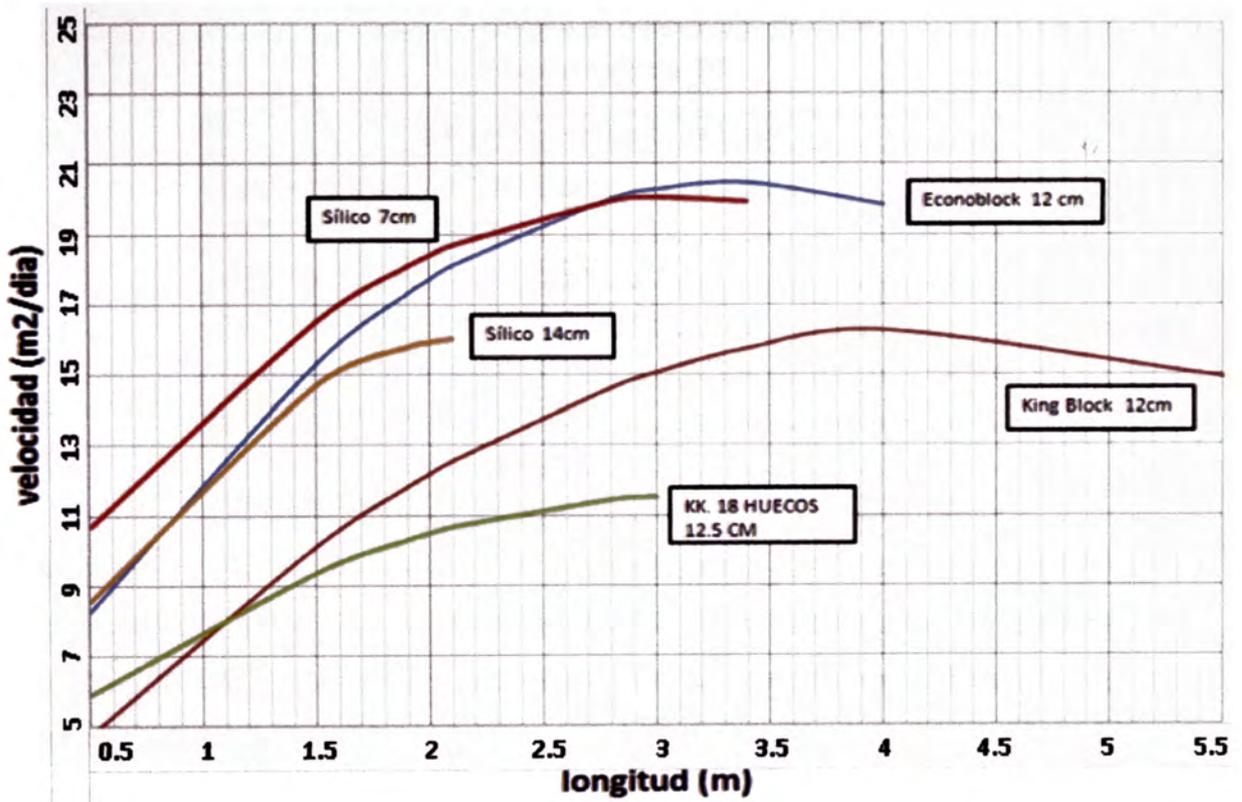


Figura 1.2: Curvas de velocidades de asentamiento
(Fuente: Inga, 09)

De dicho cuadro podemos ver que para todos los sistemas existentes la velocidad de trabajo en muros cortos es baja, debido a la corta longitud de los mismos. Por último es también importante mencionar la importancia que posee el análisis de los porcentajes de desperdicios en la ejecución de los muros de tabiquería, sobre todo los relacionados al trabajo de asentado de unidades de albañilería, los posibles puntos de ocurrencia de desperdicios son: rotura de unidades, pérdidas por material sobrante eliminado y pérdidas por corte de unidades, la cual genera la mayor cantidad de desperdicios, por lo que Galarza (07) analiza dicho punto contabilizando la cantidad de fracciones de las unidades de ladrillo que se rompían por hilada, cuyos resultados se muestran en el cuadro 1.4

Cuadro 1.4: Cuadro de consolidado de datos

(Fuente: Galarza, 07)

Cuadro Consolidado de Datos	
Ladrillos enteros consumidos	310
Ladrillos partidos usados	44.33
Ladrillos partidos consumidos	75.17
TOTAL Ladrillos consumidos (Unid)	385.17
TOTAL Ladrillos usados	354.33
Desperdicio (%)	8.70%
Ladrillos consumidos/m2	40.5
Ladrillos colocados/m2	37.3

Del cuadro anterior se observa un porcentaje alto de desperdicios (8.70%) en celeste debido al uso de unidades de albañilería en la ejecución de tabiques.

De los puntos anteriores concluimos que la partida de tabiquería es muy importante en los costos de la obra y en los plazos de ejecución, así también se observa los problemas que presenta la ejecución de los muros de tabiquería siguiendo los métodos y sistemas tradicionales, ante ello surge la necesidad de plantear un sistema alternativo a los existentes, que surja de la investigación y la experimentación, buscando así generar innovación tecnológica.

1.3 JUSTIFICACION DEL PROBLEMA

Bajos niveles actuales de rendimiento y productividad en el proceso de ejecución de la partida de muros de tabiquería empleando los sistemas tradicionales, lo cual produce retrasos en el desarrollo del cronograma del proyecto.

Retrasos en los procesos de ejecución de elementos de tabiquería en casos como la ejecución de muros cortos o muros con gran cantidad de tuberías, debido a la dificultad que estos procesos ofrecen al ser ejecutados utilizando unidades típicas de albañilería.

Niveles altos de desperdicios provenientes del proceso de corte y modulación de las unidades de albañilería producidos durante el armado de los muros de tabiquería

Bajo nivel de tecnificación y automatización de los actuales procesos tradicionales de construcción de muros de tabiquería en nuestro país, haciendo más dificultosa su mejora y optimización.

Necesidad actual de mejora de los procesos de ejecución establecidos en obra, mediante la investigación, la experimentación y la innovación, con el fin de buscar la competitividad y la rentabilidad.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Elaborar un nuevo método propuesto de construcción de muros de tabiquería mediante el empleo de un mecanismo de encofrado deslizante.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Aprovechar el uso del encofrado deslizante para minimizar el desgaste físico por parte del personal obrero.
- Encontrar un diseño de mezcla de concreto ligero que cumpla con la normativa técnica y los demás estándares de calidad requeridos.
- Estandarizar el sistema de encofrado deslizante.
- Comparar los tiempos y costos de la implementación y uso del sistema planteado con los sistemas existentes.

1.5 HIPÓTESIS

La presente tesis intenta demostrar que es posible reducir los tiempos, costos y desperdicios y por ende aumentar la productividad formulando las siguientes hipótesis:

- los muros de concreto ligero pueden brindar similares y/o mejores características que un muro de albañilería.
- Se puede elaborar un sistema de encofrado deslizante aplicable a muros de tabiquería.
- Se pueden eliminar los desperdicios de materiales de ladrillos de arcilla o sílico calcáreos al ser reemplazados por un vaciado de un muro de volúmenes y proporciones definidas.
- Se podrían elaborar un muro de 2.4 m de altura en una sola jornada de trabajo.
- Se puede incrementar la producción por medio del uso de este sistema.

- Se podrían acortar los tiempos de entrega de las obras.
- Se pueden reducir los espesores de mortero recubrimientos (tarrajeo) por ende ahorro de materiales en esta partida.
- La construcción de muros de tabiquería de concreto ligero vaciado in situ sería un sistema más óptimo que los sistemas actuales existentes empleados para tabiquería de acabado cementicio.
- El uso del sistema de encofrado deslizante para el vaciado de los muros de tabiquería de concreto ligero podría disminuir los tiempos muertos, agilizar el trabajo y exigir menor esfuerzo físico por parte de la cuadrilla de encofradores.

1.6 ORGANIZACIÓN DE LA TESIS

Son 6 los capítulos comprendidos en el desarrollo de esta tesis y su contenido se indica a continuación:

CAPITULO I: INTRODUCCION, se trata los aspectos iniciales del estudio, así mismo se fundamenta la problemática actual que motivo la presente investigación.

CAPITULO II: FUNDAMENTO TEORICO, en el cual se menciona los aspectos fundamentales del estudio, necesarios para la comprensión del resto del estudio.

CAPITULO III: DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO LIGERO, en este capítulo se presenta los ensayos realizados en el Laboratorio de Ensayos de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil de la UNI, con el fin de determinar el diseño de mezcla más óptimo que cumpla las propiedades necesarias para su uso en la construcción de muros de tabiquería.

CAPITULO IV: DISEÑO DE PRIMER PROTOTIPO DE ENCOFRADO DESLIZANTE Y ENSAYO DE VACIADO Y ELEVACION, en este capítulo realizamos el primer diseño digital del encofrado deslizante apoyándonos para ello del uso de software Solid Works, así mismo se realizó un prototipo a escala empleando para ello la fabricación digital 3D, con el fin de realizar mejoras previas

a la construcción a escala real, así mismo se realiza el primer ensayo de elevación con el fin de verificar la viabilidad del sistema de encofrado planteado.

CAPITULO V: DISEÑO DE SEGUNDO PROTOTIPO DE ENCOFRADO DESLIZANTE Y ENSAYO DE VACIADO DE MURO, en este capítulo se describe en primer lugar el diseño digital del segundo prototipo de encofrado en base a las deficiencias encontradas en el primero y en segundo lugar el ensayo de vaciado del muro de concreto ligero empleando el encofrado deslizante mejorado con el fin de comprobar la viabilidad de su ejecución.

CAPITULO VI: ANALISIS DE COSTOS Y CUADROS COMPARATIVOS, en el penúltimo capítulo se realiza un análisis comparativo de los costos de ejecución de los sistemas tradicionales, basado en costos actuales con el nuevo sistema que se plantea en esta tesis, así también se hace una comparación de los pesos por m² y también de la resistencia a la compresión que ofrecen.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES: contiene las conclusiones finales y las recomendaciones recogidas a lo largo de la investigación.

CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 CONOCIMIENTOS DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS DE MUROS DE TABIQUERÍA

A continuación se desarrollará el estado del arte con respecto a los procesos constructivos de los sistemas tradicionales de tabiquería de acabado cementicio usados en el Perú.

Según Ángel San Bartolomé (15), la albañilería se clasifica de dos maneras: Por la función estructural y por la distribución de refuerzo.

2.1.1 Clasificación por la función estructural

Los muros se clasifican en portantes y no portantes.

2.1.1.1 Muros no portantes

Según la norma E.070 es: “un muro diseñado y construido en forma tal que solo lleva cargas provenientes de su peso propio y cargas transversales a su plano. Son, por ejemplo, los parapetos y los cercos”.

Ángel San Bartolomé (15) afirma: “Son los que no reciben carga vertical. Estos muros deben diseñarse básicamente ante caras perpendiculares a su plano, originadas por el viento, sismo u otras cargas de empuje”. (p.5)

2.1.1.2 Muros portantes

Según la norma E.070 es un: “muro diseñado y construido en forma tal que pueda transmitir cargas horizontales y verticales de un nivel al nivel inferior o a la cimentación. Estos muros componen la estructura de un edificio de albañilería y deberán tener continuidad vertical”. (p.5)

2.1.2 Clasificación por la distribución del refuerzo

De acuerdo a la distribución del refuerzo, los muros se clasifican en:

- Muros no reforzados o de albañilería simple.

- Muros reforzados (armados, laminares y confinados)

2.1.3.1 Muros no reforzados o de albañilería simple

“Son aquellos muros que carecen de refuerzo, no cumplen con las especificaciones mínimas reglamentarias que debe tener todo muro reforzado” (San Bartolomé, 15, p.6)

De acuerdo a la norma E-070, su uso está limitado a construcciones de un piso.

2.1.3.2 Muros reforzados

De acuerdo con la disposición del refuerzo, los muros se clasifican en:

- Muros armados
- Muros laminares (Sandwich)
- Muros o albañilería confinada

*** Muros armados**

“Se caracterizan por llevar el refuerzo en el interior de la albañilería, este refuerzo esta generalmente distribuido a lo largo de la altura del muro (refuerzo horizontal) como su longitud (refuerzo vertical)”. (San Bartolomé, 15, p.8)

El mismo autor menciona además que estos muros requieren de la fabricación de unidades especiales, con alveolos donde se pueda colocar el refuerzo vertical cuyo diámetro depende de la magnitud de la fuerza cortante que tiene que ser soportada íntegramente por el acero.

*** Muro laminar (“Sandwich”)**

Con respecto a este tipo de muro, Ángel San Bartolomé (15) afirma: “está constituido por una capa delgada de concreto (dependiendo del espesor, 1 a 4 pulgadas, se usa grout o concreto normal)” reforzado con una malla de acero central, y por dos muros de albañilería simple que sirven como encofrados de la placa, en la Fig. 2.1 se puede apreciar la sección transversal de este tipo de muro.

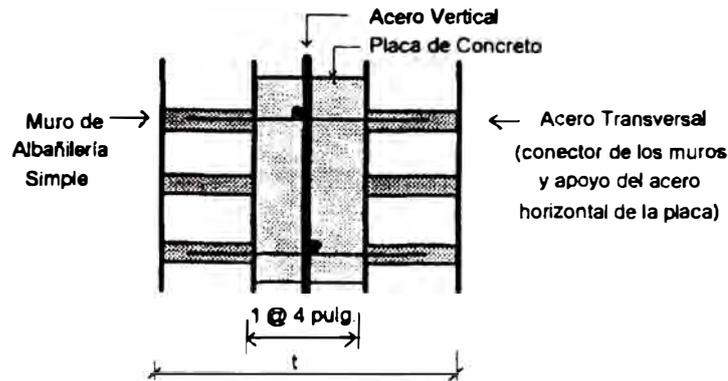


Figura 2.1: Sección transversal de un muro laminar
(Fuente: Ángel San Bartolomé,15)

* **Albañilería confinada**

Según la norma E.070 es albañilería reforzada con elementos de concreto armado en todo su perímetro, vaciado posteriormente a la construcción de albañilería.

2.1.4 Procedimientos de construcción

2.1.5.1 Muros confinados

Materiales

Unidades de albañilería

El ingeniero San Bartolomé (15) menciona que en nuestro país las unidades de albañilería más usadas son las de arcilla (con molde artesanal o industrial) seguidamente se encuentran las unidades sílico calcáreas y bloques de concreto

Concreto

Respecto al concreto a emplearse Ángel San Bartolomé (15) menciona: "El estado de refuerzos a que se ven sujetas las columnas de concreto (compresión, tracción y corte-fricción) de un muro sometido a carga lateral y vertical, crean la necesidad de emplear un concreto cuya resistencia mínima (f_c) sea igual a 175Kg/cm²" (p.19)

Acero de refuerzo

“El acero a utilizar debe ser corrugado y con un escalón de fluencia definido, permitiéndose el uso de acero liso (pero no trefilado) para los estribos”. (San Bartolomé, 15, p.21)

Mortero

Según la norma E-070 de albañilería el mortero estará constituido por una mezcla de aglomerantes y agregado fino a los cuales se añadirá la máxima cantidad de agua que proporcione una mezcla trabajable, adhesiva y sin segregación del agregado para la elaboración del mortero destinado a obras de albañilería, se tendrá en cuenta lo indicado en las normas NTP 399. 607 y 399.610.

2.1.5.2 Muros armados

Los muros armados están compuestos por los siguientes elementos:

*** Unidades de albañilería**

En nuestro país las unidades más usadas para este tipo de muros son las unidades alveolares sílico calcáreas y los bloques de concreto vibrado.

Según San Bartolomé (15): “tanto las unidades sílico calcáreas como los bloques de concreto deben asentarse en seco, por lo que es necesario utilizar mortero con cal para proporcionar retentividad a la mezcla”. (p.30)

***Concreto y mortero fluido (“GROUT”)**

Según la norma E-070 el concreto líquido o grout es un material de consistencia fluida que resulta de mezclas cemento, agregados y agua, pudiéndose adicionar cal hidratada normalizada en una proporción que no exceda de 1/10 del volumen de cemento u otros aditivos que no disminuyan la resistencia o que originen corrosión del acero de refuerzo.

2.1.6 Sistemas usados para la ejecución de muros de tabiquería

A continuación describiremos los principales sistemas empleados para la ejecución de tabiquería en nuestro país.

2.1.6.1 Tabiquería de ladrillo King Kong 18 huecos

El ladrillo King de 18 huecos es el ladrillo más usado actualmente en nuestro país para la ejecución de muros de tabiquería, posee las siguientes características:



Figura 2.2: Asentado de ladrillos King Kong 18 huecos
Fuente: Elaboración propia.

Proceso constructivo

Respecto al proceso constructivo de estos muros Inga (09) indica “El proceso de construcción comprende el trazado previo del muro sobre el suelo, luego se debe humedecer tanto el ladrillo como las zonas de colocación para posteriormente colocar una capa de mortero de 1.5 cm y asentar los ladrillos según se observa en la Fig. 2.2, cada hilada se debe colocar a la mitad del ladrillo para que las justas verticales no coincidan.”(p.34) Para terminar con el proceso el autor agrega: “Después de desarrollado el proceso de ladrillo y colocación de las columnetas se procede a la colocación de puntos para el tarrajeo del muro. Finalmente se desarrolla el empastado y pintado de la pared” (p.34).

2.1.6.2 Tabiquería de bloquetas de concreto

El bloque de concreto es una unidad de albañilería hueca o perforado para albañilería armada (sistema constructivo) y que cuyo refuerzo en las varillas de acero colocados dentro de los alveolos de los bloques, tal como se aprecia en la Fig. 2.3. Con respecto a su uso Inga (09) indica que se usa normalmente en tabiquerías, parapetos y cercos.

Características

Dentro de las características podemos distinguir dos mencionadas por Inga (09), primero: su acabado no requiere tarrajeo, sólo un empaste (en la mayoría de los casos), excepto cuando se presenten irregularidades como fisuras, huecos etc. y segundo: su ejecución no requiere columnetas ya que el refuerzo de acero se encuentra colocado cada 0.5 m a lo largo del tabique.



Figura 2.3: Proceso de asentamiento de bloquetas de concreto, obra de la Videna
(Fuente: Elaboración propia)

Proceso de constructivo

En lo referido al proceso constructivo Inga (09) indica que este difiere en tres puntos con respecto al proceso seguido para los ladrillos de arcilla: la colocación de varillas de acero, ancladas al suelo con pegamento epóxico, el llenado de grout cada cuatro hiladas en vigas horizontales y cada alveolo que contiene varillas de acero se llena con grout, a lo cual podemos agregar que en el caso de muros de bloquetas cortafuego, se llenan con grout todos los alveolos.

2.1.6.3 Tabiquería de ladrillo sílico calcáreo

Para su ejecución se usan las denominadas placas P-7, P-10, P-12 Y P-14 que son unidades sílico calcáreas, siendo la principal ventaja de su uso el acabado con empaste directo, sin la necesidad de un tarrajeo.



Figura 2.4. Armado de muros con placas sílico calcáreas
(Fuente: www.mineraluren.com)

Especificaciones del ladrillo sílico calcáreo

Características

Tiene una mayor densidad que un ladrillo convencional, dándole mayor aislamiento termo acústico.

Requieren un refuerzo de acero corrugado de 3/8", distribuidos cada 51 cm (según se indica en las especificaciones de Ladrillos la Casa) a lo largo del eje del muro.

Proceso constructivo

Respecto al proceso constructivo lo podemos resumir de la siguiente manera:

Trazar en la losa inferior los puntos de anclaje para las varillas verticales de 3/8" y en losa superior los puntos de colocación de las piezas de tubo galvanizado, espaciados cada 0.51 m, así mismo las tuberías eléctricas y sanitarias deben ubicarse fuera de los puntos de anclaje, a continuación hacer perforaciones en los puntos de la losa inferior que deben ubicarse a lo largo del eje del muro, luego anclar las varillas en las perforaciones con ayuda de pegamento epóxico. Después de 24 horas de realizado el anclaje, se inicia el asentado de las placas sílico

calcáreas según se muestra en la Fig. 2.4, mientras se va llenando con concreto líquido (grout) los alveolos con varillas, se ve avanzado colocando el ladrillo superior a la mitad de la longitud del ladrillo de la fila inferior.

2.2 ESTUDIO DEL TRABAJO

2.2.1 Definición del estudio del trabajo

“El estudio de trabajo es el examen sistemático de los métodos para realizar actividades con el fin de mejorar la utilización eficaz de los recursos y de establecer normas de rendimiento con respecto a las actividades que se están realizando”. (OIT, 13, p.9).

Aliaga (01) menciona que: “La OIT define al estudio del trabajo de la siguiente manera: Se entiende por estudio del trabajo, genéricamente, ciertas técnicas, y en particular el estudio de métodos y la medición del trabajo, que se utilizan para examinar el trabajo humano en todos sus contextos y que llevan sistemáticamente a investigar todos los factores que influyen en la eficiencia y economía de la situación estudiada, con el fin de efectuar mejoras”.

2.2.2 Análisis de procesos constructivos

2.2.2.1 Simplificación de métodos de trabajo en construcción:

Según Jean Benielli “la simplificación de los métodos de construcción, sería la aplicación sistemática del sentido común a la elaboración de métodos de trabajo mejores y más fáciles. La simplificación de los métodos de trabajo consta de cinco etapas:

- Escoger el trabajo que hay que estudiar.
- Analizarlo detalladamente, más o menos a fondo según el objetivo buscado.
- Pasar cada uno de sus elementos según el tamiz de una crítica metódica.
- Elaborar un modo operatorio más eficaz, sintetizando los resultados de los análisis y la crítica.
- Y por último llevarlo a la práctica y observar sus resultados.

Con el fin de lograr el mayor conocimiento de los procesos implicados en cada etapa la OIT (13) sugiere la aplicación del método del interrogatorio, la cual consiste en:

“La técnica del interrogatorio es el medio de efectuar el examen crítico sometiendo sucesivamente cada actividad a una serie sistemática y progresiva de preguntas”.(p.96)

2.2.2.2 Diagrama del proceso

Al respecto Barnes (03) fundamenta e indica lo siguiente:

Estos diagramas constituyen la manera de recoger un proceso en forma resumida, como medio de adquirir un conocimiento mejor del mismo y poder mejorarlo. Representan gráficamente las fases que se desarrollan durante la ejecución de un trabajo o durante una serie de actividades. El diagrama recoge la marcha desde la entrada de la materia prima en la fábrica, siguiéndola a través de todas sus fases, tales como transporte o almacén, inspección operaciones de trabajo a máquina, montaje hasta que quede convertida en unidad terminada o formando parte de montaje parcial. (p.28)

Se parte de la definición de Barnes debido a que colocó los fundamentos para el desarrollo del estudio de movimientos y tiempos.

Así mismo Barnes (03) refiere que el análisis minucioso de este diagrama, ayudara a encontrar mejoras a los procesos analizados, sin duda.

Además Barnes (03) indica:

Frecuentemente se encuentra la posibilidad de eliminar totalmente ciertas operaciones, combinar una operación con otra, obtener un recorrido mejor para los materiales, uso más económico de la maquinaria, eliminación de retrasos en operaciones y obtención de otras mejores, todo lo cual conduce hacia el logro de un producto mejor a un coste menor. (p.28)

Al igual que cualquier otro método de representación gráfica, el diagrama de proceso debe ser adaptado al caso particular de estudio como en nuestro caso al ámbito de la construcción, por ejemplo puede mostrar en el orden debido las

actividades de una persona. O bien puede ser del tipo de obrero o del tipo de material, pero no debe combinarse los dos tipos. Casi cualquier persona de la obra podría hacer un diagrama de proceso y obtener provecho del mismo. Los maestros de obra, capataces, contratistas operarios, controladores de los materiales, etc. y en general toda persona que tenga que ver con los procesos constructivos, distribución de los materiales y maquinaria, deben estar tan familiarizados con él como el especialista en estudio del trabajo.

2.2.2.3 Símbolos empleados en los cursogramas

Al respecto la OIT (13) menciona la siguiente: “Para hacer constar en un cursograma todo lo referente a un trabajo u operación resulta mucho más fácil emplear una serie de cinco símbolos uniformes que conjuntamente sirven para representar todos los tipos de actividades o sucesos que probablemente se den en cualquier fabrica u oficina”. (p.84)

Siendo esta la última edición de la bibliografía emitida por la OIT (cuarta edición)

Operación



“Indica las principales fases del proceso, método o procedimiento, por lo común, la pieza materia o producto del caso se modifica o cambia durante la operación”
OIT (13, p.84).

Al respecto Aliaga (01) indica que existe operación cuando se produce:

- Una alteración en el producto ya sea física o química.
- Se facilita o recibe información de cálculo o planes.
- El objeto se monta o desmonta. (p.23)

Se toma la tesis de Aliaga como referencia por los ejemplos que el autor menciona los cuales están aplicados a la ejecución de edificaciones.

Ejemplos

- Vaciado de concreto en zanjas.
- Encofrado de viga.
- Armado de vigas, etc.

Inspección



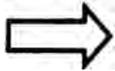
“Indica que verifica la calidad y/o la verificación de la cantidad.” OIT (13, p.85).

Ejemplos

- Aplomar un elemento
- Recepción de material
- Control de dosificación de mezclas de concreto

Aliaga (01, p.24)

Transporte



“Indica el movimiento de los trabajadores, materiales y equipo de un lugar a otro”
OIT (13, p.85).

Ejemplos

- Transporte vertical y horizontal de ladrillo
- Traslado de mezcladora

Aliaga (01, p.24)

Demora



“Indica demora en el desarrollo de los hechos, por ejemplo: trabajo en suspenso entre dos operaciones sucesivas o abandono momentáneo, de cualquier objeto, hasta que se necesite.” OIT (13, p.85).

Ejemplos

- Espera que hace el albañil al abastecimiento del ladrillo o mezcla
- Una volquetada de concreto espera para ser utilizada en la preparación del concreto, Etc.

Aliaga (01, p.25)

Almacenamiento



“Indica depósito de un elemento u objeto, bajo vigilancia en un almacén donde se le recibe o entrega mediante una forma de autorización o donde se guarda con fines de referencia”. OIT (13, p.86).

Ejemplos

- Nivelación de ladrillo guía (inspección operación)
- Vaciado de columnas (transporte y operación)

Aliaga (01, p.25)

Actividades combinadas



“Cuando se desea indicar que varias actividades son ejecutadas al mismo tiempo o por el mismo operario e un mismo el lugar de trabajo, se combinan los símbolos de tales actividades; por ejemplo un círculo dentro de un cuadrado representa la actividad combinada de operación e inspección.” OIT (13, p.86).

Ejemplos

- Nivelación de ladrillo guía (inspección y operación)
- Vaciado de columnas (transporte y operación)

Aliaga (01, p.25)

2.2.2.4 Diagrama de recorrido

Barnes (03) indica al respecto:

A veces se puede obtener una visión mejor del proceso dibujando las líneas de recorrido en un esquema en planta del edificio o zona en donde tiene lugar la actividad. En este plano se dibujan líneas que representen el camino recorrido y se insertan los símbolos del diagrama de proceso para indicar lo que se está haciendo. A esto se le llama diagrama de recorrido. En ocasiones ambos

diagramas, el del proceso y el de recorrido, son necesarios para ver con claridad las fases seguidas en un proceso de fabricación, trabajo de oficina u otra actividad (p.35)

2.2.2.5 Cursograma analítico

La OIT (13) la define de la siguiente manera: “es un diagrama que muestra la trayectoria de un producto o procedimiento señalando todos los hechos sujetos a examen mediante el símbolo que corresponda”. (p.91)

Expone la circulación o sucesos de los hechos en un proceso ya que expone gráficamente el orden en que suceden las operaciones, las inspecciones, las demoras, los transportes y los almacenamientos a lo largo del proceso, además brinda información adicional, como el tiempo de cada actividad y la distancia recorrida.

2.3 RESISTENCIA DE MATERIALES

2.3.1 Esfuerzos en los elementos de una estructura

La fuerza por unidad de área, o la intensidad de las fuerzas distribuidas a través una sección dada, se llama esfuerzo sobre esa sección y se representa con la letra griega σ (sigma). El esfuerzo en un elemento con área transversal A sometido a una carga axial P se obtiene, por lo tanto, al dividir la magnitud P de la carga entre el área A , según se muestra en la Fig. 2.5 (Beer, Johnston, De Wolf y Mazurek, 04)

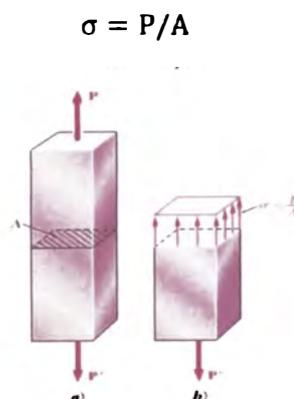


Figura 2.5: Esfuerzo sobre un elemento
(Fuente: Resistencia de materiales, Beer, Johnston)

Según Beer et al. (04) se empleará un signo positivo para indicar un esfuerzo de tensión (el elemento a tensión) y un signo negativo para indicar un elemento compresivo (elemento a compresión.). De acuerdo al SI se empleara la unidad denominada Pascal (Pa) pero debido a que en la práctica es una unidad muy pequeña, se empleara múltiplos de dicha unidad.

2.3.2 Esfuerzo cortante

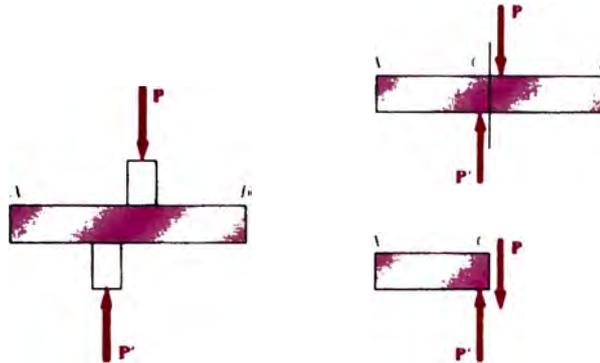


Figura 2.6: Generación de esfuerzo cortante
Fuente: Resistencia de materiales, Beer Johnston.

Según Beer et al. (04) Se obtiene cuando se aplican fuerzas transversales P y P' a un elemento AB (ver Fig. 2.6). Al efectuar un corte C entre los puntos de aplicación de las dos fuerzas, obtenemos el diagrama de la porción AC. Se concluye que deben existir fuerzas internas en el plano de la sección, y que su resultante es igual a P. Estas fuerzas internas elementales se conocen como fuerzas cortantes, y la magnitud P de su resultante es el cortante en la sección. Al dividir el cortante P entre el área A de la sección transversal, se obtiene el esfuerzo cortante promedio en la sección. Representando el esfuerzo cortante con la letra griega (tau), se escribe:

$$\tau_{Prom} = \frac{P}{A}$$

Debe enfatizarse que el valor obtenido es un valor promedio para el esfuerzo cortante sobre toda la sección. Al contrario de lo dicho con anterioridad para los esfuerzos normales, en este caso no puede suponerse que la distribución del os esfuerzos cortantes a través de una sección sea uniforme, el valor real del esfuerzo cortante varia de cero en la superficie del elemento hasta un valor máximo τ_{max} que puede ser mucho mayor que el valor promedio, τ_{Prom} .

2.3.3 Consideraciones de diseño

2.3.3.1 Determinación de la resistencia última del material

Un elemento importante que debe considerar un diseñador es como se comportara el material que ha seleccionado cuando esté sometido a una carga. Para un material dado, esto se determina realizando ensayos específicos sobre muestras preparadas del material. Por ejemplo, una probeta de acero puede prepararse y colocarse en una máquina de ensayo de laboratorio para someterla a una fuerza centrada axial de tensión conocida. Al aumentar la magnitud de la fuerza se miden varios cambios en la probeta, por ejemplo, cambios de longitud y diámetro. Finalmente se alcanza la máxima fuerza que puede aplicarse a la probeta, la cual se romperá o comenzará a soportar menos carga. (Beer et al.,04).

Esta máxima fuerza se denomina carga última del material y se denota como P_u , luego el esfuerzo último normal o resistencia última del material usado, es:

$$\sigma_u = \frac{P_u}{A}$$

2.3.3.2 Carga permisible y esfuerzo permisible: factor de seguridad

La máxima carga que puede soportar un elemento estructural o un componente de maquinaria en condiciones normales de uso es considerablemente más pequeña que la carga última. Esta carga más pequeña se conoce como carga permisible y, en ocasiones, como carga de trabajo o carga de diseño. Así, solo una fracción de la capacidad de carga del elemento se utiliza cuando se aplica la carga permisible. El remante de la capacidad portadora de carga del elemento se mantiene en reserva para asegurar su desempeño seguro. (Beer et al.,04).

La razón de la carga última a la carga permisible se emplea para definir el factor de seguridad. Se tiene que:

$$\text{Factor de seguridad} = F.S. = \frac{\text{carga última}}{\text{carga permisible}}$$

Una definición alterna del factor de seguridad se basa en el uso de esfuerzos

$$\text{Factor de seguridad} = F.S. = \frac{\text{esfuerzo último}}{\text{esfuerzo permisible}}$$

2.3.3.3 Selección de un factor de seguridad adecuado

La selección del factor de seguridad que debe usarse en distintas aplicaciones es una de las más importantes de los ingenieros, por una parte si el factor de seguridad se elige demasiado pequeño, la posibilidad de falla se torna inaceptablemente grande, por otra si se elige demasiado grande, el resultado es un diseño caro o no funcional, la elección de un factor de seguridad apropiado para un determinado diseño requiere de un acertado juicio por parte del ingeniero basado en muchas consideraciones como son las siguientes:

1. Variaciones que pueden ocurrir en las propiedades del elemento bajo consideración.
2. Numero de cargas que puede esperarse durante la vida de la estructura o maquina
3. Tipo de cargas que se han planteado para el diseño o que pueda ocurrir en el futuro.
4. Tipo de falla que pueda ocurrir
5. Deterioro que pueda ocurrir en el futuro por mantenimiento incorrecto o por causas naturales inevitables
6. Importancia de un elemento dado a la integridad de la estructura completa.

2.4 CONCRETO LIGERO

A continuación se exponen los conceptos más importantes en relación al concreto ligero o liviano.

Al respecto Neville y Brooks (11) mencionan que “se denomina concreto ligero a aquel concreto cuya densidad es apreciablemente más baja que la gama usual de concretos hechos con agregados de peso normal” (p.262), así mismo el ACI Capitulo peruano (02) en su libro “Tecnología del concreto” menciona “este concreto es similar al concreto estándar, excepto que este tiene una baja densidad. Este concreto es preparado con agregados ligeros, o una combinación de estos y los agregados estándar” (p.102), además agrega “la densidad del concreto liviano normalmente esta entre 1365 y 1850 kg/m³” (p.102).

2.4.1 Clasificación de concretos ligeros

Neville y Brooks (11) clasifican a los concretos ligeros de acuerdo a su método de producción de la siguiente manera:

- a) Al usar agregado ligero poroso de baja gravedad específica aparente, por ejemplo, más baja que 2.6. Este tipo de concreto se le conoce como concreto de agregado ligero.
- b) Al introducir grandes vacíos dentro del concreto o masa de mortero; estos vacíos se deben distinguir de los huecos extremadamente finos producidos por arrastre de aire, a este tipo de concreto se le llama concreto aireado, concreto celular, concreto espumoso o concreto gaseoso.
- c) al omitir el agregado fino de la mezcla, de modo que un gran número de vacíos intersticiales estén presentes, se usa por lo general agregado grueso de peso normal, este concreto se conoce como concreto sin finos (Neville y Brooks, 11, p.262)

Así también los autores indican que la presencia de vacíos reduce la resistencia del concreto, pero que para sus aplicaciones la resistencia no es una propiedad esencial.

2.4.2 Tipos de agregado ligero

Al respecto Neville y Brooks (11) lo clasifican en dos tipos: naturales y manufacturados, y menciona lo siguiente que los principales agregados naturales son diatomita, piedra pómez, escoria, ceniza volcánica y toba, sin embargo, agrega también que debido a que su ubicación es restringida a sólo algunos lugares su uso no está masificado.

Con respecto a los agregados artificiales Neville y Brooks (11) menciona que se conocen una gama de marcas pero que es mejor clasificarlas a partir de su material base y de su proceso de manufactura.

En el primer tipo se incluyen los agregados producidos por la aplicación de calor a fin de expandir la arcilla, la pizarra el esquisto, la pizarra diatomácea, la perlita la obsidiana y la vermiculita. El segundo tipo se obtiene por procesos de enfriamiento esenciales, los cuales proporcionan una expansión de la escoria de alto horno. Las cenizas industriales forman el tercero y último grupo (Neville y Brooks, 11, p.263)

Al autor menciona que el uso de agregados fino y grueso ambos de peso ligero, acrecienta el proceso de manejabilidad, es por ello que sugiere el empleo de agregado fino de peso normal con agregados grueso de peso ligero, denominando a este "concreto de peso semiligero."

2.4.3 Concreto ligero con perlas de poliestireno expandido

Como punto importante en este estudio como parte de los concretos ligeros con agregados artificiales y naturales se tiene este concreto el cual se obtiene a partir de la mezcla de cemento arena, agua y perlas de poliestireno expandido pre expandidas o poliestireno expandido molido.

Con respecto a las características del concreto ligero a base de poliestireno expandido se puede mencionar lo siguiente:

Las perlas de poliestireno pueden reemplazar totalmente al agregado grueso y parcialmente al agregado fino, además este agregado artificial no absorbe agua, no reaccionan con el cemento y tiene buena adherencia con el mismo.

Otra característica interesante debida a la estructura de este tipo de concreto es su poder de aislamiento a los ruidos de impacto que para espesores de 5 cm está en el orden de 15 dB a 500 Hz.

Una última característica a destacar de los concretos ultralivianos de perlas pre-expandidas aditivadas es la posibilidad que brindan de ser bombeados a prácticamente, cualquier altura.

La fabricación se da a partir de pequeñas perlas que contienen un agente de expansión denominado pentano, luego de un proceso de pre-expansión

2.4.4 Poliestireno expandido

Respecto a este material las especificaciones técnicas brindadas por Dipropor S.A. dicen lo siguiente:

Es un material termoplástico elaborado en base a derivados del petróleo.

Es equivalente a una espuma rígida formada por numerosas perlas. A través de las cuales se distribuye y retiene una gran cantidad de aire.

2.4.4.1 Características

Sus principales características son:

- Excelentes propiedades de aislamiento térmico. Es decir baja conductividad térmica.
- Estable dimensionalmente a través del tiempo.
- Baja absorción de humedad, lo que evita que se produzca pérdida de su capacidad aislante.
- Liviano, lo que facilita su manipulación.
- Higiénico.
- Inodoro.
- Flexibilidad en las dimensiones.
- Reciclable.
- No daña la capa de ozono (No contiene compuestos clorofluorocarbonados - CFC.) (manual de especificaciones técnicas EPS Dipropor)

2.4.4.2 Aislamiento térmico

Una de sus principales propiedades es su capacidad de aislamiento térmico frente al calor y al frío, esta capacidad se debe principalmente al aire ocluido dentro de la estructura celular del poliestireno.

Al respecto Dipropor indica que el 98% del volumen es aire y sólo el 2% el poliestireno, así mismo agrega que el aire en estado de reposo es un excelente aislante térmico.

2.4.4.3 Comportamiento frente al agua y vapor de agua

Sobre este punto el manual de especificaciones técnicas EPS Dipropor dice lo siguiente:

El poliestireno expandido no es higroscópico, a diferencia de lo que sucede con otros materiales del sector del aislamiento y embalaje. Incluso sumergiendo el material completamente en agua los niveles de absorción son mínimos con valores oscilando entre el 1% y el 3% en volumen (ensayo por inmersión después de 28 días). Nuevos desarrollos en las materias primas resultan en productos con niveles de absorción de agua aún más bajos.

Al contrario de lo que sucede con el agua en estado líquido el vapor de agua sí puede difundirse en el interior de la estructura celular del EPS

cuando entre ambos lados del material se establece un gradiente de presiones y temperaturas.

2.4.4.4 Comportamiento frente a factores atmosféricos

De todos los factores ambientales el único que afecta a este material es la radiación ultravioleta, (exposiciones prolongadas), produciendo amarillamiento de la superficie y volviéndolo frágil, como consecuencia de ello el viento y la lluvia logran erosionarla fácilmente, ante ello es importante el uso de recubrimientos o revestimientos.

2.5 ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DE LOS ENCOFRADOS DESLIZANTES

2.5.1 Descripción general

Al respecto Gallegos (08) enuncia lo siguiente: “La construcción con formas deslizantes, se hace efectiva básicamente al emplear, como encofrados, sólo una pequeña franja de él, estamos refiriéndonos a la altura del encofrado, esta altura será solamente de 0.95 a 1.50 m. max. Este encofrado es levantado cada cierto tiempo, en forma uniforme, juzgando que el concreto está dentro del proceso de fragua normal, y con una resistencia o inicio de consolidación suficiente, como para soportar su propio peso, estos encofrados de poca altura son levantados por medios mecánicos diversos.”

Respecto a los elementos de elevación empleados en el uso clásico del mismo Gallegos (08) menciona: “estos medios mecánicos” son básicamente ‘gatos’, que se sujetan en barras o tuberías de metal que provisionalmente van quedando dentro del concreto, que se está vaciando”.

Esta definición general hecha por el autor es adecuada para el presente estudio, ya que definiciones más específicas no se requieren, debido a que se planteará un prototipo de encofrado deslizante para tabiquería que sólo partirá del principio de funcionamiento de estos encofrados.

2.5.2 Ventajas de su aplicación

Como consecuencia de la compleja cadena tecnológica, análoga a la que se realiza en la industria, el método de los encofrados deslizantes es un método de industrialización de la construcción, cuyas ventajas de aplicación derivan de sus características.

Se citan a continuación brevemente las ventajas que pueden resultar de la aplicación de este tipo de encofrados, las ventajas citadas en este texto son sólo aquellas aplicables específicamente a los fines de esta tesis:

- Se realizan simultáneamente numerosas operaciones que en otros métodos de construcción se hacen sucesivamente, lo que conduce a una notable reducción del plazo de ejecución.
- Se suprimen los tiempos muertos, fijando el paso de la cadena tecnológica y dimensionado todos los medios en función de este paso, lo que asegura la continuidad del trabajo.
- Se consigue una gran velocidad de ejecución, alcanzando hasta 6m de altura por día (e incluso más con equipos especiales) velocidad que no puede alcanzarse por ningún otro método.
- Se obtiene un gran número de reutilizaciones equivalentes (alrededor de 150-200), con un mismo encofrado deslizante de 1-1,20 m de altura, lo que permite ejecutar una o varias obras idénticas totalizando una altura de deslizamiento de 170-240 metros cuando es metálico. Se consiguen así economías sensibles de materiales sobre todo de madera.
- se obtiene economías sensibles de mano de obra mecanizando la mayor parte de las operaciones y reemplazando la fábrica de ladrillo y los especialistas correspondientes (difíciles de encontrar) por concreto y obreros especializados en él (más fáciles de formar).
- Se reducen los acabados a una delgada capa de enlucido, de 3-7 mm de espesor, en lugar del enlucido ordinario de 25 mm, gracias a la regularidad de los parámetros, obtenida con encofrados deslizantes, esto incrementa las economías de materiales y mano de obra.
- Se asegura la continuidad de ejecución de la obra incluso en tiempo frío, tomando ciertas medidas que garanticen el endurecimiento del concreto.

(Dinescu, Sandru y Radulescu.,05).

2.5.3 Inclinación del encofrado deslizante

Debido a la naturaleza del proceso de izaje de este tipo de encofrados es importante fundamentar la importancia de la inclinación de los paneles durante el ascenso del encofrado.

Para que el deslizamiento del encofrado hacia arriba se realice normalmente, es necesario reducir la adherencia entre él y el concreto, lo que se consigue primeramente por elevación repetida del encofrado deslizante a una cierta velocidad media de deslizamiento calculada previamente, y después por la inclinación de las paredes del encofrado como se muestra en la Fig. 2.7.

Según Dinescu et al (05), el movimiento del encofrado durante el llenado de concreto, ayuda a reducir la adherencia entre ellos, pero no es suficiente para el despegue cómodo, sobre todo de la zona endurecida de la parte inferior.

Con el fin de reducir el rozamiento entre el encofrado y el concreto, los dos paneles deben estar inclinados respecto a la vertical, se designa a esta inclinación "conicidad", dicha inclinación se da en el sentido del deslizamiento, la inversión del mismo, o la ausencia de dicha inclinación podría provocar el arrastre del concreto, esto se muestra en la Fig. 2.8.

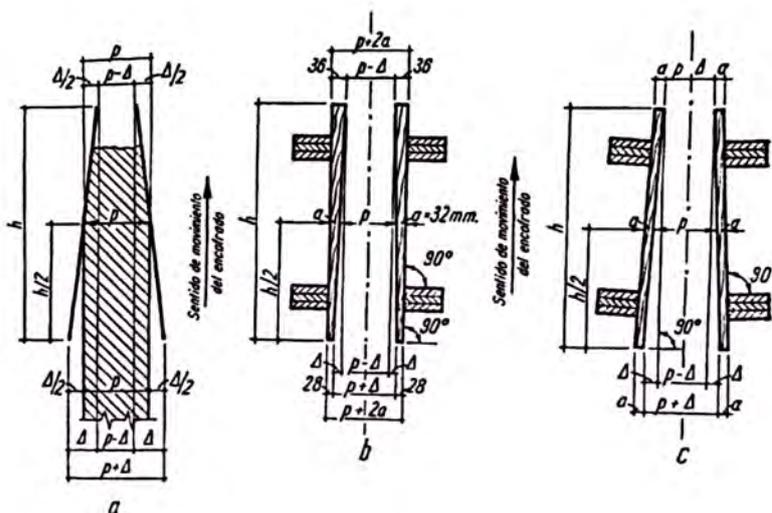


Figura 2.7: Obtención de la inclinación del encofrado deslizante
(Fuente: Dinescu et al)

a, esquema de la inclinación de dos paneles, b, realización de la inclinación dando a la tabla forma de cuña (normalmente en paneles curvos), c, obtención de la inclinación por propia inclinación de los paneles respecto a la vertical (en paneles planos y a veces en paneles curvos)

Utilizando las notaciones de la figura tenemos la inclinación i denotada de la siguiente manera $i = \frac{\Delta}{h}$ y se expresa en mm/m o o/oo, está comprendida entre 3 y 10 mm/m.

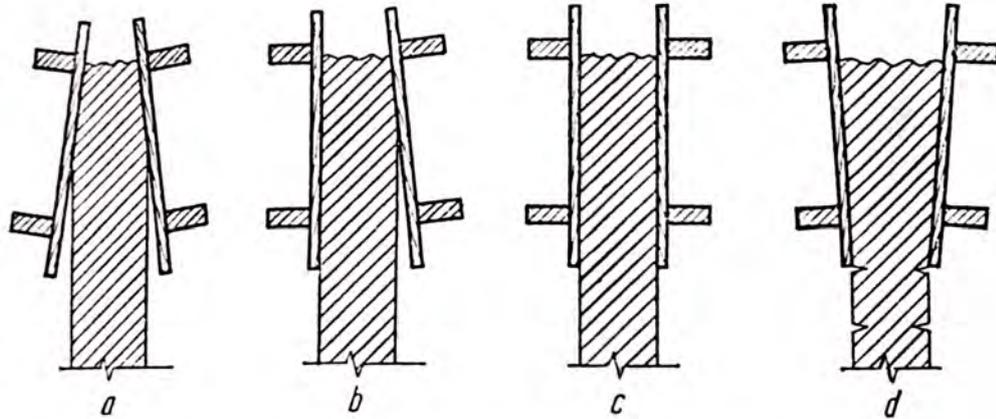


Figura 2.8: Sentido de la inclinación del encofrado deslizante

(Fuente: Dinescu et al)

a, Inclinación en el sentido del deslizamiento (bien); b, inclinación nula de uno de los paneles (mal); c, inclinación nula de los paneles (mal), d, inclinación en sentido contrario al deslizamiento (mal)

2.5.4 Paneles del encofrado deslizante

Dinescu et al. (05) menciona que estos son el encofrado propiamente dicho, los que le dan al concreto la forma y dimensiones del proyecto.

Al autor menciona además las condiciones que deben cumplir para su uso:

- Tener la cara en contacto con el concreto tan lisa como sea posible.
- No deformarse más allá de los límites permitidos ante la humedad del concreto.
- Tener facilidad para montarse y desmontarse.
- Tener la capacidad de mantener la inclinación mencionada a lo largo de todo el trabajo.

Respecto al material, Dinescu menciona que los mismos pueden ser de cualquier material que pueda soportar las solicitaciones a las cuales va a ser sometido y que tenga resistencia al desgaste.

2.5.4.1 Paneles metálicos

Los paneles metálicos tiene una estructura formada por perfiles (en U, I o L) y sus paredes son de chapa de 2-4 mm de espesor, fijada con soldadura o cualquier otro método a la estructura.

El autor menciona que entre las desventajas de este encofrado es que proporciona un débil aislamiento térmico, provocando dificultades en el deslizamiento, porque calientan el concreto y aceleran su fraguado en verano y favorecen su congelación en invierno.

2.5.5 Calculo de los paneles

Los paneles del encofrado deslizante se construirán para resistir la presión de las cargas horizontales y verticales, y se dimensionaran de tal manera que resistan en todas las secciones a los momentos flectores y esfuerzos axiales y cortantes debido a las cargas que lo soliciten, la deformación de los paneles bajo las cargas deberá estar dentro de los límites admisibles, de manera que no se modifiquen las dimensiones de los elementos de concreto proyectados, ni la inclinación pre escrita para los paneles, con vistas a asegurar un deslizamiento normal.

2.5.5.1 El empuje del concreto no endurecido

Sobre el encofrado depende de una serie de factores, de los cuales los más importantes son:

- Espesor de las tandas de concreto.
- La forma de compactar el concreto (a mano o mecánicamente, por vibración)
- La profundidad a la que el concreto se despega del encofrado, la cual depende a su vez de la velocidad de deslizamiento, de la consistencia del concreto, de la calidad del cemento, de la temperatura durante la preparación y endurecimiento, etc.
- Espesor de la pared de concreto.

2.5.5.2 Método de Nanning

A continuación se describe el método de Nanning, explicado por Dinescu et al. (05):

“El empuje del concreto no endurecido sobre los paneles de dimensiones normales (1-1.2 m. de altura), al principio del deslizamiento éste puede determinarse de acuerdo a la Fig.2.9 en la que se ha considerado un reparto parabólico de presiones a lo largo de 1 metro de altura, con un valor máximo de empuje unitario de 0.550 t./m². de panel, y con un valor de la resultante P_H de 0.375 t /m. de panel calculado mediante la fórmula:

$$P_H = \frac{2}{3} \gamma a^2$$

En donde $\gamma = 2,200 \text{ t/m}^3$, es el peso específico del concreto, y $a = V_B \cdot t_p$, la altura de la capa de concreto que está fraguando, que depende del tiempo de fraguado t_p y de la velocidad de concreto V_B .” (Dinescu et al.,05)

Así mismo, Nanning considera que el Coeficiente de rozamiento entre el encofrado y el concreto es $f=0.6$, por lo que la fuerza de rozamiento al inicio del deslizamiento es $F=0,6 \times 0.375 = 0,225 \text{ t/m}$.

“El empuje del concreto no endurecido durante el deslizamiento se determina a partir de la Fig.2.10 en el que el reparto de presiones se extiende sobre una altura de 60 cm y tiene un valor máximo de 0,330 t/m², dando una resultante horizontal de 0.132 t./m. de panel, calculado por medio de la misma fórmula anterior” (Dinescu, 05).

Del mismo modo el autor considera el mismo coeficiente de rozamiento, encontrando que la fuerza producida por el deslizamiento es de $F= 0,080 \text{ t/m}$ de panel.

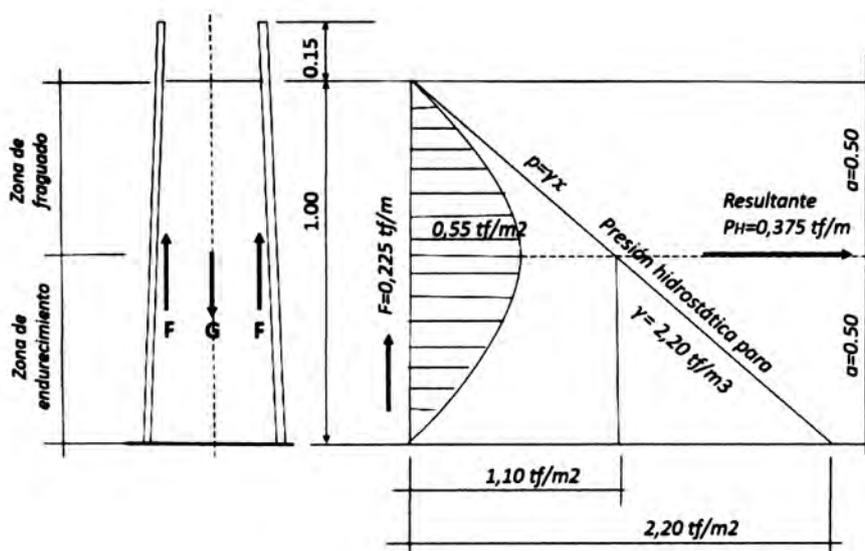


Figura 2.9: Diagrama de empujes del concreto al principio del deslizamiento, según Nanning
(Fuente: Dinescu et al)

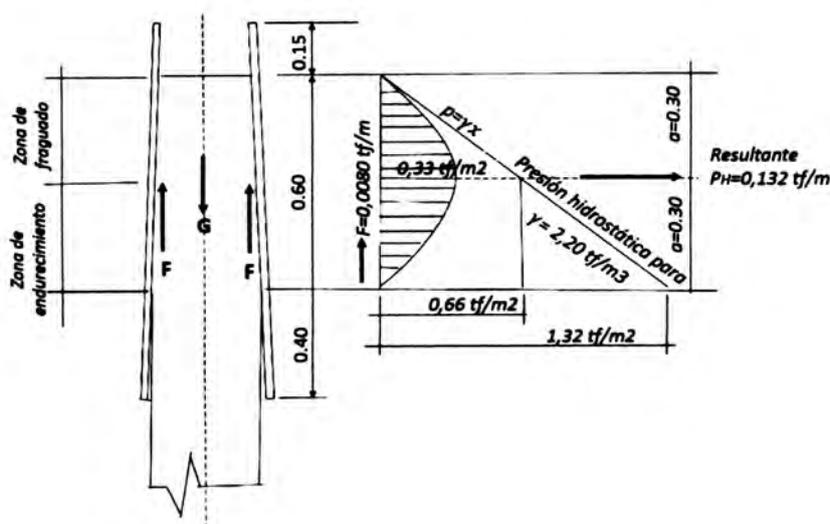


Figura 2.10: Diagrama de empujes del concreto durante el deslizamiento, según Nanning
(Fuente: Dinescu et al.)

Un problema recurrente en este tipo de encofrados es el cálculo del espesor mínimo d de las paredes que pueden construirse sin que el concreto sea arrastrado por el encofrado al ascender, al respecto Dinescu (05) dice para ello es necesario que el peso del concreto fresco G , sea mayor a las fuerzas de rozamiento $2F$ entre el concreto y el encofrado (h es el espesor de la tanda de concreto)

$$G = \gamma dh ; F = fH = 1/2 f \gamma h^2 ;$$

$$\text{Como } G \geq 2F , \text{ resulta } d \geq fh.$$

En el cuadro 2.1 muestra la relación entre las variables citadas (d , f y h), donde f depende del material del encofrado y de la compactación del concreto adyacente al mismo, Dinescu indica que se admite generalmente espesores de 12 cm, pero que sin embargo en ciertas condiciones pueden ser espesores menores.

Cuadro 2.1: Espesores mínimos
(Fuente: Dinescu et al.)

h (cm)	f	d min (cm)
20	0.6	12
	0.4	8
30	0.6	18
	0.4	12

2.6 CONCRETO UTILIZADO EN ENCOFRADOS DESLIZANTES

2.6.1 Cualidades del concreto que se coloca en encofrados deslizantes

Al respecto el autor también menciona que en el interior del encofrado deslizante el concreto está en diferentes grados de endurecimiento, esto se aprecia en la Fig.2.11, los mismos que van desde el concreto fresco a uno cada vez más duro, a medida que se aleja de la parte superior del encofrado, de manera que al principio del tercio inferior se separa de éste.

Para cumplir las condiciones, el concreto debe cumplir un conjunto de características, que son: endurecimiento inicial, resistencia, docilidad, calidad constante, monolitismo, retracciones débiles y consecución de la adherencia y protección de la armadura; de estas dependen la velocidad del deslizamiento, la resistencia y el aspecto de la obra, del cumplimiento de estas cualidades depende el éxito de la obra.

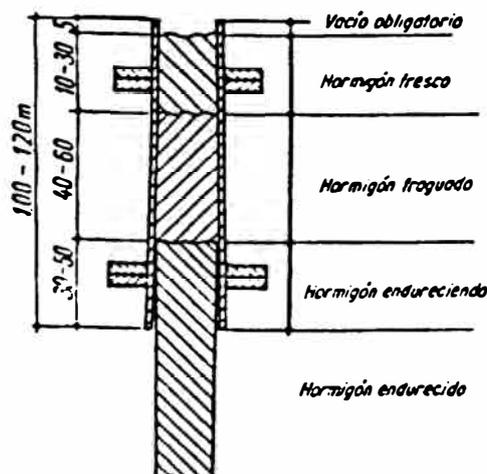


Figura 2.11: Estado del concreto en el encofrado deslizable
(Fuente: Dinescu et al)

2.6.2 Dosificación y puesta en obra del concreto

A continuación se indican las condiciones necesarias a cumplir por el concreto para su colocación en encofrados deslizantes:

2.6.2.1 Materiales

Dinescu et.al.(05) menciona: "todos los materiales deben satisfacer las prescripciones en vigor para concretos de calidad superior", para concretos utilizados en encofrados deslizantes clásicos el autor sugiere lo siguiente. "todos los cementos deben comenzar su fraguado de 1 y media hora a 2 horas y terminarlo de 4 a 6 horas después del amasado, tener una gran resistencia inicial y una débil retracción".

2.6.2.2 Puesta en obra del concreto

Se introduce el concreto en el encofrado (carretillas u otros dispositivos), en una tanda uniforme de 10 a 20 cm de altura, siempre considerando un vacío de unos 5 cm en el encofrado con el fin de evitar la rotura en los bordes durante el ascenso, antes de verter el concreto debe asegurarse la posición correcta de las varillas de acero. (Dinescu et al.,05)

La introducción del concreto en el encofrado debe hacerse máximo una hora y media después del amasado, y antes del comienzo del fraguado, el concreto debe organizarse de manera que cada tanda de vaciado se vierta y compacte antes de

que comience el fraguado de la tanda precedente, o en el peor de los casos cuando este ya ha comenzado. Con este fin la cantidad de concreto en cada tanda debe a un espesor de 10 a 20 cm por tanda. (Dinescu et al.,05)

2.6.2.3 Compactación del concreto

Una vez introducido el concreto en el encofrado se inicia el compactado, a mano o mecánicamente, la tanda de concreto fresco, para lograr la adherencia con la tanda anterior (Dinescu et al.,05)

Es importante cuidar la posición de las varillas de acero durante la compactación, así mismo durante la realización de la misma se debe prestar mayor cuidado a las zonas de esquina, puertas, ventanas y moldes, así como a las de armadura densa (Dinescu et al.,05)

2.6.2.4 Para la compactación manual

Dinescu et al. (05) recomienda el uso de barras con el extremo plano o listones de madera, con la técnica siguiente: Picar el concreto de la tanda vaciada precedente, buscando que las gravas se separen del encofrado y aparezca una capa de mortero, con el fin de facilitar el deslizamiento.

2.6.2.5 Determinación de la velocidad de deslizamiento

La velocidad de deslizamiento es fundamental para un correcto proceso de vaciado mediante el uso de encofrados deslizantes.

Al respecto (Dinescu et al,05) menciona los factores que determinan la velocidad de deslizamiento que son los siguientes:

Organización de la obra

Al respecto (Dinescu,05) recomienda que todos los medios de ejecución se dimensionen 1,3 veces la velocidad media admitida, valer decir que dichos elementos son: las instalaciones de mezclado, transporte y colocación del concreto y demás materiales, las instalaciones de elevación del encofrado deslizante, personal obrero entre otros.

Endurecimiento del concreto

"Horas después de la colocación del encofrado, el concreto debe ser bastante resistente para separarse del encofrado unos 2/3 de la altura de este y para arriostrar las barras de apoyo para que no pandeen".(Dinescu et al, 05)

Así mismo el autor indica que para un concreto de tiempo de fraguado de entre 2 a 6 horas y para un encofrado deslizante típico de 1-2.2 m de altura, la velocidad de deslizamiento debe ser como máximo de 25 cm/h, siendo la velocidad promedio de 20 cm/h.

2.7 SISTEMA DE IMPRESIÓN 3D

La impresión en 3D es un proceso de creación de objetos sólidos tridimensionales a partir de un archivo digital. La creación de un objeto impreso en 3D se logra mediante procesos aditivos. En un proceso aditivo un objeto es creado mediante la superposición de sucesivas capas de material hasta que se crea el objeto entero. Cada una de estas capas puede ser visto como una sección transversal horizontal en rodajas finas del objeto final.

2.7.1 Impresoras 3D

Una impresora 3D es una máquina capaz de realizar "impresiones" de diseños en 3D, creando piezas o maquetas volumétricas a partir de un diseño hecho por ordenador. Surgen con la idea de convertir archivos de 2D en prototipos reales o 3D. Comúnmente se ha utilizado en la matricería o la prefabricación de piezas o componentes, en sectores como la arquitectura y el diseño industrial.

La mayoría de los modelos comerciales actualmente son de dos tipos:

De compactación: con una masa de polvo que se compacta por estratos.

De adición: o de inyección de polímeros, en las que el propio material se añade por capas.

2.7.2 Tipos de impresoras 3d

La siguiente es una división según el tipo de tecnología empleada para realizar la impresión:

2.7.2.1 Impresoras 3D por Estereolitografía (SLA)

Según Mava (2014): "Esta técnica fue la primera en utilizarse. Consiste en la aplicación de un haz de luz ultravioleta a una resina líquida (contenida en un cubo) sensible a la luz. La luz UV va solidificando la resina capa por capa. La base que soporta la estructura se desplaza hacia abajo para que la luz vuelva a ejercer su acción sobre el nuevo baño, así hasta que el objeto alcance la forma deseada."

2.7.2.2 Impresoras 3D de Sintetización Selectiva por Láser (SLS)

Al respecto Mava (2014) indica lo siguiente. "También conocido en inglés como Selective Laser Sintering (SLS), esta tecnología se nutre del láser para imprimir los objetos en 3D".

Además el autor indica que aunque se asemeja a la tecnología SLA, permite utilizar una mayor variedad de materiales en polvo, que es solidificado por la incidencia del láser.

2.7.2.3 Impresoras 3D por Inyección

Este es el sistema de impresión 3D más parecido a una impresora habitual (de tinta en folio), pero en lugar de inyectar gotas de tinta en el papel, inyectan capas de fotopolímero líquido que se pueden curar en la bandeja de construcción.

2.7.2.4 Impresión por deposición de material fundido (FDM)

También conocida por FFF (Fused Filament Fabrication, término registrado por Stratasys). La técnica aditiva del modelado por deposición fundida es una tecnología que consiste en depositar polímero fundido sobre una base plana, capa a capa. El material, que inicialmente se encuentra en estado sólido almacenado en rollos, se funde y es expulsado por la boquilla en minúsculos hilos que se van solidificando conforme van tomando la forma de cada capa. Se trata de la técnica más común en cuanto a impresoras 3D de escritorio y usuarios domésticos se refiere.

CAPITULO III: DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO LIGERO CON POLIESTIRENO EXPANDIDO

3.1 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Como en todo diseño de mezcla lo primero fue determinar las propiedades de los agregados a utilizarse en la investigación, que fueron: arena gruesa y perlas de poliestireno expandido.

3.1.1 propiedades de los agregados

A continuación en la Fig. 3.1 se muestra la curva granulométrica de la arena (—▲—), las curvas en color rojo (—■—) y azul (—◆—) delimitan el huso granulométrico para la arena definido según la norma ASTM C33, donde se puede observar que la granulometría de la arena es aceptable; teniendo en cuenta que más del 57% de la curva granulométrica se encuentra dentro de dicho huso.

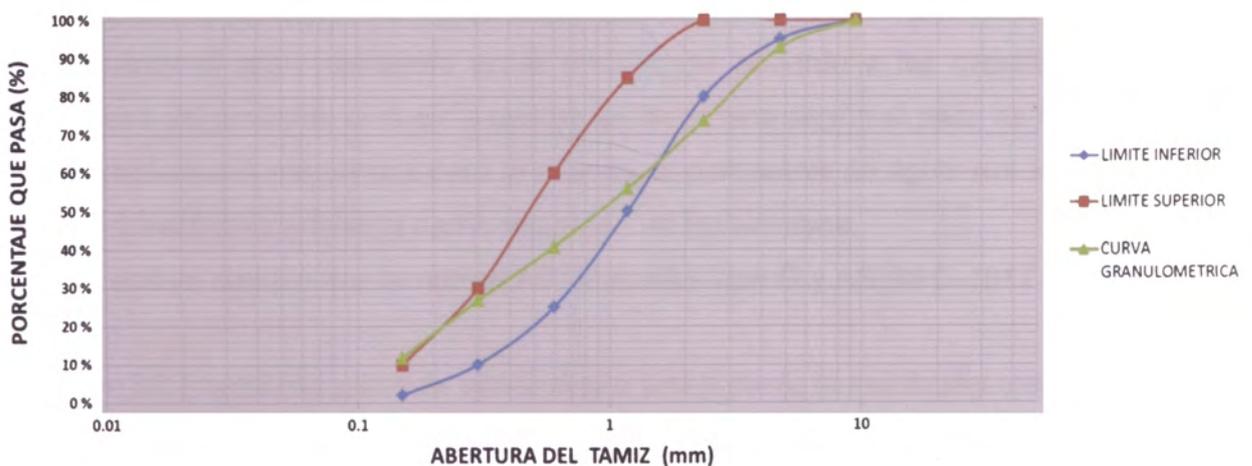


Figura 3.1: Curva granulométrica de la arena gruesa
 (Fuente: Elaboración propia)

En el cuadro 3.1, se aprecian las principales propiedades de los agregados a utilizarse según el diseño de concreto ligero, vale decir la arena gruesa y las perlas de poliestireno expandido, para el caso de la arena gruesa, dichas propiedades fueron determinadas en el laboratorio siguiendo las normativas respectivas para cada ensayo, cabe mencionar que siendo el porcentaje de absorción de las perlas de EPS de 0,5 a 1,5 % a los 28 días, el valor del peso específico de masa superficialmente seco se considera igual al peso específico de masa.

Cuadro 3.1: Principales propiedades de los agregados

(Fuente: Elaboración propia)

PROPIEDAD	Arena gruesa	Perlas de poliestireno expandido
Tamaño Máximo Nominal	4.75 mm	9.5 mm
Módulo de Finura	2.98	6.00
Peso unitario suelto (Kg/m ³)	1532.7	6.95
Peso unitario compactado (Kg/m ³)	1612.8	7.03
Peso específico de masa Kg/m ³	2588	12
Peso específico de masa superficialmente seco (Kg/m ³)	2716	12
Porcentaje de absorción (%)	4.93	0.5-1.5

3.1.2 Propiedades del aditivo

En el cuadro 3.2 se muestran las propiedades del aditivo usado en este estudio, el aditivo Viscocrete 1110 PE de Sika, que fue utilizado principalmente con el fin de reducir el agua requerida en la mezcla, de acuerdo a las especificaciones técnicas del producto la dosis a usarse se determina según el peso de cemento y las propiedades requeridas para la mezcla, el porcentaje de agua que se reducirá se mostrará más adelante como resultado de los ensayos.

Este aditivo cumple con la norma ASTM C-494 Tipo G y ASTM C-1017.

Cuadro 3.2: Propiedades y usos del aditivo utilizado para el diseño de mezcla para concreto ligero

(Fuente: Elaboración propia)

PRODUCTO	DESCRIPCION	USOS
Sika ViscoCrete 1110 PE	Es un poderoso superplastificante de tercera generación para concretos y morteros. Ideal para concretos autocompactantes.	Es adecuado para la producción de concreto en obra, así como para el concreto pre-mezclado. Facilita la extrema reducción de agua, tiene excelentes propiedades con los agregados finos, una óptima cohesión y alto comportamiento autocompactante. Se usa para los siguientes tipos de concreto: <ul style="list-style-type: none"> • Concreto autocompactante. • Concreto para climas cálidos y/o sometidos a trayectos largos o espera antes de su utilización. • Concreto de alta reducción de agua (hasta 30%)

3.2 PARAMETROS DEL ESTUDIO

Para la realización del presente estudio se tomó los siguientes factores como esenciales en la dirección y parametrización del mismo y por ende fueron decisivos en los resultados de la tesis:

- Costos del sistema de tabiquería
- Peso del sistema de tabiquería
- Velocidad de ejecución del sistema de tabiquería
- Sistema de encofrado a utilizarse

Es en base a dichos parámetros que durante la etapa de investigación en laboratorio, en el proceso de formulación del diseño de mezcla se tomaron los siguientes parámetros:

- Peso del diseño de mezcla menor a 1500kg/m³
- Resistencia a la compresión (a los 7, 14 y 28 días)
- Asentamiento (según los requerimientos de colocación)
- Velocidad de fraguado
- Costo por m³ del diseño de mezcla

3.3 ELABORACIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA

El concreto ligero que deseamos producir estará compuesto de los siguientes materiales:

- Cemento
- Perlas de poliestireno expandido
- Arena
- agua
- aditivo

Podemos observar que en contraste con un concreto típico, reemplazaremos el agregado grueso por el EPS, este fue uno de los primeros inconvenientes respecto al uso de las tablas planteadas para el cálculo del volumen de agua, debido a que estas se realizaron en base a mezclas en las que se empleó agregado grueso de granulometría comprendida dentro de los límites de la norma ASTM C 33, sin embargo del análisis granulométrico realizado al EPS se desprende que por su naturaleza uniforme y poca absorción de agua, éste no se ajusta a los husos que plantea dicha norma, es por ello que el primer objetivo fue la determinación del

contenido de agua para concretos preparados con EPS como reemplazo del agregado grueso.

- Se tomó como volumen inicial de agua un valor a criterio propio de 215.6 L/m³, éste se ajustará posteriormente de acuerdo al slump requerido.
- El porcentaje de aire atrapado es un valor que será determinado en los ensayos por el método volumétrico o de presiones, pero para fines de diseño se tomará un valor inicial de 3%.
- Se tomó un valor inicial de cemento a criterio propio de 332 kg/m³ = 7.81 bolsas/m³
- Por recomendación de la empresa Sika se usará el superplastificante Sika Viscocrete – 1110 PE que de acuerdo a la hoja técnica, se recomienda una proporción de 0.4 - 1.0% del peso de cemento, por lo que se utilizará como valor constante una proporción del 0.5% en todas las mezclas a realizarse.

Viscocrete – 1110 PE..... $332 \times 0.5 / 100 = 1.66 \text{ kg/m}^3$

Hallando el volumen del aditivo:

Viscocrete – 1110 PE..... $1.66 \text{ kg} / 1.06 \text{ kg/L} = 1.56 \text{ L/m}^3$

Descontamos el volumen de aditivo del agua de diseño:

Agua de diseño..... $215.6 - 1.56 = 214 \text{ kg/m}^3$

A continuación se mostrará el procedimiento seguido para el cálculo del volumen y los pesos de los demás materiales en la mezcla.

3.3.1 Cálculo de volúmenes absolutos

A partir de los pesos del cemento, agua y perlas de poliestireno expandido, así como el volumen de aire atrapado, se procede a calcular la suma de volúmenes absolutos de la mezcla, esto se aprecia en el cuadro 3.3.

Cuadro 3.3 Cálculo de volúmenes absolutos para un 1 m³ de concreto

(Fuente: Elaboración propia)

Material	Volumen absoluto
Perlas de EPS	= 0.324 m ³
Cemento	332/3150 = 0.105 m ³
Agua	214/1000 = 0.214m ³
Aire	3.0 % = 0.03 m ³
Viscocrete	. = 0.002 m ³
Suma de volúmenes conocidos	= 0.675 m³

3.3.2 Contenido de agregado fino

El volumen absoluto de agregado fino será igual a la diferencia entre la unidad y la suma de los volúmenes absolutos conocidos, el peso del agregado fino será igual a su volumen absoluto multiplicado por su peso específico.

Volumen absoluto de agregado fino = $1 - 0.675 = 0.325 \text{ m}^3$

Peso del agregado fino seco = $0.325 \times 2.58 \times 1000 = 841 \text{ kg}$

3.3.3 Valores de diseño

Las cantidades de materiales a ser empleadas como valores de diseño serán los mostrados en el cuadro 3.4.

Cuadro 3.4: Valores de diseño de mezcla

(Fuente: Elaboración propia)

Material	Masa / Volumen absoluto (kg/m ³)
Cemento	332
Agua de diseño	214
Agregado fino seco	841
Perlas de EPS	3.89
Viscocrete	1.66

3.3.4 Corrección por humedad del agregado

Las proporciones de los materiales que integran la unidad cubica de concreto debe ser corregida en función de las condiciones de humedad de los agregados, a fin de obtener los valores a ser utilizados en obra.

La humedad del agregado no es constate, depende de factores ambientales y de las condiciones de almacenamiento del mismo, es por ello que se recomienda que el porcentaje de humedad debe de determinarse para cada tanda de prueba realizada.

Peso húmedo del:

Agregado fino..... 841 x 1.038 = 872.96 kg/m³
 Perlas de EPS.....humedad 0%

A continuación determinaremos la humedad superficial del agregado fino:

Humedad superficial del:

Agregado fino.....3.8 – 4.93 = - 1.13 %
 Perlas de EPS.....0.0 – 1.5 = - 1.5 %

Y los aportes de los agregados serán:

Aporte de humedad del:

Agregado fino841 x (-0.0113) = - 9.50 L/m³
 Perlas de EPS.....3.89 x (-0.015) = - 0.058 L/m³.
 Luego el aporte de humedad de los agregados..... = - 9.56 L /m³
 Agua efectiva = 214 – (-9.56) = 223.56 L/m³

Así finalmente los pesos de los materiales, ya corregidos por humedad del agregado, a ser empleados en las mezclas de prueba serán los que se muestran en el cuadro 3.5

Cuadro 3.5: Valores de diseño de mezcla corregidos por humedad
(Fuente: Elaboración propia)

Material	Masa / Volumen absoluto (kg/m³)
Cemento	332
Agua de diseño	223
Agregado fino seco	873
Perlas de EPS	3.89
Viscocrete	1.66

Todos los diseños fueron realizados siguiendo el mismo procedimiento descrito anteriormente para el diseño de la mezcla 1.

Para elaborar la tanda de prueba, requerimos un volumen de 0.01 m³ con el fin de poder realizar los ensayos requeridos.

Los Pesos para la tanda de prueba de 0.01 m³ se muestran en el cuadro 3.6.

Cuadro 3.6: Valores de diseño de mezcla para una tanda de prueba de 0.01 m³
(Fuente: Elaboración propia)

Material	Pesos (kg)
Cemento	3.32
Agua de diseño	2.23
Agregado fino seco	8.73
Perlas de EPS	0.0389
Viscocrete	0.0166

Siguiendo el procedimiento anterior se determinaron las proporciones mostradas en el cuadro 3.7 con los diseños de mezcla de prueba realizados, tomando cemento por m³.

Cuadro 3.7: Mezclas de prueba realizadas

Fuente: Elaboración propia.

MATERIALES	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
PERLAS DE POLIESTIRENO	3.9	4.2	4.8	4.8	4.8	4.8	4.2	4.2	4.2	4.2
% DE TECNOPOR EN VOLUMEN	32. %	35%	40%	40%	40%	40%	35%	35%	35%	35%
CEMENTO (kg/m3)	332	441.6	400	400	420	430	430	430	430	430
ARENA (kg/m3)	861	943	504	604	569	534	799	719	693	663
AGUA (kg/m3)	236	146	264	228	234	244	200	228	238	250
AIRE ATRAPADO (%)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
ADITIVO VISCOCRETE (kg/m3)	1.66	1.76	2	2	2.1	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15
a/c	0.71	0.33	0.66	0.57	0.56	0.57	0.47	0.53	0.55	0.58

3.4 PROCESO DE ELABORACIÓN

Los procesos de mezclado y los ensayos realizados fueron llevados a cabo en el Laboratorio de Ensayo de Materiales "Ing. Manuel Gonzales de la Cotera"- Facultad de Ingeniería Civil - Universidad Nacional de Ingeniería.

A partir del diseño de mezcla planteado se procedió a realizar la preparación de una primera tanda de prueba 1 con el fin de determinar en primera instancia, las características físicas como el asentamiento, trabajabilidad, exudación, segregación y homogeneidad de la matriz de la mezcla.

El proceso de elaboración y mezclado se describe a continuación, cabe mencionar que el volumen preparado fue una tanda de prueba de concreto ligero de 0.01m³, para un Slump de 6", pero el procedimiento se aplica también para volúmenes mayores, cabe mencionar que el tiempo de mezclado varía de acuerdo a la capacidad del trompo y a la velocidad de las revoluciones del mismo, los tiempos mencionados en el siguiente proceso de elaboración son aquellos registrados con el trompo.

1. Se realiza el pesado de los materiales de acuerdo al diseño de mezcla, verificando antes la correcta calibración de los equipos, teniendo cuidado de no incurrir en error durante la realización del mismo, se divide el volumen del agua de mezclado en dos recipientes y se agrega a uno de ellos el aditivo super plastificante Viscocrete, para ser agregado a la mezcla junto con el cemento y las perlas de poliestireno expandido
2. Se humedece previamente las paredes de trompo con el fin que este no absorba agua de la mezcla, alterando las propiedades del diseño propuesto.
3. Se procede al inicio del mezclado colocando la arena gruesa en el trompo, luego de lo cual se añade 1 L de agua sola como se aprecia en la Fig. 3.2, encendemos el trompo y mezclamos la arena con el agua por un espacio de 1 a 2 minutos hasta tener una masa de consistencia uniforme a verificarse por inspección visual.



Figura 3.2: Adición de agua a la mezcla durante el proceso de mezclado

4. Se detiene el funcionamiento del trompo y se procede a agregar el cemento a la mezcla, añadiendo otra cantidad adicional de agua como se aprecia en la Fig. 3.2, esta vez con aditivo Viscocrete, proseguimos con el mezclado durante un tiempo de 2 a 3 minutos hasta tener una pasta de consistencia homogénea entre la arena y el cemento con ayuda del agua de mezclado añadida.



Figura 3.3: Momento de la adición de perlas de EPS a la mezcla

5. Finalmente una vez alcanzada la consistencia requerida se añade a la mezcladora las perlas de poliestireno expandido como se observa en la Fig. 3.3 y se añade el agua con aditivo restante de diseño, se enciende nuevamente el trompo y se prosigue con el mezclado.

6. Una de las consideraciones a tener en cuenta en este punto es que se observó que luego de 1 minuto de mezclado una cierta cantidad de las perlas de EPS tendía a adherirse a las paredes del trompo, por lo que con ayuda de un cucharón o una espátula se procedió a extraerlas e introducirlas en la mezcla, prosiguiendo así con el mezclado durante un periodo de 2 a 3 minutos hasta lograr la inmersión total de las perlas de EPS en la matriz de concreto y una dispersión uniforme de las mismas en la mezcla, tal como se aprecia en la Fig. 3.4.

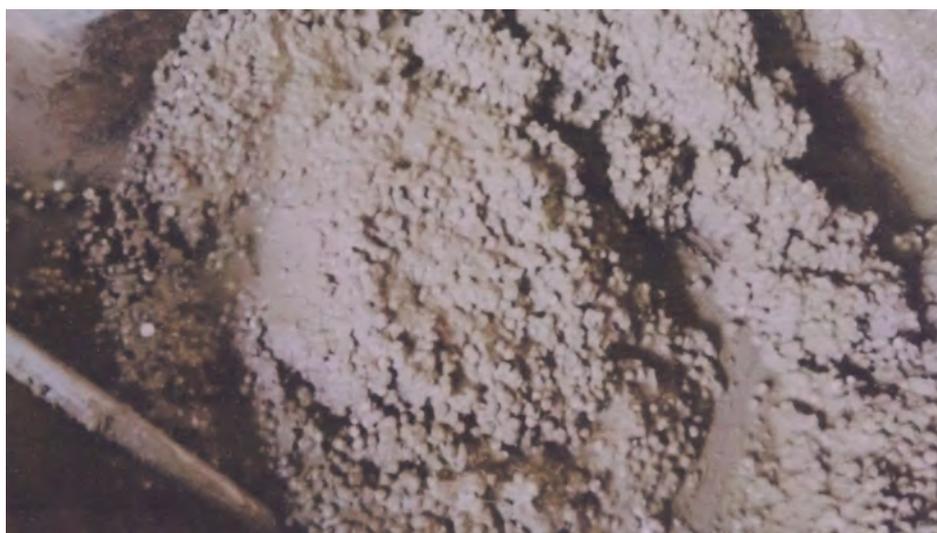


Figura 3.4: Mezcla final con las perlas de EPS distribuidas homogéneamente en la matriz de concreto

3.4.1 Observaciones

Estudios anteriores describían un problema recurrente en la elaboración de concreto ligero referido a la mala distribución de las perlas de EPS en la matriz de la mezcla debido principalmente a su naturaleza y su baja densidad que conllevaría a que estas se separen de la mezcla y floten sobre la misma, con respecto a tal problema se planteaban soluciones como recubrir las perlas de EPS con cola sintética para darle mayor densidad y mejorar su distribución en el concreto, sin embargo con las proporciones planteadas en este estudio y respetando el orden de adición de los materiales a la mezcla, no se tuvo problemas relacionados a la dispersión de las perlas de EPS, una posible explicación sería que las cantidades de agua requeridas son más bajas que las necesarias para el Slump requerido debido a la adición del aditivo Viscocrete que actúa como un reductor de agua, ya que durante los ensayos realizados se observó que la

tendencia a la flotabilidad de las perlas de EPS era directamente proporcional a la consistencia de la mezcla y a la cantidad de arena y cemento en la misma.

El volumen de agua por unidad cubica de concreto influirá en la resistencia y en el asentamiento, es por ello que se procedió con la determinación de la cantidad optima de agua requerida para distintos niveles de asentamiento determinados por las condiciones de obra.

Según Rivva Lopez (2010) menciona que: “El asentamiento depende de:

- El perfil, textura superficial, revestimientos superficiales, porosidad, absorción y granulometría de los agregados finos y grueso.
- La presencia de los aditivos incorporadores de aire, aditivos acelerantes y aditivos reductores de agua.
- Las proporciones de la mezcla, temperatura y humedad relativa ambientes
- El tiempo transcurrido entre la preparación del concreto y el momento en que se efectúa el ensayo de consistencia.” (p. 51)

El método más usado para la determinación de la consistencia y el asentamiento es el método del Cono de Abrams como se aprecia en la Fig. 3.5, es por ello que será el empleado en este estudio.

3.5 SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

Se fijó el asentamiento como primera variable a determinarse según se muestra en la Fig. 3.5, para lo cual se realizaron diseños de mezclas con diferentes cantidades de agua, manteniendo constantes las demás variables (cemento, poliestireno expandido, volumen de aditivo).

A continuación se muestra el cuadro 3.8 con los valores de volumen de agua por m³ de diseño de mezcla, con un porcentaje constante del 0.5% del peso de cemento en aditivo Viscocrete 1110, y los niveles de asentamiento alcanzados (pulg).



Figura 3.5: Medición del asentamiento mediante el ensayo del Cono de Abrams

Cuadro 3.8: Volumen de agua en litros por m³ vs Asentamiento medido en Pulg.

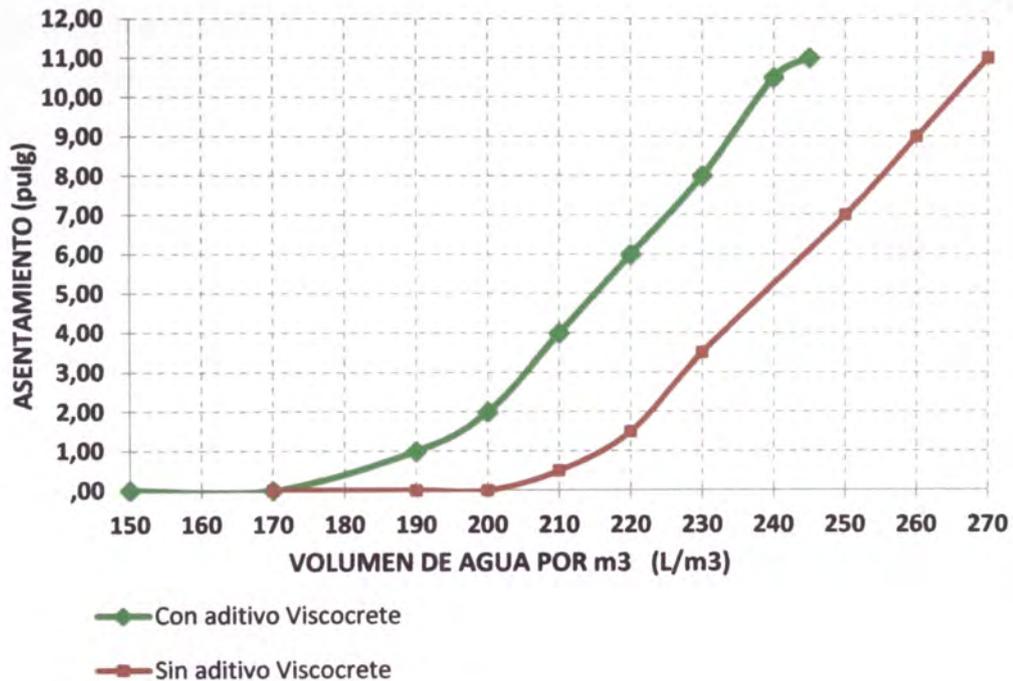
(Fuente: Elaboración propia)

Con aditivo Viscocrete		Sin aditivo Viscocrete	
Volumen de agua por m ³ (L)	Asentamiento (pulg)	Volumen de agua por m ³ (L)	Asentamiento (pulg)
150	0.0	170	0.0
170	0.0	190	0.0
190	1.0	200	0.0
200	2.0	210	0.5
210	4.0	220	1.5
220	6.0	230	3.5
230	8.0	250	7.0
240	10.5	260	9.0
245	11.0	270	11.0

A partir de la tabla se genera una gráfica de asentamiento (pulg.) vs Volumen de agua (L/m³) la cual se muestra en el cuadro 3.9.

Cuadro 3.9: Curva de Asentamiento vs Volumen de agua

Fuente: Elaboración propia



De la gráfica generada en el cuadro 3.9 se puede ver que para volúmenes inferiores a 170 L la cantidad de agua agregada no genera variaciones en el nivel de asentamiento, es recién a partir del mencionado valor que se empieza a incrementar progresivamente hasta establecerse un ritmo constante de incremento de 1" por cada 5 litros de agua añadida.

Vale aclarar que la inclusión del aditivo Viscocrete 1110 disminuye la cantidad de agua para el Slump requerido, de este modo, la relación agua-cemento (a/c) disminuye y la resistencia final de las muestras de concreto a compresión axial aumenta.

3.6 ACABADO CEMENTICIO SUPERFICIAL

Uno de los puntos importantes a evaluar en el estudio era el acabado superficial del concreto luego de realizado el desencofrado de los elementos vaciados.

Es así que luego de realizados los primeros ensayos se observó que el acabado logrado para slumps de 6" y 8" era de buenas características con respecto al acabado superficial.

3.7 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE AIRE

Se intentó realizar la determinación del contenido de aire por el método de presiones (norma ASTM C 231-78) empleando el aparato tipo Washington, pero debido a la naturaleza de las perlas de EPS dicho ensayo arrojó resultados absurdos (porcentaje de aire mayor a 10%) por lo que se optó por el método volumétrico (norma ASTM C-173), determinándose así para las proporciones ya definidas un contenido de 3% de aire atrapado.

3.8 ENSAYO DE FRAGUADO

A continuación se muestra los resultados obtenidos del ensayo de fraguado de concreto, según la norma y los procedimientos indicados en la norma ASTM C403.

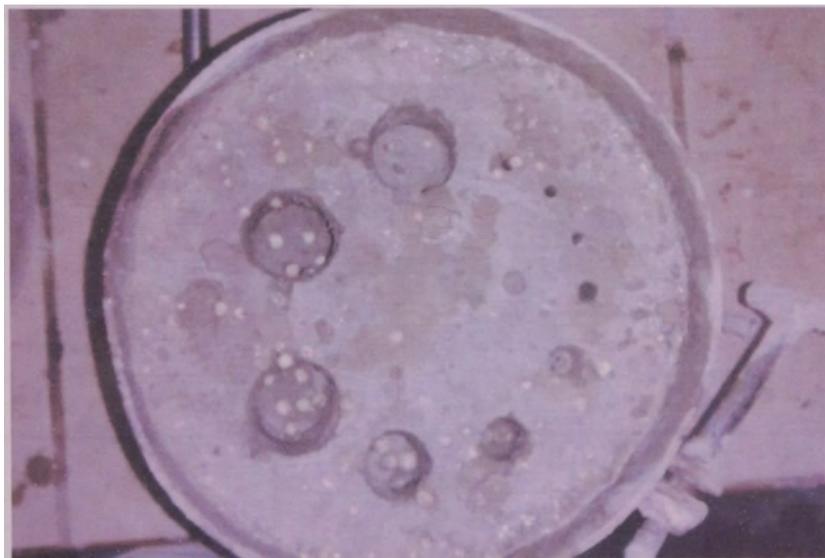


Figura 3.6: Vista de la muestra usada en el ensayo de penetración

En la Fig. 3.6 se observa el mortero de concreto empleado en el ensayo con las huellas de la penetración de las agujas normalizadas.

Las condiciones del ensayo se mencionan en el cuadro 3.10 vale precisar que la relación a/c mostrada está referida al agua efectiva de mezcla.

Se siguieron los procedimientos indicados en la norma ASTM C403, tomando datos de la hora y la fuerza de la penetración alcanzada por las agujas normalizadas en cada ensayo, los resultados se pueden observar en el cuadro 3.11.

Cuadro 3.10: Condiciones de la muestra para ensayo de fraguado
 (Fuente: Elaboración propia)

Asentamiento:	6"
a/c=	0.55
Temperatura exterior:	21°C
Tiempo inicial:	12:40 h

Cuadro 3.11: Cuadro de resultados de las cargas de ensayos de penetración a lo largo del tiempo
 (Fuente: Elaboración propia)

Horas	Tiempo (min)	Carga de penetración (lb)	Aguja (pulg2)	Resistencia a la penetración (PR) (kg/cm2)	fraguado inicial (kg/cm2)	fraguado final (kg/cm2)	Resistencia a la penetración (PR) (lb/pulg2)
16:53	253	60	1.000	4.2	35	280	60
17:30	290	60	0.500	8.4	35	280	120
18:00	320	70	0.250	19.7	35	280	280
18:30	350	76	0.100	53.4	35	280	760
19:00	380	70	0.050	98.4	35	280	1400
19:30	410	56	0.025	157.5	35	280	2240
20:00	440	136	0.025	382.4	35	280	5440

Con los resultados indicados en el cuadro 3.11 se realizó el trazo de la curva de fraguado para una temperatura ambiental de 21°C, véase Fig. 3.7.

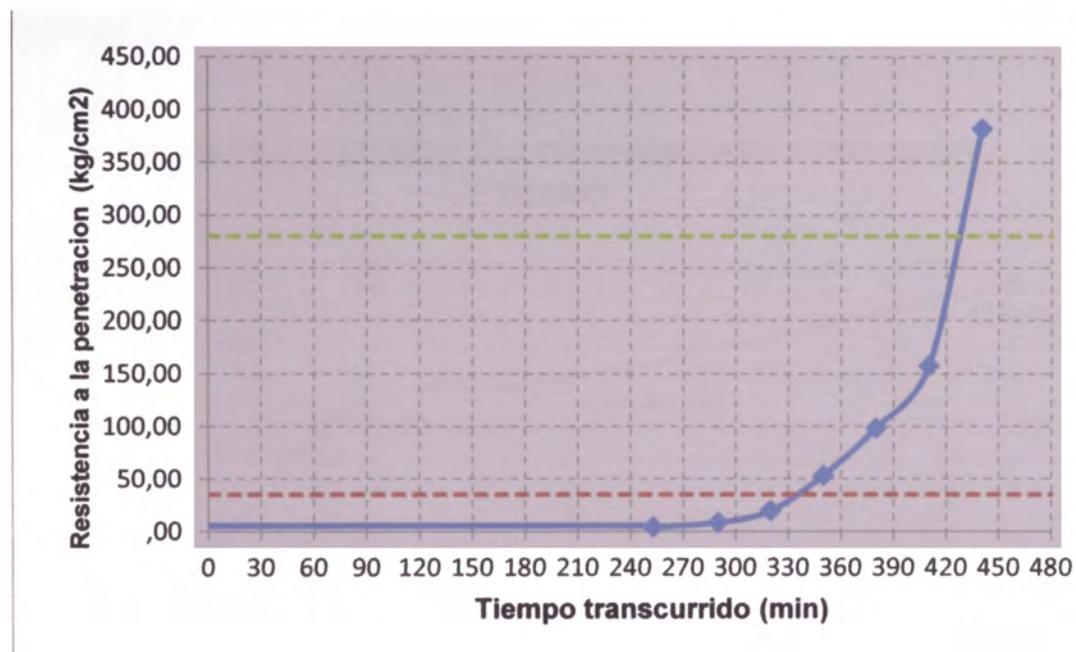


Figura 3.7: Grafica de la curva de fraguado
(Fuente: Elaboración propia)

3.9 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL

Se realizaron ensayos de resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días de acuerdo a las normas establecidas obteniéndose los siguientes resultados.

La siguiente curva mostrada en la Fig. 3.8 es la generada a partir de los ensayos de resistencia aplicados a las probetas elaboradas con el diseño D3 con un Slump de 8"

De la Fig.3.8 se concluye que:

- La resistencia alcanzada a los 28 días fue de 66.02 kg/cm².
- A los 7 días se alcanza el 65% de la resistencia final.
- A los 14 días se alcanza el 75% de la resistencia final.

Para la determinación de la cantidad de poliestireno óptima para los requerimientos del diseño, se realizaron diseños de mezclas con 30, 35 y 40% en volumen de dicho agregado artificial del total de volumen de concreto.

Se determinó que empleando un 30% en volumen de poliestireno expandido el peso de diseño de mezcla para las proporciones iniciales era superior a 1500 kg/m³, valor que se encuentra fuera del parámetro meta planteado al inicio del estudio (pág. 62). Así mismo de la Fig.3.8 se deduce que para diseños con 40%

en volumen de perlas de EPS los valores de las resistencias obtenidas serían aún más bajas.

CURVA DE RESISTENCIA A LA COMPRESION EN FUNCION DEL TIEMPO

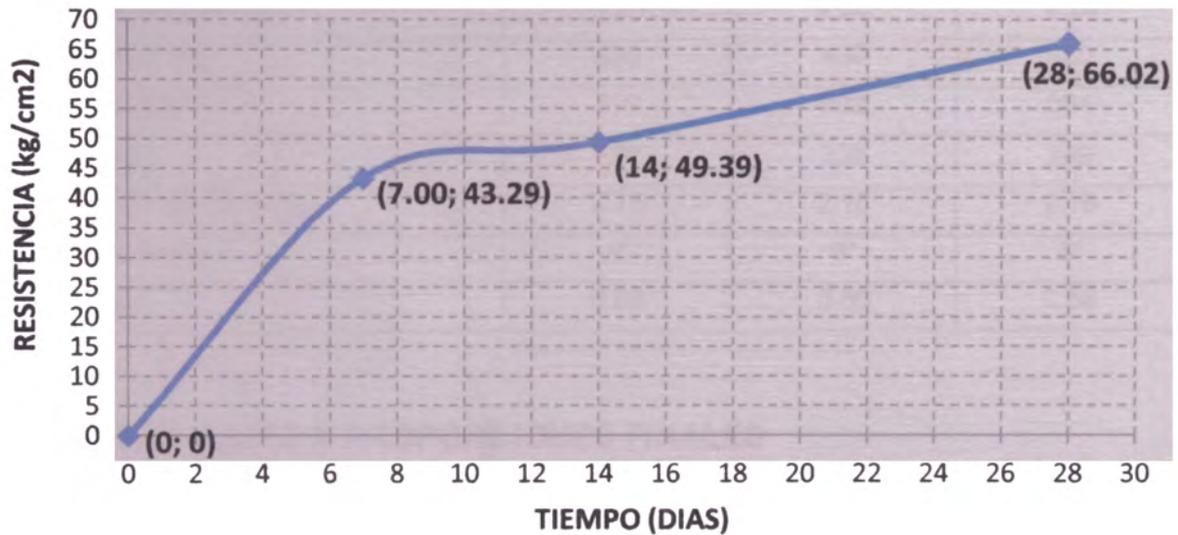


Figura 3.8: Curva de resistencia a la compresión en función del tiempo
(Fuente: Elaboración propia)

Para las probetas vaciadas con un 40% en volumen de perlas de EPS se verificó que los valores de las resistencias obtenidas eran demasiado bajas para la norma establecida, es así que se determinó un diseño de mezcla final empleando un porcentaje del 35% en volumen.

3.10 DISEÑO DE MEZCLA DEFINITIVO

De esta manera se determina las cantidades de los diseños de mezcla las cuales se muestran en cuadro 3.12, vale aclarar que las proporciones ya están corregidas por humedad de agregados.

Cuadro 3.12: Diseños de mezcla definitivos para asentamientos de 4, 6 y 8 pulg.

(Fuente: Elaboración propia)

MATERIALES	DOSIFICACION POR M3		
	D1	D2	D3
Perlas de EPS (kg)	4.20	4.20	4.20
Cemento (kg)	430	430	430
Arena (kg)	719	692	664
Agua (L)	228	239	249
Aditivo Viscocrete(kg)	2.15	2.15	2.15
Slump (pulg)	4"	6"	8"
a/c real	0.53	0.56	0.58

3.11 PORCENTAJES Y PROPORCIONES FINALES

A continuación se presentan el cuadro 3.13 con los porcentajes en peso, volumen y precio de los materiales empleados en el diseño de mezcla D3.

Cuadro 3.13: Porcentajes en peso, volumen y precio del diseño de mezcla 3

(Fuente: Elaboración propia)

Materiales	%peso	%volumen	%precio
Poliestireno expandido	0.32	35.00	20.82
Cemento	32.64	13.65	63.89
Arena	49.41	25.15	5.75
Agua	17.46	23.00	1.19
Aire atrapado	0.00	3.00	0.00
Aditivo Viscocrete	0.16	0.20	8.36

También se muestra gráficos circulares con las mencionadas proporciones:

Porcentaje de peso por materiales

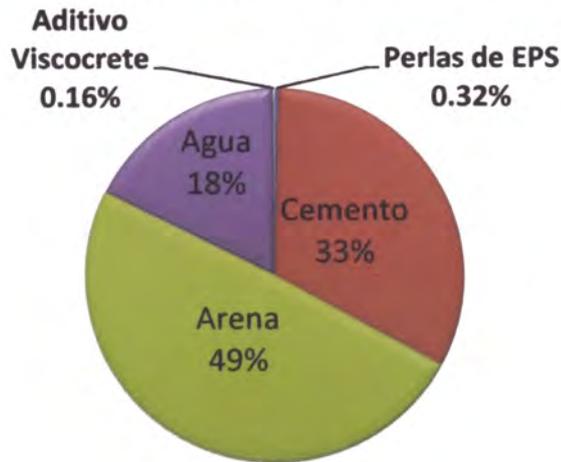


Figura 3.9: Porcentaje de peso por materiales
 (Fuente: Elaboración propia)

De la Fig. 3.9 se observa que el peso de las perlas de poliestireno expandido en la mezcla es extremadamente bajo (0.32%) a comparación de los demás componentes del diseño, esto es debido a su densidad de tan solo 10 kg/m³. La arena ocupa prácticamente la mitad (49%) del peso total de la mezcla, ya que tiene un peso específico de masa de 2588 kg/m³

Porcentaje de volumen por materiales

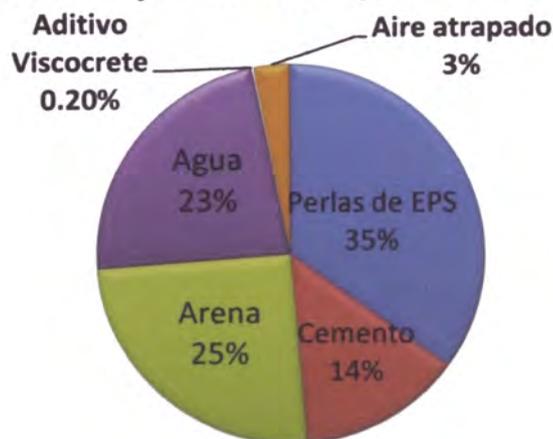


Figura 3.10: Porcentaje de volumen por materiales
 Fuente: Elaboración propia

De la Fig. 3.10 se observa que el poliestireno expandido ocupa el 35% del volumen total, vale mencionar que sin embargo solo tiene un 0.32% en peso del total. Los volúmenes de agua y arena son aproximadamente iguales.

Porcentaje en precio por materiales

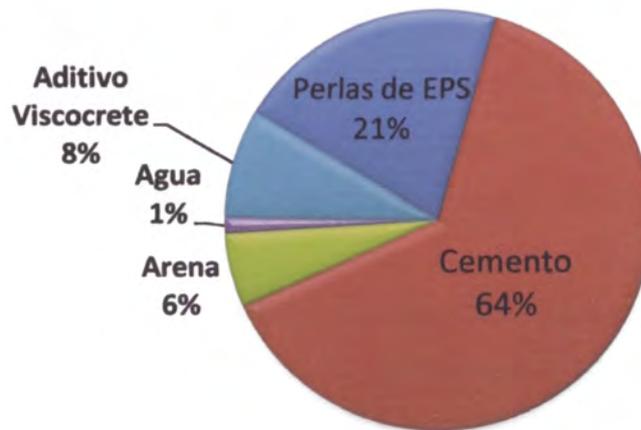


Figura 3.11: Porcentaje en precio por materiales
(Fuente: Elaboración propia)

De la Fig. 3.11 se concluye que el recurso más incidente en el precio por m³ del diseño de mezcla de concreto ligero es el cemento.

También se observa que a pesar de sus altos índices en peso (49%) y en volumen (25%) el costo de la arena es muy bajo (6%) debido a que es solo un material de relleno en la mezcla, siendo incluso menor al costo del aditivo (8%) que es muy alto en comparación con sus índices en peso (0.16%) y en volumen (0.20%).

CAPITULO IV: DISEÑO DE PRIMER PROTOTIPO DE ENCOFRADO DESILIZANTE Y ENSAYO DE VACIADO

El presente estudio busca adaptar el sistema de encofrado deslizante existente aplicado en la actualidad a la construcción de silos, estructuras altas y demás edificaciones, para emplearlo en la construcción de tabiques en edificaciones. Es así que la altura promedio a cubrir sería de 2.40 m de altura por una longitud de 3.5 m.

Según Gallegos (1989), define el encofrado deslizante vertical como “método económico en la construcción para construcción continua, para estructuras altas de concreto armado o para las que se repitan un número considerable de veces, independiente de la altura”, dado que la tabiquería es una de las actividades más incidentes y recurrentes en las edificaciones y además la modulación de las mismas es repetitiva en los casos de edificios con pisos de igual distribución arquitectónico, se justifica el empleo y la adaptación de este método a la ejecución de muros de tabiquería en las edificaciones.

Es así como se empleó el método de elementos finitos (FEM) por medio de computadoras haciendo uso del programa Solid Works para el diseño de las piezas y los elementos del encofrado, con el fin de conseguir un diseño más óptimo, económico y funcional, con el fin de verificar sus factores de seguridad y ver los esfuerzos y deformaciones en el encofrado, logrando un diseño virtual previo a la construcción del prototipo, ahorrando en costos y materiales.

4.1 DISEÑO DEL PRIMER PROTOTIPO

Se realizó el diseño de las piezas para un primer prototipo basado en los siguientes elementos:

- Rieles de elevación
- Elementos de nivelación
- Paneles de encofrado
- Sistema de elevación

Los rieles de elevación fueron tubos cuadrados

Los elementos de nivelación son tubos circulares con un sistema de ajuste de contratuerca.

Las dimensiones de los paneles de encofrado fueron de 14cm x 80cm x 160cm empleándose planchas metálicas de 2 mm de espesor.

El sistema de elevación propuesto planteado para este primer prototipo fue el uso de una gata hidráulica con capacidad elevación de 10000 kg colocada en el eje central del encofrado.

Así mismo para poder apoyar la gata hidráulica en los siguientes tramos de elevación se empleará una barra que se anclará al concreto en estado fraguado.

4.1.1 Análisis de esfuerzos

El empleo del software de computadora ayudará a realizar el análisis de esfuerzos de los elementos diseñados con el fin de hallar el diagrama de esfuerzos, luego hallar los puntos más sometidos a esfuerzos y por ultimo realizar el reforzamiento de dichos puntos.

A continuación en la Fig. 4.1 se muestra el análisis de la barra de refuerzo, los colores más encendidos indican los puntos más críticos del material y los colores fríos sugieren poca fuerza aplicada en dichos puntos.

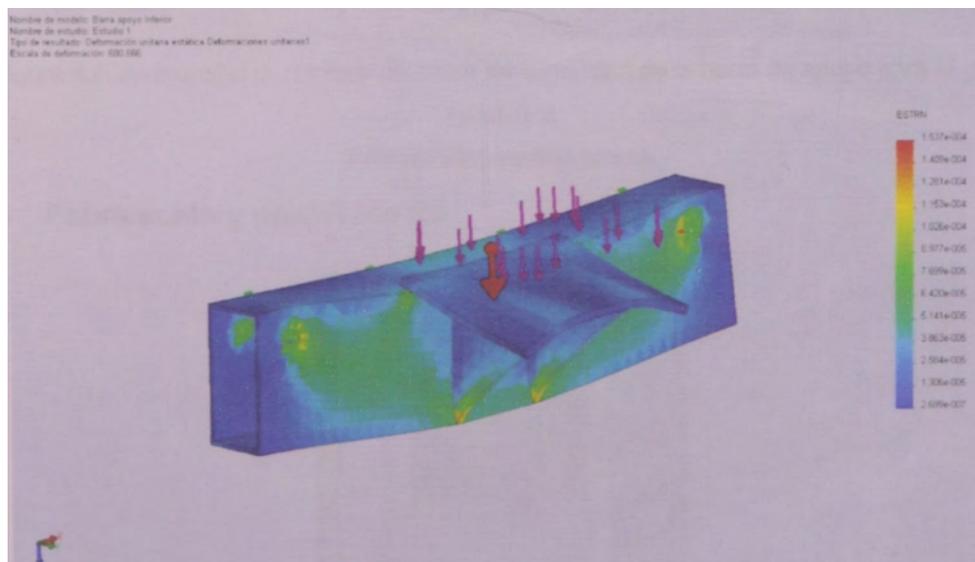


Figura 4.1: Se muestra el análisis de esfuerzos de la barra de apoyo para la gata hidráulica

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2 Análisis de factor de seguridad

Luego de terminar el análisis de esfuerzos se evalúa la seguridad del diseño sobre la base de un criterio de fallos, en base a dicho análisis verificamos que el factor de seguridad sea el necesario para cumplir con los requerimientos del modelo. En la Fig. 4.2 se observa el análisis de factor de seguridad (F.S.), la escala de colores ubicada al lado derecho indica el F.S. de cada zona del elemento en análisis, siendo la zona más débil con F.S. de 10.70 por lo que el elemento es considerado seguro.

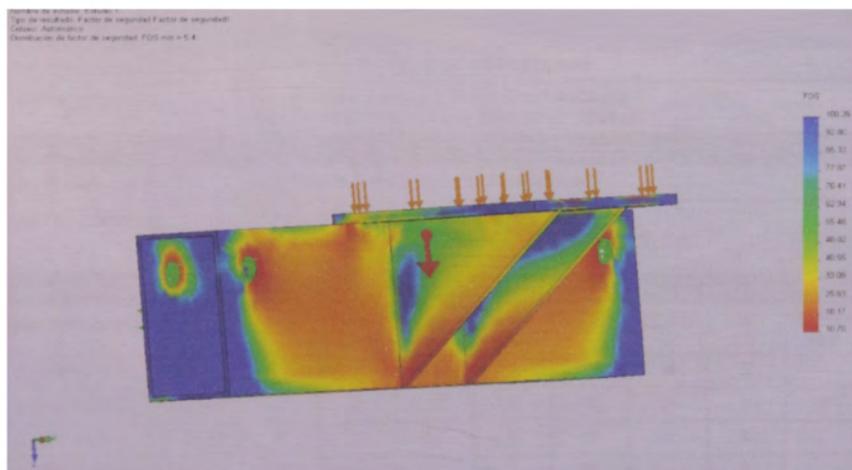


Figura 4.2: se muestra el análisis de factor de seguridad de la barra de apoyo para la gata hidráulica

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3 Fabricación y modelado 3D



Figura 4.3: Vista frontal de impresora 3D Fortus 400 mc

Fuente: Fortus 400 mc, (s.f).

Con el fin de verificar el acabado real de los elementos así como realizar un ensayo del sistema de elevación y fin de corregir defectos producidos durante el ascenso a emplearse en el prototipo antes de su construcción a escala real, se realizó una maqueta del encofrado en escala ¼ empleando la tecnología de la fabricación digital a través de la impresión 3D, la cual se realizó gracias a la colaboración de la Sala VEO de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Cuadro 4.1: Especificaciones técnicas de la impresora 3D FORTUS 400 mc
Fuente: Fortus 400 mc, (s.f).

BASE SYSTEM CONFIGURATION									
Build Envelope (XYZ)	14 x 10 x 10 inches (355 x 254 x 254 mm)								
Material Delivery	One (1) Build material canister 92 in ³ (1508 cc) One (1) Support material canister 92 in ³ (1508 cc)								
UPGRADE CONFIGURATION									
Build Envelope (XYZ)	16 x 14 x 16 inches (406 x 355 x 406 mm)								
Material Delivery	Two (2) Build material canisters 92 in ³ (1508 cc) Two (2) Support material canisters 92 in ³ (1508 cc) Auto changeover between canisters								
MATERIAL OPTIONS									
Layer Thickness:	ABSi	ABS-M30	ABS-M30i	ABS-FSD7	PC-ABS	PC-ISO	PC	ULTEM [®] 9085	PPSF
0.013 inch (0.330 mm)	X	X	X		X	X	X		X
0.010 inch (0.254 mm)	X	X	X	X	X	X	X	X	X
0.007 inch (0.178 mm)	X	X	X	X	X	X	X		
0.005 inch (0.127 mm)	X	X	X		X		X ¹		
Support Structure:	Soluble	Soluble	Soluble	Soluble	Soluble	BASS	BASS, Soluble	BASS	BASS
Available Colors:	<input type="checkbox"/> Translucent Natural <input type="checkbox"/> Translucent Amber <input type="checkbox"/> Translucent Red	<input type="checkbox"/> Ivory <input type="checkbox"/> White <input type="checkbox"/> Black <input type="checkbox"/> Red <input type="checkbox"/> Blue <input type="checkbox"/> Dark Grey	<input type="checkbox"/> Ivory	<input checked="" type="checkbox"/> Black	<input checked="" type="checkbox"/> Black	<input type="checkbox"/> Translucent Natural <input type="checkbox"/> White	<input type="checkbox"/> White	<input checked="" type="checkbox"/> Tan	<input checked="" type="checkbox"/> Tan
OTHER SPECIFICATIONS									
System Size/Weight	50.45 x 35.25 x 77.25 inches (1281 x 895.35 x 1962 mm)					With crate: 1511 lbs. (687 kg) Without crate: 1309 lbs. (593 kg)			
Achievable Accuracy	Parts are produced within an accuracy of +/- .005 inch or +/- .0015 mm per inch whichever is greater (+/- .127 mm or +/- .0015 mm per mm whichever is greater) ¹ Note: Accuracy is geometry dependent. Achievable accuracy specification derived from statistical data at 95% dimensional yield. See Fortus 400mc/360mc accuracy white paper for more information.								
Network Communication	10/100 base T connection. Ethernet protocol.								
Operator Attendance	Limited attendance for job start and stop required								
Operating Environment	Maximum room temperature of 85°F (29.4°C) Maximum room dew point of 78°F (25.6°C)								
Power Requirements	230 VAC, 50/60 Hz, 3 phase, 16A/phase (20 amp dedicated circuit required)								
Regulatory Compliance	CE								
Software	All Fortus systems include Insight™ and Control Center™ job processing and management software								

¹PC can attain 0.005 inch (0.127mm) layer thickness when used with SR-100 soluble support

La máquina empleada para la realización de la impresión del prototipado fue la maquina FORTUS 400mc, la cual se muestra en la Fig. 4.3, la cual utiliza la tecnología FDM descrita anteriormente, que permite producir piezas más duraderas gracias a que los termoplásticos utilizados pueden soportar altas temperaturas y poseen alta resistencia al impacto.

En el cuadro 4.1 se muestra en el cuadro con las especificaciones técnicas de dicha impresora 3D.

En la Fig. 4.4 se muestra uno de los paneles del encofrado a escala luego de ser retirado de la impresora 3D, cabe mencionar que los retazos de plástico que se observan son residuos del proceso de fabricación.

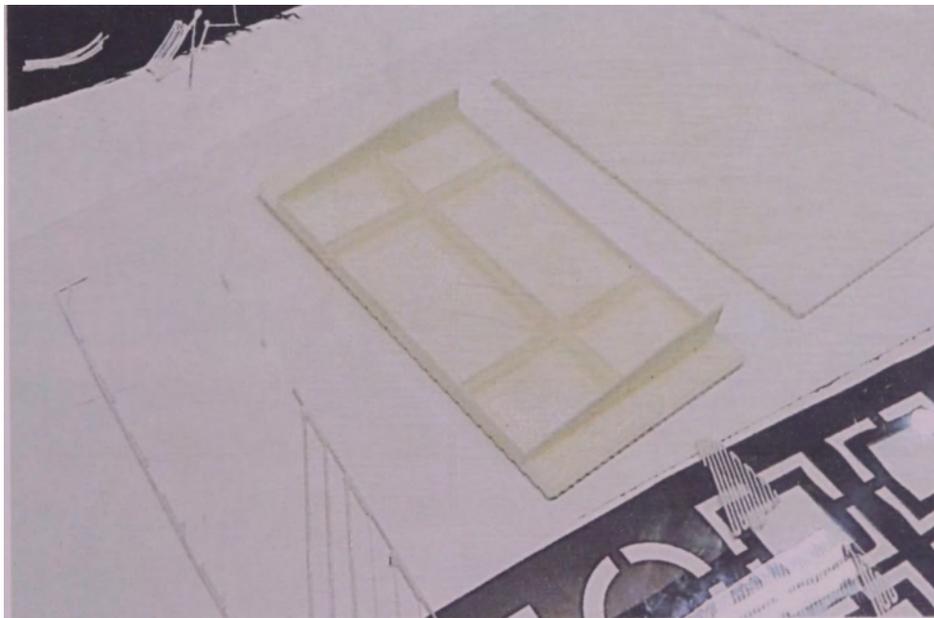


Figura 4.4: Imagen vista del panel a escala del encofrado deslizante

4.1.4 Elaboración de maqueta

Tomando como base el encofrado deslizante elaborado a escala, se elaboró una maqueta del sistema de elevación a emplearse, en la Fig. 4.5 se muestra una imagen del referido modelo.

La elección del sistema de elevación fue uno de los objetivos de la elaboración de la maqueta es así que se planteó el uso de gatas hidráulicas que serán simuladas a través de dos jeringas a modo de sistema de elevación neumático apoyadas sobre la base de la maqueta y adosadas al encofrado situadas a 10 cm de los

extremos del encofrado conectadas por tubos de plástico a otras jeringas que actúan como inyectoras de aire al sistema para producir una fuerza que eleve el sistema mediante la aplicación del principio de pascal: “La presión ejercida sobre un fluido poco compresible y en equilibrio dentro de un recipiente de paredes indeformables se transmite con igual intensidad en todas las direcciones y en todos los puntos del fluido”, la maqueta terminada se muestra en la Fig. 4.5.

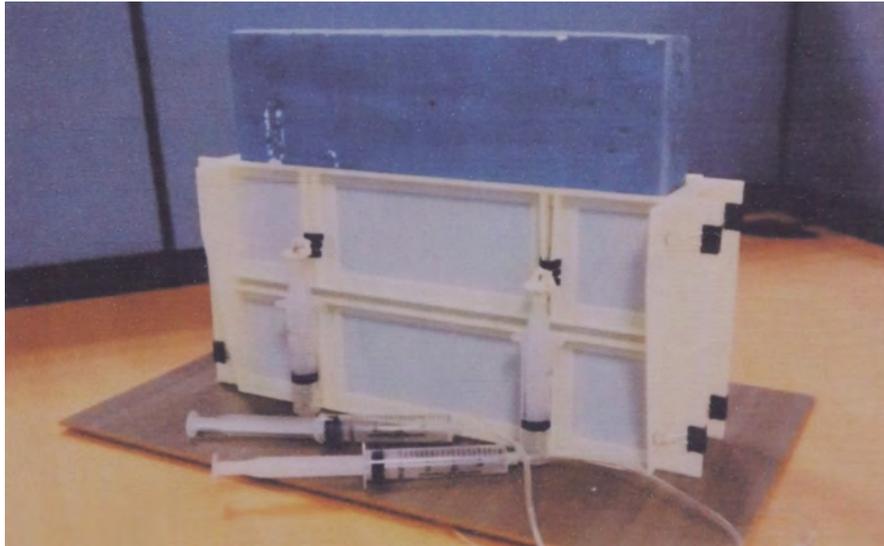


Figura 4.5: Maqueta en escala $\frac{1}{4}$ del prototipo de encofrado deslizante fabricado por medio de la impresión 3D

4.1.4.1 Ensayo de elevación en maqueta

La realización del ensayo de elevación conlleva a la identificación de los siguientes problemas en el sistema propuesto:

Defectos en desplazamientos

Durante el ascenso del encofrado a escala como se muestra en la Fig. 4.6 se produjeron desplazamientos bruscos en ciertos tramos debido a la ausencia de un lubricante o desmoldante ya que el encofrado ascendía sin realizarse ningún desajuste en las planchas del mismo, por lo que se planteó una excelente lubricación del encofrado en escala real, así como también realizar un ligero desajuste en los pernos que unirán ambas planchas durante el proceso de ascenso del encofrado deslizante.

Defectos en aplome

Debido a que el sistema de elevación de cada jeringa era independiente y por ende los desplazamientos de los émbolos eran diferentes se produjeron desniveles durante el ascenso por lo que se planteó para el encofrado en escala real colocar un único gato hidráulico ubicado en el eje central del encofrado.

Fuerzas del encofrado sobre el concreto

El sistema de elevación se encontraba a un solo lado del encofrado, el cual se apoyaba íntegramente en el bloque de concreto fraguado durante el ascenso, produciendo un momento de volteo sobre la base del modelo, por lo que se verificó la importancia del uso de los rieles para asegurar la ascensión limpia y aplomada del encofrado durante el proceso de vaciado, esto sumado a la ausencia de un lubricante o desmoldante en las caras internas del encofrado produjo desgarros durante el ascenso sobre la superficie del bloque que simulaba el concreto ligero vaciado en la maqueta.

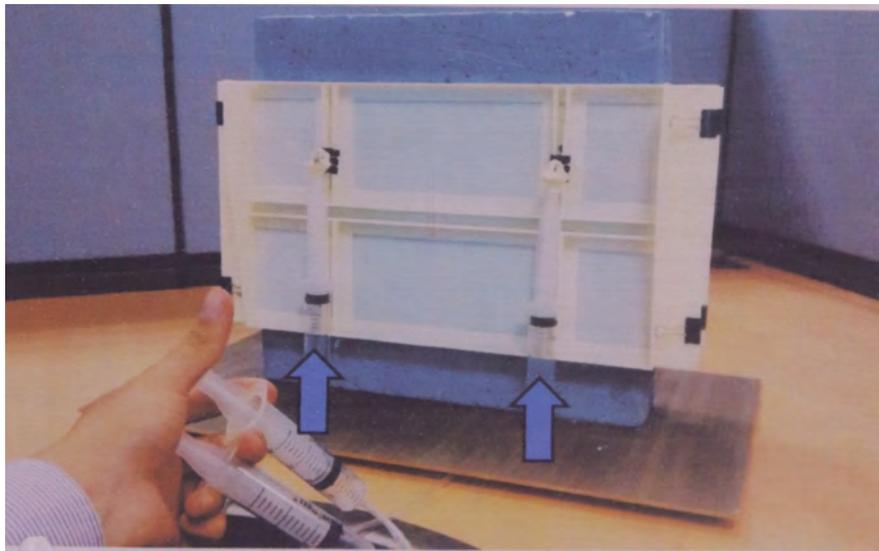


Figura 4.6: Elevación del encofrado deslizante por medio de un sistema neumático con jeringas comunes

Del diagrama de la Fig 4.7 se observa las fuerzas producidas por el encofrado sobre el bloque: fuerza normal (N), fuerza de rozamiento (fr) μ_k (coeficiente de rozamiento cinético).

Luego de la ecuación (1) se observa que la magnitud de la fuerza normal (N) y del coeficiente de rozamiento dinámico (μ_k) se puede aminorar empleando rieles

de apoyo para el encofrado y un material lubricante para las caras internas de los paneles del encofrado.

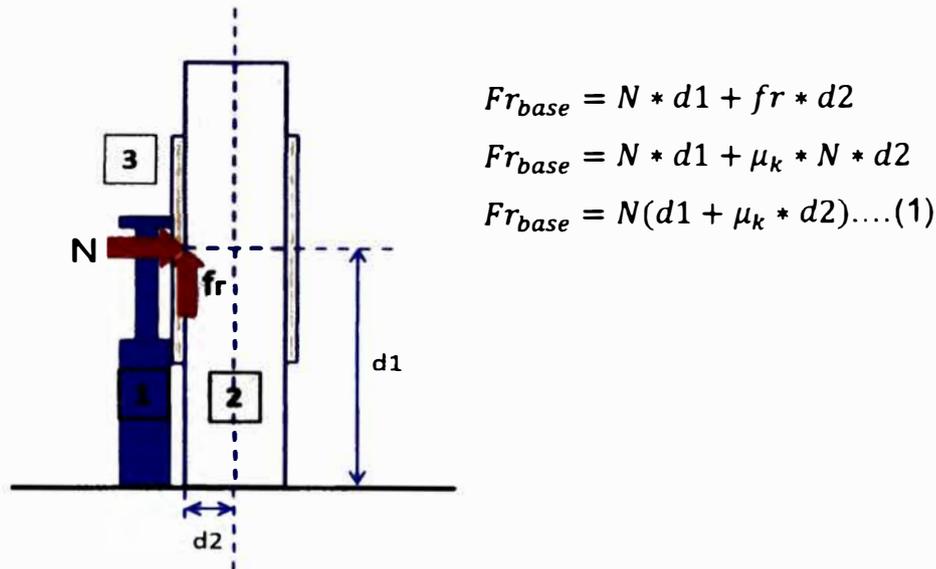


Figura 4.7: Vista en perfil de la maqueta indicando el momento producido en la base durante el proceso de elevación del encofrado. 1: Jeringa, 2: Bloque de concreto, 3: Paneles de encofrado

4.1.5 Construcción del encofrado deslizante

En base al modelo en maqueta construido se realizó la construcción del encofrado en escala $\frac{1}{2}$ para los ensayos iniciales de elevación en el laboratorio. El modelo construido final se observa en la Fig. 4.8, fotografía tomada en el taller metal mecánico.

Especificaciones técnicas

Rieles de elevación y base de apoyo

Dimensiones del riel:	130 mm (largo) x 50mm (sección cuadrada)
Espesor:	e=2 mm
Materia .	Tubo LAC ASTM 500
Designación nominal:	Tubo cuadrado de 50 mm
Resistencia a la tracción min:	310 MPa
Límite de fluencia min:	270 MPa

Paneles de encofrado

Material:	Planchas metálicas
Espesor:	e=2 mm

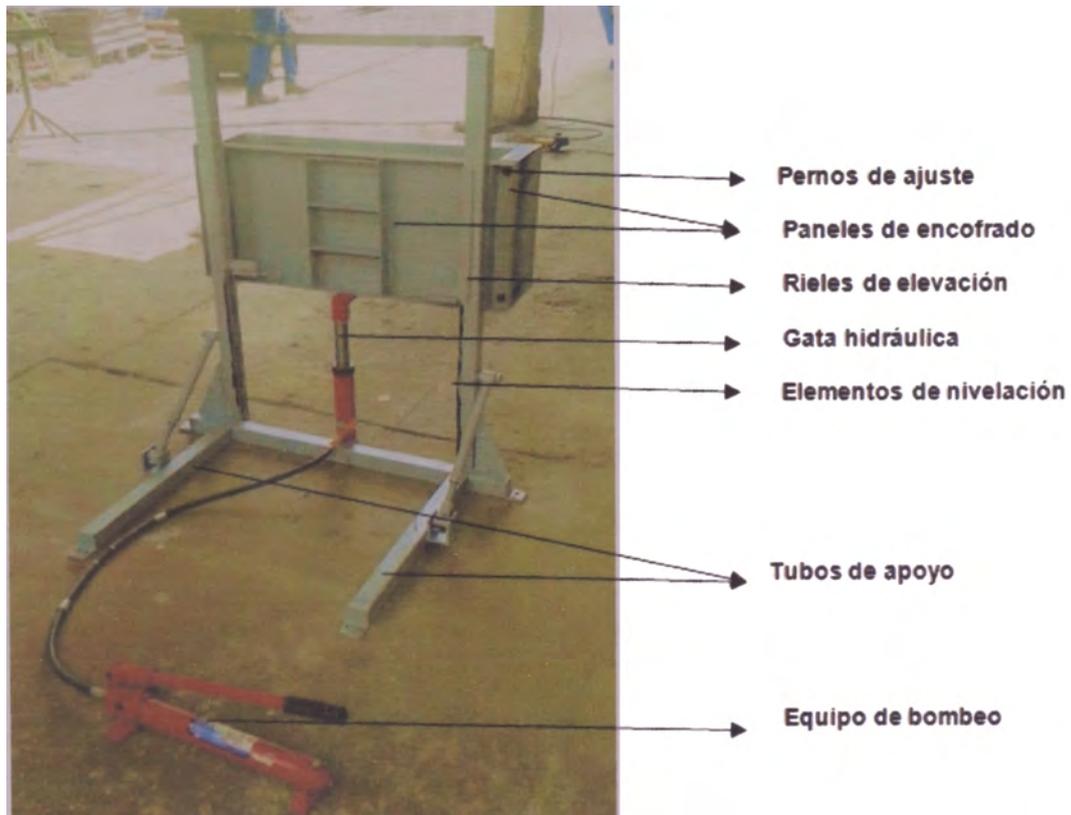


Figura 4.8: Vista del primer prototipo de encofrado deslizante para tabiquería, escala 1/2 en el taller metal- mecánico

Límite de fluencia mínimo:	2550 Kg/cm ²
Resistencia a la tracción:	4080-5610 Kg/cm ²
Doblado:	180 grados sexagesimales

Sistema de elevación

Gata hidráulica:

Marca:	Porto Power
Capacidad:	10 T.
Altura máxima de levante:	135 mm
Altura mínima de cilindro:	390 mm
Presión de trabajo:	62 MPa
Aceite para llenar:	500 cm ³

4.2 ENSAYO DE VACIADO CON EL ENCOFRADO DESLIZANTE

4.2.1 Características del ensayo de elevación

Luego de obtener un diseño de mezcla satisfactorio con las características necesarias el siguiente paso fue realizar un ensayo de vaciado y desencofrado por medio del sistema deslizante.

En el cuadro se detallan las características del ensayo, el cual se llevó a cabo en las instalaciones del Laboratorio de ensayos de Materiales: “Manuel Gonzales de la Cotera” de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería.

En el cuadro 4.2 se aprecian las características de este ensayo

Cuadro 4.2: Características del primer ensayo de vaciado y desencofrado usando el sistema deslizante

(Fuente: Elaboración propia)

CARACTERÍSTICAS	
Fecha:	23/07/2015
Temperatura ambiental:	19°C
Humedad relativa: 86 %	86%
Volumen de vaciado: 0.4 x 0.07 x 0.8	0.0224 m ³
Slump:	1.5 pulg
Traslape entre vaciados	10 cm
Varilla de refuerzo de ¼ pulg	¼ pulg
Inicio de vaciado:	02:40 pm.
Fin de vaciado:	02:50 pm
Tiempo de espera	1 H 30 m
Inicio de elevación del encofrado:	04:20 pm.
Fin de elevación del encofrado:	04:25 pm.

Con el fin de reforzar la estructura de tabiquería a construir se realizará el armado de una malla interna con varillas de ¼ separados cada 25 cm.

4.2.2 Proceso de realización

4.2.2.1 Instalación del encofrado

Se realizó el traslado del equipo de ensayo a las instalaciones del laboratorio, luego se procedió a la instalación en el lugar elegido para el ensayo en el área de las pozas de curado del laboratorio, se instaló el equipo en el área elegida y se procedió a aplomar los elementos del encofrado, ayudándose de un nivel imantado como se visualiza en la Fig. 4.9.



Figura 4.9: Nivelación y aplome del encofrado

Se coloca el desmoldante con ayuda de una varilla con una tela en la punta, en las paredes internas del encofrado con el fin de evitar que estas se peguen al mismo durante el deslizamiento, a la vez también se aplica lubricante en las rieles de deslizamiento del encofrado para evitar movimientos bruscos o trabas en el mismo durante el proceso de elevación.

4.2.2.2 Armado de la malla de acero

A continuación se arma la malla de acero interna del muro empleando para ello varillas de $\frac{1}{4}$ " espaciadas cada 20 cm, esto se observa en la Fig. 4.10.

4.2.2.3 Elaboración del concreto

Se realiza la mezcla del concreto según el diseño planteado y siguiendo el proceso descrito anteriormente, se verifica el slump de diseño y luego se vacía al Buggy para su traslado al punto de vaciado.



Figura 4.10: Vista de la malla de acero de refuerzo de 1/4"

4.2.2.4 Vaciado

Como se aprecia en la Fig. 4.11 se realizó el vaciado en el encofrado mediante tres capas de 13 cm aprox. cada una, luego del vaciado de cada capa se realiza el varillado a la vez que se golpea el encofrado con un martillo de goma con el fin de evitar cangrejas y mejorar el acomodo de la mezcla en el encofrado.



Figura 4.11: Concreto vaciado en el encofrado

Se deja un 1 cm libre de encofrado luego del vaciado de la última capa, ya que de llenarse hasta el borde este se romperá al momento de la elevación del mismo. A partir de la hora final de vaciado se espera una hora y media (1:30 horas) para realizar el proceso de elevación del encofrado.

4.2.2.5 Elevación del encofrado



Figura 4.12: Elevación del encofrado deslizante

Una vez pasado el tiempo estimado para que la mezcla alcance la consistencia suficiente para conservar su forma y soportar el peso del siguiente vaciado se procedió a realizar el proceso de elevación como se aprecia en la Fig. 4.12, para lo cual se colocó la gata hidráulica en el punto de apoyo y se dio inicio al mismo realizando movimientos cortos y suaves, lográndose la elevación y se probó que para el diseño de concreto ligero utilizado no se produce adherencia con el encofrado durante el ascenso, vale mencionar que las varillas de refuerzo ayudan a mantener el concreto en la posición de vaciado.

La velocidad de ascensión del encofrado fue de 10cm/min durando en total unos 3 minutos, ascendiendo en total unos 30 cm dejando un traslape de 10 cm

Cabe mencionar que se registraron ciertos problemas durante el ascenso:

La elevación del encofrado no fue totalmente nivelada, produciéndose ligeros desniveles durante el deslizamiento.

El área del muro que no poseía refuerzo interno se adhirió al encofrado durante el inicio de la elevación del mismo, desprendiéndose posteriormente, a pesar de dicho inconveniente se observó que la junta producida fue desapareciendo de la

superficie del muro conforme el encofrado seguía levantándose, esto nos da una idea de la naturaleza del concreto ligero respecto a su consistencia en estado fresco.

Se generó una fisura en el muro durante la elevación del encofrado debido a un movimiento brusco en ascenso producto de una falla mecánica en la gata hidráulica.

CAPITULO V: DISEÑO DE SEGUNDO PROTOTIPO DE ENCOFRADO DESLIZANTE Y ENSAYO DE VACIADO DE MURO

5.1 MODELAMIENTO DEL SEGUNDO PROTOTIPO

En la Fig 5.1 se muestra el modelamiento en Solidworks del segundo prototipo, en el que se realizaron modificaciones al mismo en base a las observaciones encontradas en el ensayo de elevación en el primer modelo.

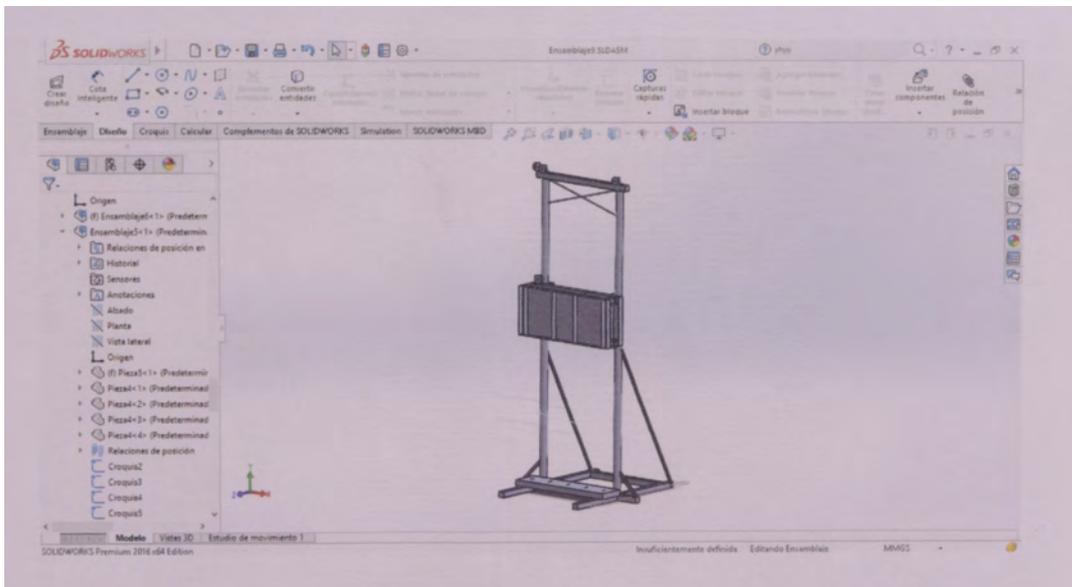


Figura 5.1: Modelamiento del segundo prototipo de encofrado deslizante
Fuente: Elaboración Propia

5.1.1 ANALISIS POR ELEMENTOS FINITOS

5.1.1.1 ANALISIS DEL ENCOFRADO

Mallado

Procedemos al mallado del encofrado por el método de elementos finitos mediante el uso de SolidWorks Simulation, teniendo como resultado el modelo que se muestra en la Fig. 5.2.

Nombre del modelo Ensayo Caja
Nombre de estudio de Estudio 11-Pradeterminado-
Tipo de malla Malla sólida

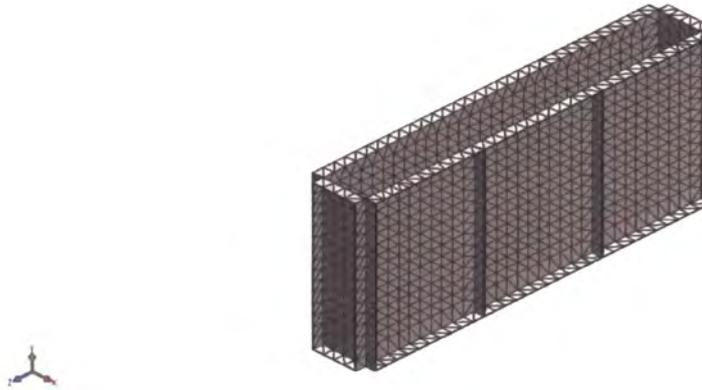


Figura 5.2: Ensayo enmallado del encofrado por el método de elementos finitos.
Fuente: Elaboración Propia

Como resultado del mallado el software también se muestra el cuadro 5.1 con las características de la malla generada.

Cuadro 5.1: Información de malla generada
(Fuente: Elaboración propia)

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	26.5814 mm
Tolerancia	1.32907 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Número total de nodos	27744
Número total de elementos	15911
Cociente máximo de aspecto	114.63
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	0.214
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	93
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:18

Estudio de desplazamientos

En la Fig 5.3 se muestran los desplazamientos resultados de las fuerzas aplicadas en el encofrado por los cables de las poleas y la presión del concreto en el

encofrado, los colores indican los sectores con mayor desplazamiento en rojo y menor desplazamiento en azul, los resultados obtenidos muestran que para el material ensayado, la mayor deformación es de 0.28 mm la cual para los fines requeridos se considera despreciable.

Estudio de factor de seguridad

En la Fig. 5.4 se muestran los resultados del estudio del factor de seguridad realizado al encofrado, los colores indican el grado de factor de seguridad, el más alto en violeta (5) y el más bajo en rojo (3), considerándose siempre el valor más bajo como el factor de seguridad total del elemento.

Nombre del modelo: Ensayo Cajón
Nombre de estudio: estudio 1 (Prácticamente terminado)
Tipo de resultado: Desplazamiento estudio Desplazamientos1
Escala de deformación: 3.0E+23

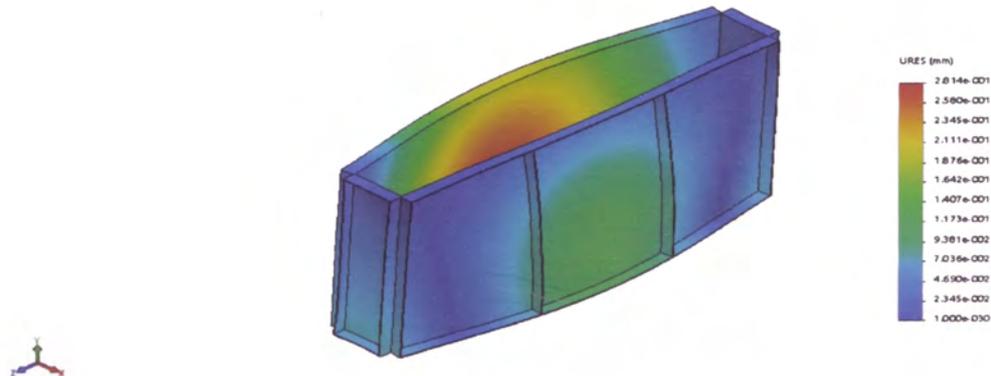


Figura 5.3: Ensayo Cajón-Estudio 1-Desplazamientos-Desplazamientos1
Fuente: Elaboración Propia

Nombre del modelo: Ensayo Cajón
Nombre de estudio: estudio 1 (Prácticamente terminado)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Automático
Distribución de Factor de seguridad: FOS mín = 3



Figura 5.4: Ensayo Cajón-Estudio 1-Factor de seguridad
Fuente: Elaboración Propia

5.1.1.2 ANALISIS DEL SOPORTE

Estudio de desplazamientos

En la Fig. 5.5 se muestran los desplazamientos resultados de las fuerzas aplicadas en el soporte del encofrado por el peso del mismo, como se indicó antes los colores indican los sectores con mayor desplazamiento en rojo y menor desplazamiento en azul, los resultados obtenidos muestran que para el material ensayado, la mayor deformación se da en la parte alta del mismo la cual es de 3.0 mm que para los fines requeridos se considera despreciable.

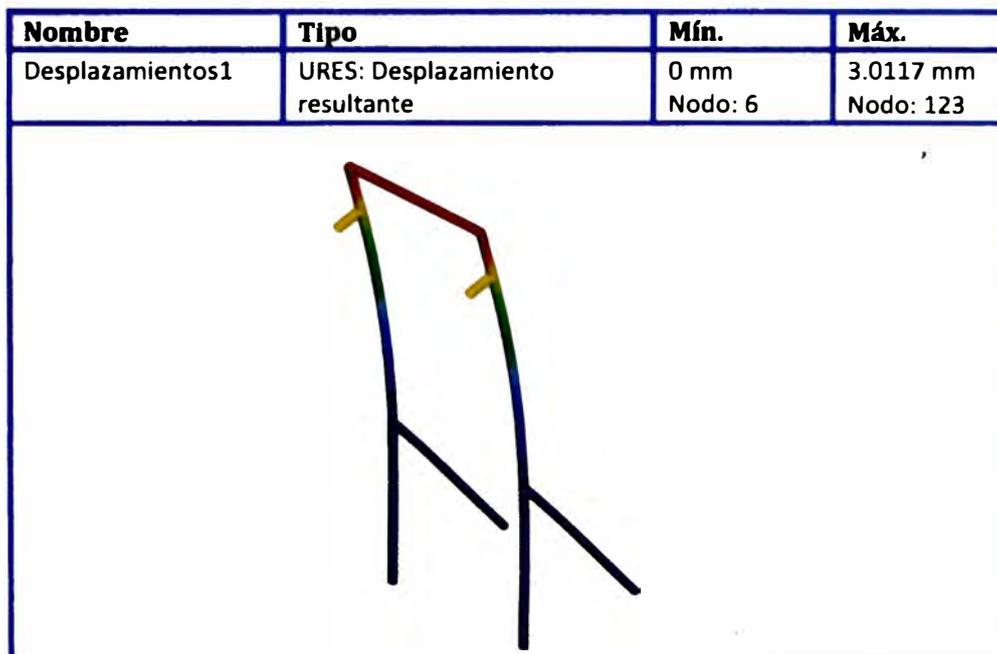


Figura 5.5: Ensayo soporte-Estudio 1-Desplazamientos1
 Fuente: Elaboración Propia

Estudio de factor de seguridad

En la Fig.5.6 se muestran los resultados del estudio del factor de seguridad realizado al soporte, como se indicó anteriormente los colores indican el grado de factor de seguridad, el más alto en violeta y el más bajo en rojo, considerándose siempre el más bajo, luego el factor de seguridad del encofrado es de 6.5.

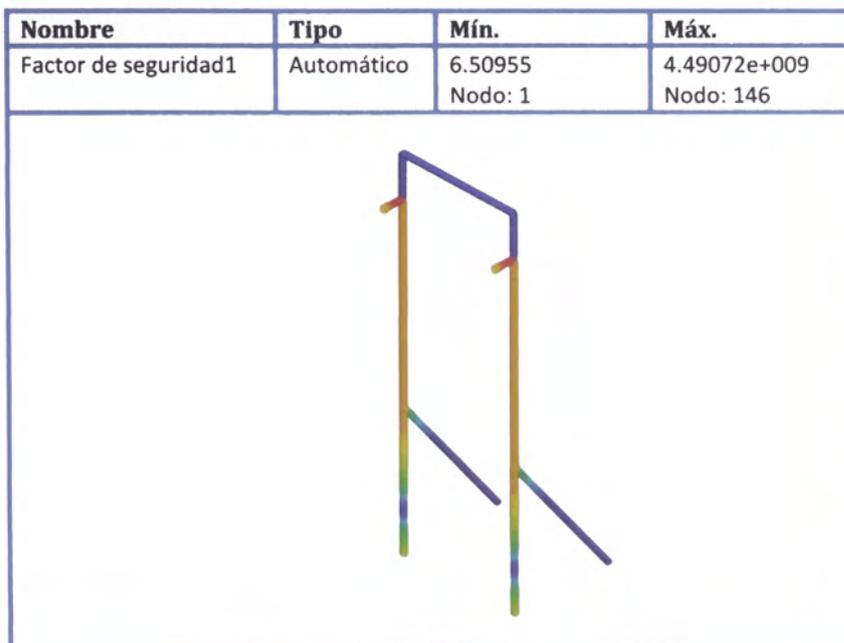


Figura 5.6: Ensayo soporte-Estudio 1-Factor de seguridad
Fuente: Elaboración Propia

5.2 MEJORAMIENTO DEL PROTOTIPO DE ENCOFRADO DESLIZANTE:

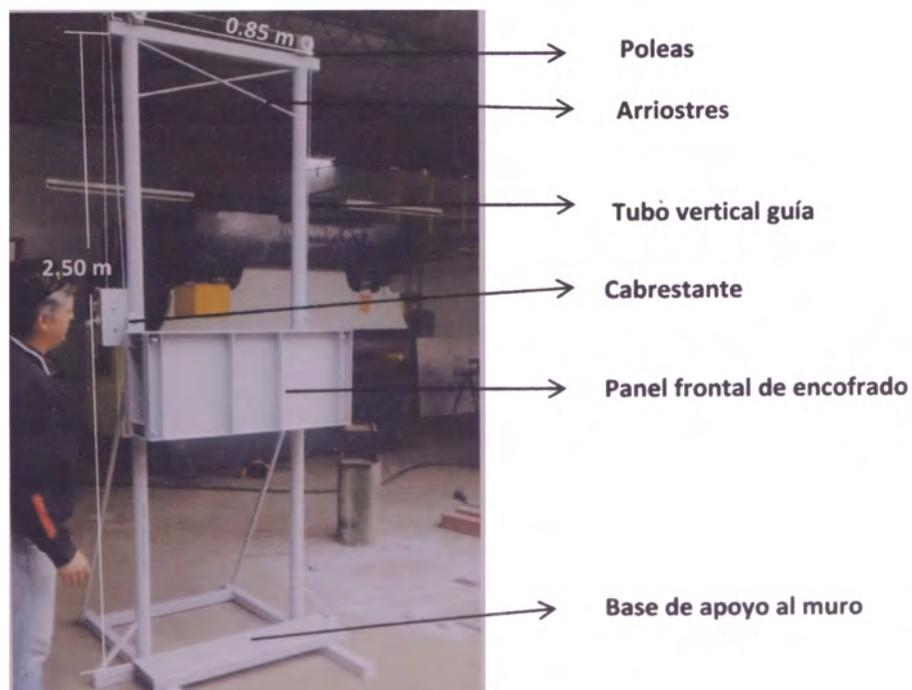


Figura 5.7: Segundo prototipo del encofrado deslizante para tabiquería- Fabricación Depconst SAC

Como se aprecia en la Fig. 5.7 en base a las observaciones realizadas al funcionamiento del primer encofrado construido se corrigieron los siguientes puntos:

5.2.1 Sistema de elevación del encofrado

Se reemplazó la gata hidráulica del anterior modelo por un sistema de poleas comunicantes como se aprecia en la Fig. 5.8 (a) que sostienen al encofrado de ambos extremos superiores distribuyendo la fuerza aplicada con la misma magnitud entre ambos puntos, la fuerza es generada por medio de un cabrestante de mano como se aprecia en la Fig. 5.8 (b) ubicado sobre uno de los tubos verticales que sirven de rieles o guías al encofrado durante su elevación.

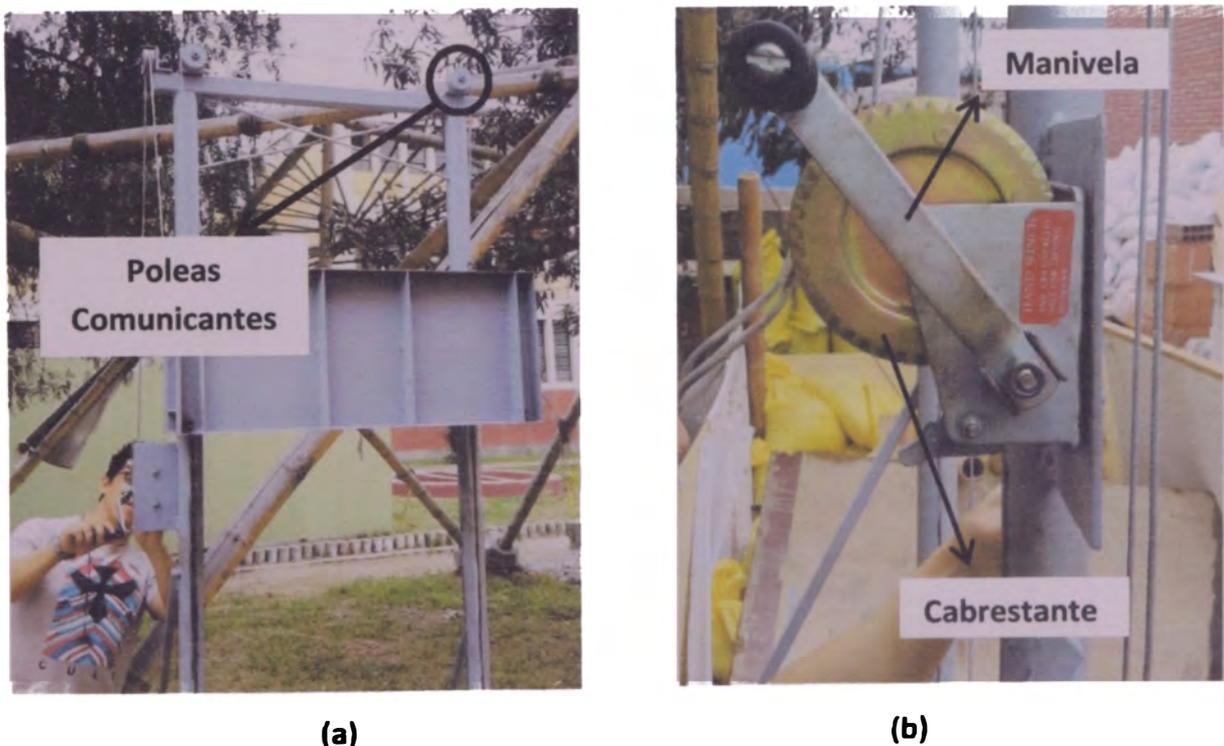


Figura 5.8: Sistema de elevación por medio de poleas comunicantes y un cabrestante de mano

5.2.2 Sistema de unión-encofrado tubo guía

Como se aprecia en la Fig.5.9 se cambió el sistema anterior de tubos guía fabricados con perfiles rectangulares y una abrazadera instalada en el encofrado por un tubo guía hechos con perfiles circulares y un patín de contacto tangente a al mismo, reduciendo así la superficie de contacto y por ende las fuerzas de

fricción entre ellos durante la elevación evitándose también movimientos y deslizamientos bruscos.

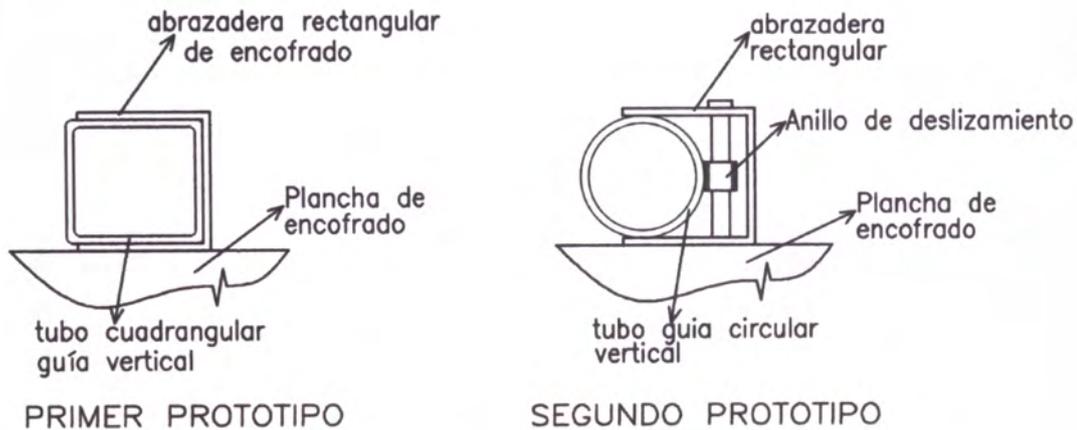


Figura 5.9: Vista en planta del sistema de deslizamiento del primer prototipo y su mejora para el segundo prototipo (Fuente: elaboración Propia)

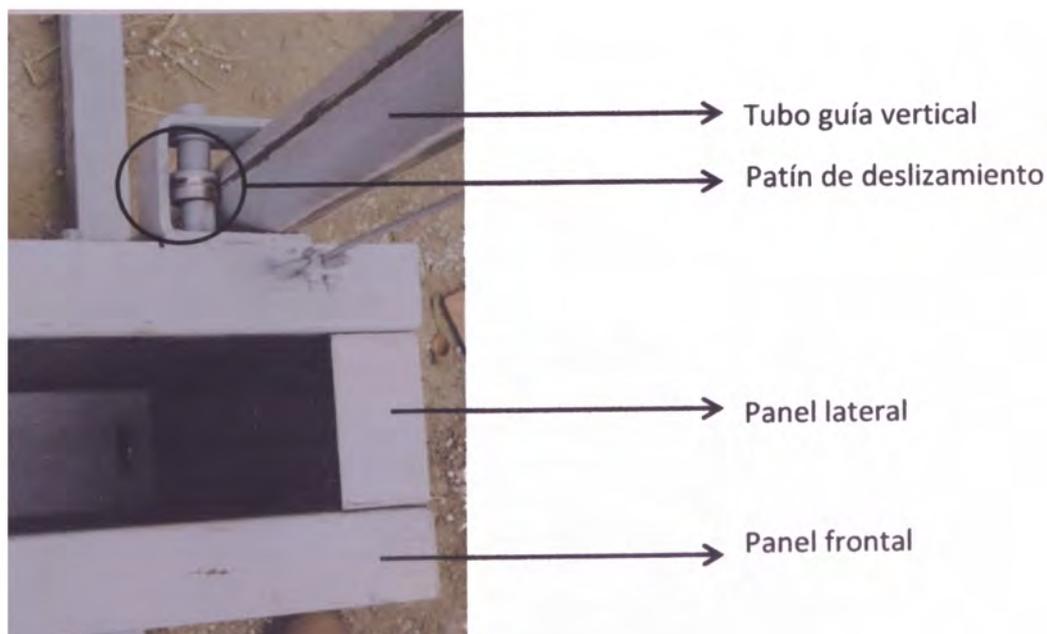


Figura 5.10: Patín de deslizamiento entre el encofrado y el tubo guía verticales

5.2.3 Inclinación de los paneles

Como se mencionó en el ítem 2.5.4 de la parte teórica y con el fin de mejorar el proceso de deslizamiento durante la elevación se dio una inclinación a los paneles del encofrado, dándose una diferencia de 3 mm entre el ancho superior e inferior del encofrado, tal como se observa en la siguiente Fig. 5.11, vale precisar que con

fines explicativos las dimensiones no están escaladas y la inclinación de los paneles esta exagerada.

Cabe precisar que al ser esta inclinación i , de tan solo 3,75 mm por cada m de altura para cada cara del muro, y que por ende, se encuentra distribuida hacia ambos lados del mismo y simétricamente con respecto al eje central del tabique, no tiene mayor impacto en el espesor ni en el aplome del tabique, ya que los defectos ocasionados por esta nimia inclinación de los paneles podrán ser corregidos fácilmente durante el proceso de acabado mediante el tarrajeo respectivo.

Calculo de la inclinación i

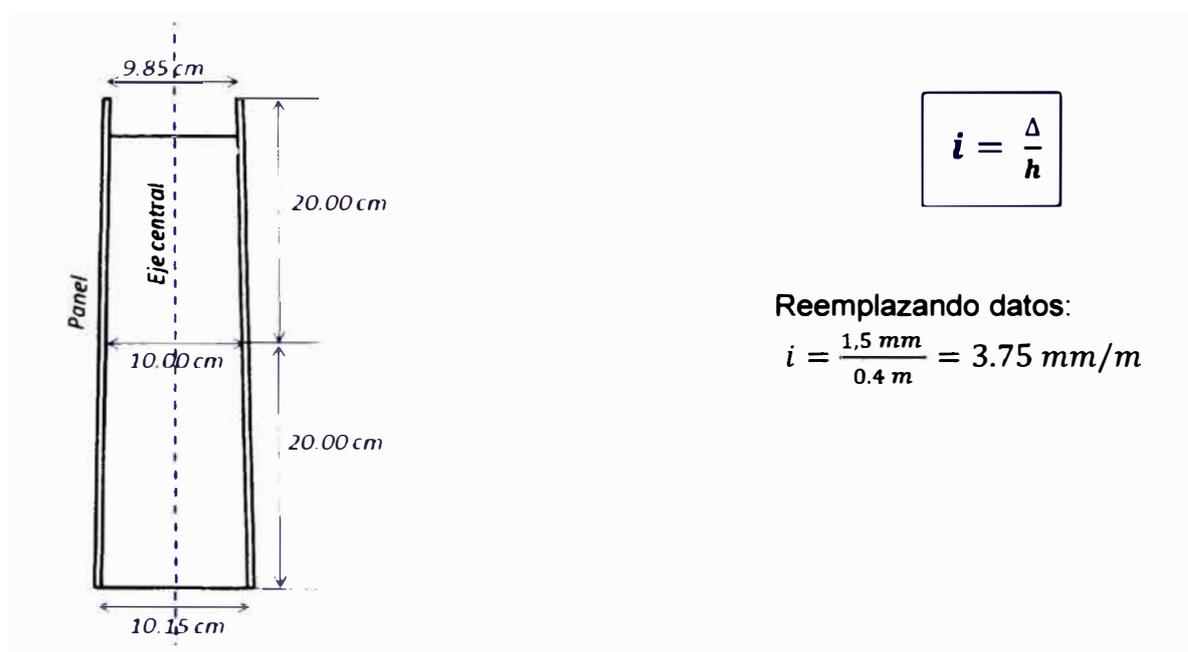


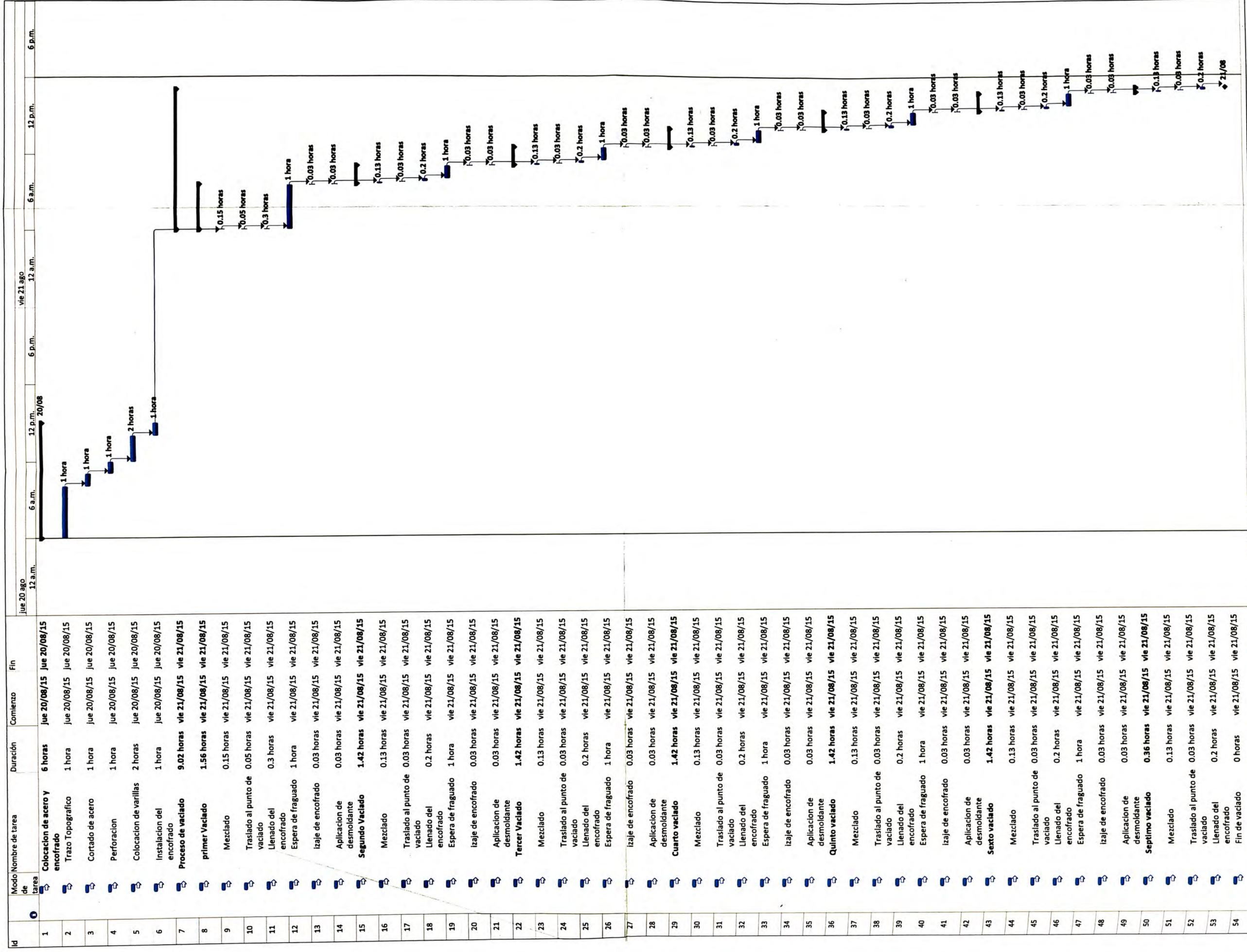
Figura 5.11: Perfil del encofrado deslizante mostrándose la inclinación o "conicidad" de los paneles
(Fuente: Elaboración propia)

5.3 ENSAYO DE VACIADO DEL MURO CON EL ENCOFRADO DESLIZANTE

5.3.1 Cronograma de ejecución del muro

A continuación se muestra en el Cuadro 5.2 el cronograma de ejecución del muro de tabiquería de concreto ligero los trabajos como trazo topográfico e instalación del encofrado se ejecutaran un día antes de realizar el vaciado, el cual está contemplado de ejecutarse en 7 etapas.

Cuadro 5.1: Cronograma de ejecución del muro de tabiquería con concreto ligero
(Fuente: Elaboración propia)



Proyecto: CRONOGRAMA GANTT
 Fecha: lun 21/08/17

Resumen del proyecto
 Resúmenes: Resumen manual, Resumen manual, S6lo el comienzo, S6lo fin
 Hitos: Hitos inactivos, Hitos manuales, Hitos de duración

Informe de resumen manual
 Fecha límite: [Barra]
 Progreso: [Barra]

5.3.2 Parámetros del estudio

La altura y dimensiones del encofrado a utilizarse en el ensayo son determinantes para la velocidad de ejecución del muro, para el presente ensayo tenemos un encofrado con las siguientes características:

En el cuadro 5.3 tenemos las dimensiones para este encofrado.

Cuadro 5.3: Dimensiones para un encofrado determinado

(Fuente: Elaboración propia)

DIMENSIONES DE ENCOFRADO	MEDIDA	UNIDAD
LARGO	0.80	m
ANCHO	0.10	m
ALTURA DEL ENCOFRADO	0.40	m
VOLUMEN	0.032	m ³

Como dato aparte en el cuadro 5.4 tenemos las dimensiones del muro de tabiquería de concreto ligero a construirse:

Cuadro 5.4: Dimensiones del muro a construirse

(Fuente: Elaboración propia)

DIMENSIONES DEL MURO	MEDIDA	UNIDAD
ALTURA DEL MURO	2.20	m
LARGO	0.80	m
ANCHO	0.10	m
VOLUMEN DEL MURO	0.176	m ³

En el cuadro 5.5 se observan las medidas del traslape del encofrado y del tiempo de espera entre vaciados.

Cuadro 5.5: Parámetros principales de estudio

(Fuente: Elaboración propia)

PARAMETROS DE ESTUDIO	MEDIDA	UNIDAD
TRASLAPE	0.1	m
TIEMPO DE ESPERA	01:00	horas

A partir de los parámetros planteados en el cuadro 5.6 se calcula la dimensión de la longitud del muro encofrado en cada vaciado y la velocidad de ascensión del encofrado.

Cuadro 5.6: Parámetros dependientes de estudio

(Fuente: Elaboración propia)

PARAMETROS DE ESTUDIO	MEDIDA	UNIDAD
LONGITUD DE MURO ENCOFRADO	0.3	m
VELOCIDAD DE ASCENCION	0.15	m/min

A continuación en el cuadro 5.7 se muestran los tiempos planteados estimados para el proceso de vaciado, los cuales también dependen de la medida del encofrado a utilizarse en el mismo.

Cuadro 5.7: Tiempos estimados para el proceso de vaciado

(Fuente: Elaboración propia)

TIEMPOS ESTIMADOS PARA EL PROCESO DE VACIADO	MEDIDA	UNIDAD
TIEMPO DE LIMPIEZA Y APLICACIÓN DE DESMOLDANTE	05	min
TIEMPO DE MEZCLADO	05	min
TIEMPO DE LLENADO	15	min
TIEMPO DE ASCENSION	02	min

En el cuadro 5.8 se muestra las características de cada uno de los 7 vaciados proyectados, a partir de los diseños de mezcla ya descritos se usará un slump de 6" para los 6 primeros vaciados y un slump de 8" para el último, debido a que ya no se desencofrará hasta el día siguiente.

Así mismo el cuadro 5.9 muestra el planeamiento del progreso de vaciado donde se indica los tiempos estimados por tarea y se observa la altura proyectada a alcanzarse en cada vaciado así como también el volumen por vaciado y el volumen acumulado de concreto en el muro.

tandas de vaciado
(Fuente: Elaboración propia)

MATERIALES	TANDA 1	TANDA 2	TANDA 3	TANDA 4	TANDA 5	TANDA 6	TANDA 7
PERLAS DE POLIESTIRENO EXPANDIDO (kg)	0.15	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
CEMENTO (kg)	15.14	11.35	11.35	11.35	11.35	11.35	11.35
ARENA (kg)	24.34	18.26	18.26	18.26	18.26	18.26	17.55
AGUA (kg)	8.40	6.30	6.30	6.30	6.30	6.30	6.56
AIRE ATRAPADO (%)	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.00
ADITIVO (kg)	0.08	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
PESO TOTAL DE TANDA (kg)	48.11	36.08	36.08	36.08	36.08	36.08	35.63
VOLUMEN DE TANDA (m3)	0.0352	0.0264	0.0264	0.0264	0.0264	0.0264	0.0264
DENSIDAD CONCRETO FRESCO (kg/m3)	1367	1367	1367	1367	1367	1367	1349
SLUMP ESTIMADO (pulg)	6"	6"	6"	6"	6"	6"	8"

Cuadro 5.9: Planeamiento del progreso de vaciado

(Fuente: Elaboración propia)

	TANDA 1		TANDA 2		TANDA 3		TANDA 4		TANDA 5		TANDA 6		TANDA 7	
DURACIÓN DE TAREA	00 30	01 00	00 25	01 00	00 25	01 00	00 25	01 00	00 25	01 00	00 25	01 00	00 25	01 00
TIEMPO PROYECTADO	0 00 00	0 30 00	1 30 00	1 55 00	2 55 00	3 20 00	4 20 00	4 45 00	5 45 00	6 10 00	7 10 00	7 35 00	8 35 00	9 00 00
TAREA	Mezclado, traslado al punto de vaciado e inicia colocación	Término del llenado	Se levanta el encofrado y se inicia el siguiente llenado	Término del llenado	Se levanta el encofrado y se inicia el siguiente llenado	Término del llenado	Se levanta el encofrado y se inicia el siguiente llenado	Término del llenado	Se levanta el encofrado y se inicia el siguiente llenado	Término del llenado	Se levanta el encofrado y se inicia el siguiente llenado	Término del llenado	Se levanta el encofrado y se inicia el siguiente llenado	Término del llenado
ALTURA DE CONCRETO FRESCO (m)	0 00	0 40	0 00	0 30	0 00	0 30	0 00	0 30	0 00	0 30	0 00	0 30	0 00	0 30
ALTURA DE CONCRETO ENDURECIDO (m)	0 00	0 00	0 40	0 40	0 70	0 70	1 00	1 00	1 30	1 30	1 60	1 60	1 90	1 90
ALTURA DEL MURO (m)	0 00	0 40	0 40	0 70	0 70	1 00	1 00	1 30	1 30	1 60	1 60	1 90	1 90	2 20
VOLUMEN DE VACIADO (m3)		0.032	0	0.024	0	0.024	0	0.024	0	0.024	0	0.024	0	0.024
VOLUMEN ACUMULADO (m3)		0.032	0.032	0.056	0.056	0.08	0.08	0.104	0.104	0.128	0.128	0.152	0.152	0.176

5.3.3 Proceso de construcción del muro

A continuación se detalla el proceso de ejecución del muro de tabiquería, en el presente proceso experimental de vaciado no se ejecutarán los procesos de trazo topográfico y perforación para la colocación de anclajes ya que el mismo se realizará utilizando un equipo de ensayo de laboratorio que posee una base sobre la cual se asentará el muro y unos pasadores para fijar los aceros de la armadura a la base.

5.3.3.1 Instalación del encofrado

Al igual que en el primer ensayo se realizó el traslado del equipo de ensayo a las instalaciones del laboratorio, luego se procedió a la instalación en el lugar elegido para el ensayo en el área de las pozas de curado del laboratorio, se instaló el equipo en el área elegida y se procedió a aplomar los elementos del encofrado, ayudándose de un nivel imantado debido a que en este modelo las piezas se encuentran ensambladas formando un solo cuerpo esta labor fue menos tediosa y más rápida.

5.3.3.2 Armado de la malla de acero

Se realizó la construcción de la malla de refuerzo interno con varillas horizontales y verticales de $\frac{1}{4}$ " espaciadas cada 20 cm como se muestra en la Fig. 5.12 (a) y unidas por alambre de amarre como se aprecia en la Fig. 5.12 (b), dicha malla fue anclada a la base del encofrado por medio de dobleces formando un orificio que era atravesado por una varilla debajo de la base del encofrado con el fin de ser volcado y retirado una vez terminado el ensayo.



(a)

(b)

Figura 5.12: Vista de la malla de acero y detalle de alambre de amarre en la unión de aceros

Fuente: Elaboración propia

5.3.3.3 *Aplicación de desmoldante*

Se realizó la colocación de desmoldante en las paredes internas del encofrado metálico con el fin de mejorar el proceso de deslizamiento del encofrado sobre el concreto en el momento del izado.

5.3.3.4 *Preparación de la mezcla*

Para cada proceso de mezclado se efectuó el procedimiento ya establecido anteriormente, verificándose el slump respectivo luego de la mezcla, y trasladándose luego al lugar de colocación.

5.3.3.5 *Primer vaciado y desencofrado*

Se realizó la colocación del concreto fresco en el encofrado deslizante, en 3 capas de 13 cm cada una como se muestra en la Fig. 5.13 (a), por cada capa se realizó un varillado y un golpeteo con el martillo de goma al encofrado hasta verificar que el

nivel de la capa superior de la mezcla ya no desciende, cabe indicar que se debe tener cuidado de no provocar la segregación o la separación de los componentes de la mezcla (las perlas de EPS ascienden debido a su baja densidad y la arena y el cemento descienden) debido al exceso de compactado o vibrado. Pasado el tiempo de fraguado se procedió al desencofrado como se aprecia en la Fig. 5.13 (b) elevando el encofrado mediante el sistema de poleas.

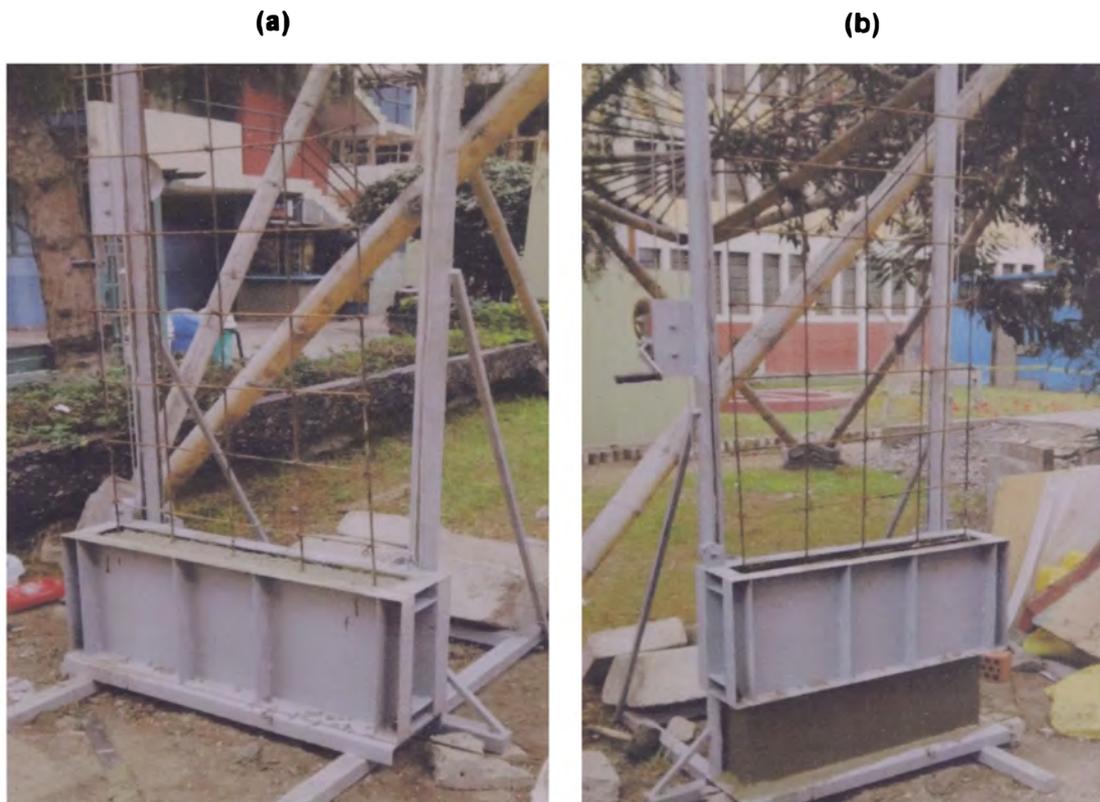


Figura 5.13: Procesos del 1er vaciado y desencofrado

Fuente: Elaboración propia

5.3.3.6 Segundo vaciado y desencofrado

Se realizó la colocación del concreto en el encofrado deslizante, en 3 capas de 10 cm cada, realizándose en cada el proceso el varillado, compactado y golpeteo con martillo de goma, siempre teniendo cuidado con la segregación y la separación de los componentes de la mezcla.

Una vez transcurrido el tiempo de fraguado se realizó el proceso de elevación del molde metálico, verificando constantemente la longitud del concreto desencofrado, cuidando de no excederse de la longitud proyectada de 30 cm, es importante también tener cuidado con que los alambres de amarre de la malla no se queden enganchados al encofrado y eviten o traben el proceso de ascenso, de ocurrir esto

no forzar el izaje, sino detenerlo, corregir el problema y seguir con la elevación, de no ser así podría producirse un levantamiento brusco al liberarse por exceso de presión y ocurrir una vibración en el encofrado que transferirá dicho movimiento al muro, desestabilizándolo y perjudicando el aplome del mismo.

5.3.3.7 Tercer vaciado y desencofrado

Siguiendo el mismo proceso descrito para el segundo vaciado se realizó el llenado de concreto en el encofrado como se muestra en la Fig. 5.14 y posteriormente el desencofrado que se aprecia en la Fig. 5.15.



Figura 5.14: Término de 3er vaciado de muro

Fuente: Elaboración propia

5.3.3.8 Cuarto vaciado y desencofrado

Se procedió con el llenado del muro con la cuarta tanda de llenado de concreto en el encofrado como se muestra en la Fig. 5.16 y seguidamente se realizó el desencofrado como se aprecia en la Fig. 5.17.



Figura 5.15: Desencofrado del 3er vaciado

Fuente: Elaboración propia



Figura 5.16: Procesos de llenado del 4 vaciado en el encofrado

Fuente: Elaboración propia



Figura 5.17: Proceso de desencofrado del 4to vaciado por elevación

Fuente: Elaboración propia

5.3.3.9 Quinto vaciado y desencofrado

Haciendo uso de una escalera y continuando con el proceso se realizó el quinto llenado de concreto en el encofrado como se muestra en la Fig.5.18 y seguidamente se realizó el desencofrado como se aprecia en la Fig. 5.19.



Figura 5.18: Proceso de llenado del 5to vaciado

Fuente: Elaboración propia



Figura 5.19: Proceso de desenformado del 5to vaciado

Fuente: Elaboración propia

5.3.3.10 Sexto vaciado y desenformado

Se realizó el penúltimo llenado del proceso de construcción del muro y luego del tiempo de fraguado se realizó el último desenformado de la jornada dejando listo el muro para el último vaciado.

5.3.3.11 Séptimo y último vaciado y desenformado.

En el caso del séptimo vaciado, por ser el último ya no se realiza el desenformado el mismo día, por lo que se suelta la mezcla con un slump de 8" se vacía y se deja el encofrado colocado hasta el día siguiente, el termino del séptimo vaciado se puede observar en la Fig. 5.20 (a) y el desenformado realizado al día siguiente se observa en la Fig. 5.20 (b)



Figura 5.20: Procesos de vaciado y desencofrado del 7mo vaciado

Fuente: Elaboración propia

Durante el proceso descrito hasta concluir las 2.2 m de altura del muro se tuvieron que solucionar problemas que se dieron a lo largo de toda la jornada, en el cuadro 5.10 se describen dichos problemas, así como las posibles causas y las soluciones planteadas.

5.3.4 Resultados del ensayo

En el cuadro 5.11 se observa la altura alcanzada por cada vaciado a lo largo del proceso así como la altura de concreto endurecido y concreto fresco en el muro en la línea de tiempo, así como el volumen de vaciado y el volumen acumulado de concreto en el muro.

En el cuadro 5.12 podemos observar los tiempos de duración del vaciado, tiempo de espera e inicio y fin de elevación, de dicho cuadro se pueden concluir que:

Los tiempos de vaciado van desde los 5 a los 15 minutos, dependiendo de los siguientes factores:

- Volumen de la tanda de vaciado
- Cantidad y rapidez de la mano de obra
- Altura del encofrado
- Requerimiento de andamios

Los tiempos de espera van desde 1 hora a 1 hora con 20 min. Esta variación se da por el retraso en la llegada al punto de colocación de la mezcla. Los tiempos de elevación van desde 1 min a 1,5 min.

Cuadro 5.10: Problemas ocurridos durante el vaciado y ascenso del encofrado, las posibles causas y las soluciones planteadas

(Fuente: Elaboración propia)

VACIADO	PROBLEMA	POSIBLES CAUSAS	SOLUCION
PRIMER VACIADO	No se registraron problemas durante el vaciado.		
SEGUNDO VACIADO	Con el fin de evitar cangrejas en el concreto se procedió a golpear suavemente el encofrado con el martillo de goma, un número determinado de veces sin embargo esto produjo un asentamiento del volumen de concreto del primer vaciado ubicado inmediatamente debajo del encofrado deslizante.	Asentamiento debido a un excesivo proceso de varillado y golpeado con el martillo de goma.	Para los siguientes vaciados se disminuyó la cantidad de golpes al encofrado realizados con el martillo de goma.
TERCER VACIADO	Luego de realizado el mezclado se procedió a realizar el ensayo del Cono de Abrams, el cual arrojó un asentamiento de 9" el cual no era el slump de diseño, lo que podría causar retrasos en el proceso de desencofrado debido al mayor tiempo requerido de fraguado y por ende retardar el término de la construcción del muro.	Ocurrencia de errores en el pesado de los materiales de la mezcla así como también fallas en la medición de volumen de aditivo y de agua.	Se procedió a rechazar dicha mezcla, y a verificar el agua de diseño agregada a la mezcla, así como también los volúmenes y pesos de los materiales que se emplearan para las siguientes tandas de vaciado.
CUARTO VACIADO	No se registraron problemas durante el vaciado.		
QUINTO VACIADO	Durante el proceso de elevación del encofrado se registró una vibración brusca debido a que este se soltó luego de haberse trabado con el alambre de amarre de la malla interna de refuerzo.	Fallas en la inspección de posibles elementos que podrían obstruir el ascenso del encofrado	Para los siguientes vaciados se verifico que no haya ningún elemento del muro con el que pueda trabarse el encofrado durante el proceso de ascenso.
SEXTO VACIADO	Luego de realizado el desencofrado, se notan imperfecciones en la superficie del concreto ligero como burbujas de aire atrapado, que van aumentando progresivamente para cada vaciado realizado	Posibles restos de mezcla arrastrados por el encofrado durante la elevación, falta de desmoldante en el encofrado	Se procedió a aplicar una nueva capa de desmoldante al encofrado.
SEPTIMO VACIADO	Problemas al momento de colocar la mezcla debido a la consistencia alcanzada por el tiempo de espera requerido para la aplicación del desmoldante en el encofrado luego del proceso de deslizamiento.	Perdida del nivel de asentamiento en la mezcla debido al inicio de la reacción hidráulica del cemento.	Realizar el proceso de mezclado considerando los tiempos requeridos para la aplicación del desmoldante.

Cuadro 5.11: Detalle del progreso de vaciado del muro

(Fuente: Elaboración propia)

HORA	08:20:00 a.m.	08:35:00 a.m.	09:55:00 a.m.	10:10:00 a.m.	11:10:00 a.m.	11:25:00 a.m.	12:35:00 p.m.	12:50:00 p.m.	02:20:00 p.m.	02:45:00 p.m.	03:55:00 p.m.	04:25:00 p.m.	05:35:00 p.m.	05:55:00 p.m.
DURACION DE TAREA	00 15	01 20	00 15	01 00	00 15	01 10	00 15	01 30	00 25	01 10	00 30	01 10	00 20	01 10
TIEMPO	0 00 00	0 15 00	1 35 00	1 50 00	2 50 00	3 05 00	4 15 00	4 30 00	6 00 00	6 25 00	7 35 00	8 05 00	9 15 00	9 35 00
TAREA	mezclado, traslado al punto de vaciado e inicia colocación	término del llenado y espera para elevación	se levanta el encofrado y se inicia el siguiente llenado	término del llenado y espera para elevación	se levanta el encofrado y se inicia el siguiente llenado	término del llenado y espera para elevación	se levanta el encofrado y se inicia el siguiente llenado	término del llenado y espera para elevación	se levanta el encofrado y se inicia el siguiente llenado	término del llenado y espera para elevación	se levanta el encofrado y se inicia el siguiente llenado	término del llenado y espera para elevación	se levanta el encofrado y se inicia el siguiente llenado	término del llenado y espera para elevación
ALTURA DE CONCRETO FRESCO (m)	0 00	0 40	0 00	0 30	0 00	0 30	0 00	0 30	0 00	0 30	0 00	0 30	0 00	0 30
ALTURA DE CONCRETO ENDURECIDO(m)	0 00	0 00	0 40	0 40	0 70	0 70	1 00	1 00	1 30	1 30	1 60	1 60	1 90	1 90
ALTURA DEL	0.00	0.40	0.40	0.70	0.70	1.00	1.00	1.30	1.30	1.60	1.60	1.90	1.90	2.20

Cuadro 5.12: Cuadro de tiempos de las actividades de vaciado

(Fuente: Elaboración propia)

PROCESO	1er vaciado y 1era elevación	2do vaciado y 2da elevación	3er vaciado y 3ra elevación	4to vaciado y 4ta elevación	5to vaciado y 5ta elevación	6to vaciado y 6ta elevación	7mo vaciado
INICIO DE VACIADO	08:20:00 a.m.	10:00:00 a.m.	11:20:00 a.m.	12:45:00 p.m.	02:35:00 p.m.	04:15:00 p.m.	05:40:00 p.m.
TIEMPO DE VACIADO	00:15:00	00:10:00	00:10:00	00:05:00	00:10:00	00:10:00	00:15:00
FIN DE VACIADO	08:35:00 a.m.	10:10:00 a.m.	11:30:00 a.m.	12:50:00 p.m.	02:45:00 p.m.	04:25:00 p.m.	05:55:00 p.m.
TIEMPO DE ESPERA (H)	01:20	01:00	01:10	01:30	01:10	01:10	
INICIO DE ELEVACION	09:55:00 a.m.	11:10:00 a.m.	12:40:00 p.m.	02:20:00 p.m.	03:55:00 p.m.	05:35:00 p.m.	
TIEMPO DE ELEVACION	00:02	00:01:30	00:01:00	00:01	00:01:30	00:01:00	
FIN DE ELEVACION	09:57:00 a.m.	11:11:30 a.m.	12:41:00 p.m.	02:21:00 p.m.	03:56:30 p.m.	05:36:00 p.m.	

5.4 ANÁLISIS DEL PROCESO DE VACIADO Y ENCOFRADO POR MEDIO DEL ESTUDIO DE TRABAJO

Con el fin de optimizar el proceso realizado para el mezclado y vaciado, se realizó un análisis de las labores mencionadas por medio de los Métodos del Estudio del Trabajo

En la Fig.5.21 se muestra una representación en planta del Laboratorio de Ensayo de Materiales, mostrándose el Diagrama de Recorrido del ensayo realizado que comprende el proceso de mezclado, desde el acarreo de materiales hasta el vaciado al buggy y el proceso de vaciado que comprende desde el traslado al punto de colocación hasta la elevación del encofrado, cabe indicar que dicho diagrama se elaboró considerando un solo frente de trabajo.

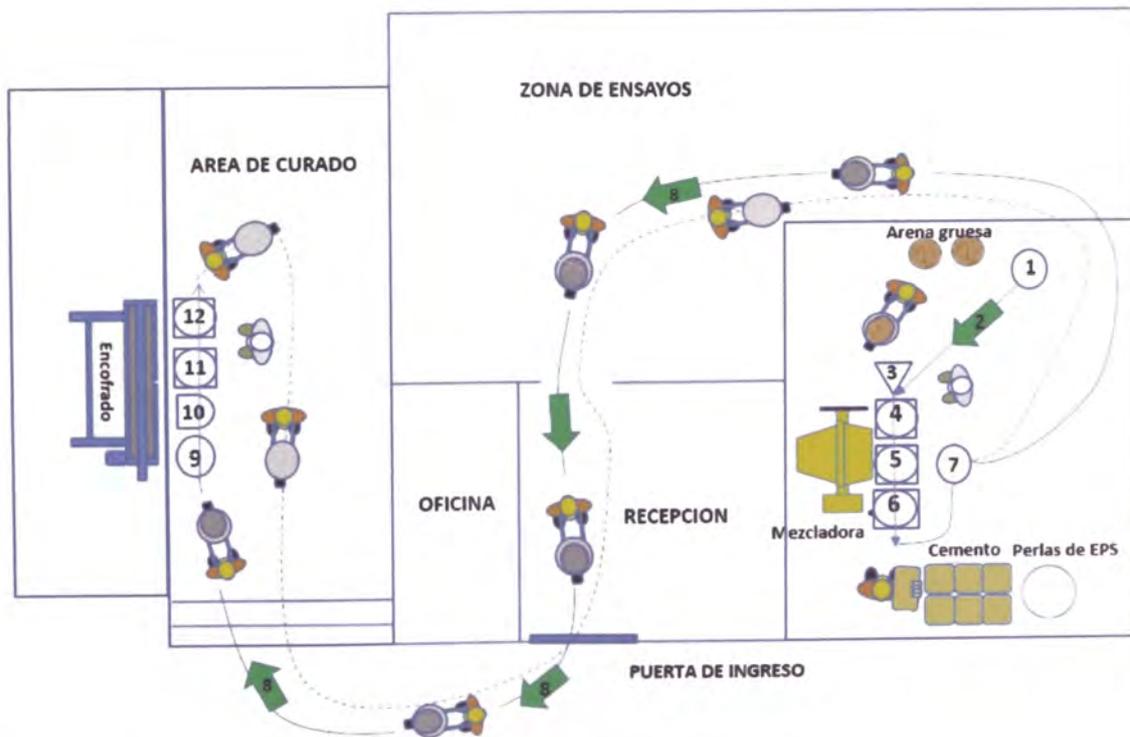


Figura 5.21: Diagrama de recorrido del proceso de mezclado y vaciado de concreto ligero
 (Fuente: Elaboración propia)

Se observan en total 12 operaciones a realizarse, las cuales son descritas a continuación en el diagrama de procesos descrito en el cuadro 5.13.

Cuadro 5.13: Diagrama de procesos de mezclado y vaciado de concreto ligero
(Fuente Elaboración propia)



A partir del diagrama de procesos realizado se hizo un estudio de los tiempos y distancias recorridas en cada actividad con dichos datos se ha realizado el cuadro 5.14.

Cuadro 5.14: Cursograma Analítico procesos de mezclado y vaciado de concreto ligero

Fuente: Elaboración propia

DESCRIPCION	DISTANCIA (m)	TIEMPO ESTIMADO (min)	SIMBOLO					
								
Recojo de arena gruesa		2	●					
Traslado de la arena gruesa con carretilla a la mezcladora	10	1		●				
Recepcion de la arena gruesa		0.5					●	
Vertido de la arena gruesa y agua al trompo y mezclado		2					●	
Vertido del cemento y agua con aditivo al trompo y mezclado		1					●	
Vertido de las perlas de poliestireno expandido y agua con aditivo al trompo y mezclado		2					●	
Vertido de la mezcla al buggie		1	●					
Traslado de la mezcla al punto de vaciado	30	1		●				
Vertido de la mezcla al encofrado deslizable		5	●					
Espera para elevar el encofrado		60					●	
Desencofrado por elevacion del encofrado deslizable		1.5					●	
Aplicación de desmoldante		2					●	
TOTAL:	40	79						

Se desprende del cuadro que el retraso en la espera del inicio del fraguado del concreto en el encofrado deslizable es muy incidente en el tiempo final del proceso es por ello que se plantea tener de 3 a 4 frentes de trabajo con el fin de realizar el vaciado de los otros muros durante este tiempo de espera, estos tiempos fueron medidos para un encofrado de 40 cm de altura, de utilizarse encofrados deslizantes de otras dimensiones estos varían.

CAPITULO VI: ANÁLISIS DE COSTOS Y CUADROS COMPARATIVOS

Se realizó el análisis comparativo para reemplazar los sistemas tradicionales de abiquería usados en edificaciones en Lima, que son los siguientes:

- Ladrillo King Kong de 18 huecos
- Placas sílico calcáreas P7 y P14
- Bloquetas de concreto de 14 cm

De los sistemas acá planteados se analizarán los pesos, los costos totales por m² y las resistencias de las unidades.

6.1 ANALISIS DE COSTOS DEL SISTEMA DE TABIQUERIA DE CONCRETO LIGERO CON ENCOFRADO DESLIZANTE PARA MUROS DE E=14CM

A continuación se muestra el análisis de precios unitarios de las partidas indicadas en el cuadro involucradas en la ejecución de muros de tabiquería con concreto ligero con perlas de poliestireno expandido.

6.1.1 Colocación de anclajes

Como primera labor se tiene la colocación de mechas en el piso para anclar a este la malla de acero de refuerzo, de acuerdo a los ratios de obra para la ejecución de esta labor tenemos un ratio de 25 ml/día para una cuadrilla típica de 1 operario, en el cuadro 6.1 tenemos el análisis.

6.1.2 Habilitado y colocado de acero

Comprende el corte, doblado y colocación de la malla de acero para el muro, para esta se tomó valores típicos de rendimiento de obra de 250 kg de acero por día para una cuadrilla de un operario, un oficial y un ayudante, a continuación en el cuadro 6.2 se muestra el análisis de costos unitarios de la mencionada partida, los precios que se muestran están en base a los costos brindados por el área de costos de COSAPI.

Cuadro 6.1: Análisis de precios unitarios de la partida de colocación de anclajes

(Fuente: Elaboración propia)

COLOCACION DE ANCLAJES					JORNADA:	8.5
RECURSO	INSUMO	UNIDAD		APORTE	PRECIO	PARCIAL
MATERIALES	resina	kg				1.7
	broca	und				0.3
	taladro	h-m				0.7
MANO DE OBRA	velocidad	m/día		25		
	operario	HH		0.34	21.52	7.32
						10.02

6.1.3 Mezclado y vaciado de concreto ligero con poliestireno expandido

Comprende la labor de mezclado, traslado y colocación del concreto en el encofrado, requiriéndose para ello una cuadrilla estimada de 5 personas con un rendimiento de 50 m²/día para un espesor de muro de 14 cm (sin incluir tarrajeo), para el concreto se colocó las proporciones del diseño final del estudio, el análisis se muestra en el cuadro 6.2.

Cuadro 6.2: Análisis de precios unitarios de la partida de habilitación y colocación de acero

(Fuente: Elaboración propia)

ACERO FY=4200 Kg/cm ²						
RENDIMIENTO	250	KG/DIA	costo unitario directo por:		KG	5.33
DESCRIPCION	UNIDAD		CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL
MANO DE OBRA						
OPERARIO	HH		1	0.034	21.52	0.73
OFICIAL	HH		1	0.034	18.36	0.62
AYUDANTE	HH		1	0.034	16.47	0.56
						1.92
MATERIALES						
ALAMBRE NEGRO NRO 16	KG			0.03	3.4	0.10
FIERRO FY=4200 KG/CM ²	KG			1	3.22	3.22
						3.32
EQUIPOS						
herramientas manuales	%MO			0.0500	1.92	0.10
						0.10

Cuadro 6.3: Análisis de precios unitarios de la partida de concreto ligero con poliestireno expandido

(Fuente: Elaboración propia)

CONCRETO LIGERO CON POLIESTIRENO EXPANDIDO $f'c=70$ Kg/cm² E=0.14					JORNADA:	8.5
RENDIMIENTO	25	M2/DIA	costo unitario directo por:		M2	70.18
DESCRIPCION	UNIDAD		CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL
MANO DE OBRA						
Operario	HH		1	0.34	21.52	7.32
Oficial	HH		1	0.34	18.36	6.24
Ayudante	HH		3	1.02	16.47	16.80
						30.36
INSUMO						
Pertas de poliestireno expandido	kg			0.588	12.47	7.33
Cemento sol	bls			1.416	15.89	22.51
Arena gruesa	m ³			0.063	37	2.34
Agua	m ³			0.033	12	0.4
Aditivo Viscocrete	L			0.284	10.57	3
						35.58
EQUIPOS						
herramientas manuales	%MO			0.05	30.36	1.52
mezcladora	HM		1	0.34	8	2.72
						4.24

6.1.4 Encofrado y desencofrado con encofrado deslizante

Comprende el proceso de encofrado, elevación y desencofrado del muro, cabe mencionar que el análisis estimado realizado en el cuadro 6.4 considera un encofrado de 1 m de alto para vaciar un muro de 2.4 m de altura con una cuadrilla de 1 operario y 3 ayudantes que lograrían un rendimiento de 50 m² por día, los costos de alquiler de encofrado fueron tomados de la base de datos actualizada a septiembre del 2015 de COSAPI.

Cuadro 6.4: Análisis de precios unitarios de la partida de encofrado y desencofrado con encofrado deslizante

(Fuente: Elaboración propia)

ENCOFRADO Y DESENCOFRADO CON ENCOFRADO DESLIZANTE					JORNADA:	8.5
RENDIMIENTO	10.56	m2/DIA	costo unitario directo por:		m2	27.07
DESCRIPCION	UNIDAD		CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO	PARCIAL
MANO DE OBRA						
OPERARIO	HH		1	0.34	21.52	7.22
AYUDANTE	HH		3	1.01	16.47	16.57
CAPATAZ	HH		0.1	0.03	23.91	0.80
						24.59
MATERIALES						
ALAMBRE NEGRO	KG			0.08	3.4	0.28
CLAVOS	KG			0.08	3.59	0.30
DESMOLDANTE	KG			0.03	8.02	0.20
ALQUILER DE ENCOFRADO DESLIZANTE	M2			1	0.47	0.47
						1.25
EQUIPOS						
herramientas manuales	%MO			0.0500	24.59	1.23
						1.23

6.1.5 Armado de andamio

Para el vaciado y el tarrajeo de más de 1.3 m de altura se requiere el uso del habilitado y armado de andamios, con una cuadrilla típica de 1 operario con un rendimiento de 12 m2 por día, en el cuadro 6.5 se realiza el análisis de precios unitarios de la partida.

Cuadro 6.5: Análisis de precios unitarios de la partida de armado de andamio

(Fuente: Elaboración propia)

ARMADO DE ANDAMIO						8.5
RECURSO	INSUMO	UNIDAD		APORTE	P.U.	PARCIAL
EQUIPOS	Andamios para arquitectura	H-M		0.71	1.30	0.92
MANO DE OBRA	velocidad	m2/día		12		
	Operario	HH		0.63	21.52	13.56
						14.48

6.1.6 Tarrajeo

Con el fin de impermeabilizar el muro contra el ingreso de agua, como trabajo final se realiza el tarrajeo del muro, por ser esta una labor típica de obra, se tomó los rendimientos y la cuadrilla ya establecidos para dicha partida según muestra el cuadro 6.6.

Cuadro 6.6: Análisis de precios unitarios de la partida de tarrajeo
(Fuente: Elaboración propia)

TARRAJEO					JORNADA:	8.5
RECURSO	INSUMO	UNIDAD		APORTE	P.U.	PARCIAL
MATERIALES	cemento	Kg		0.12	20.00	2.40
	arena fina	m ³		0.02	38.00	0.76
MANO DE OBRA	velocidad	m ² /día	15			
	Operario	HH		0.57	21.52	12.19
	Ayudante	HH		0.28	16.47	4.67
						20.02

6.2 CUADRO COMPARATIVO DE PRECIOS

En base a los análisis realizados se hizo el cálculo total de la ejecución de un m² de muro de concreto ligero con encofrado deslizante y se hizo la comparación con el costo de los sistemas tradicionales de tabiquería, los costos que se muestran se basaron en el estudio realizado por Inga (2015) sobre el costo de los sistemas de albañilería más usados en las obras de Lima y que fueron actualizados a Septiembre 2015 con datos brindados por COSAPI, esta se muestra en el cuadro 6.7, de dicha comparación se deduce que el costo del sistema propuesto es ligeramente mayor al costo del muro de ladrillo King Kong, el sistema más barato es la bloqueta de concreto, seguido del sistema de placas sílico calcáreos.

Seguidamente se tiene la Fig. 6.1 mostrando el diagrama de barra basado en el cuadro 6.7 para facilitar su comparación gráfica.

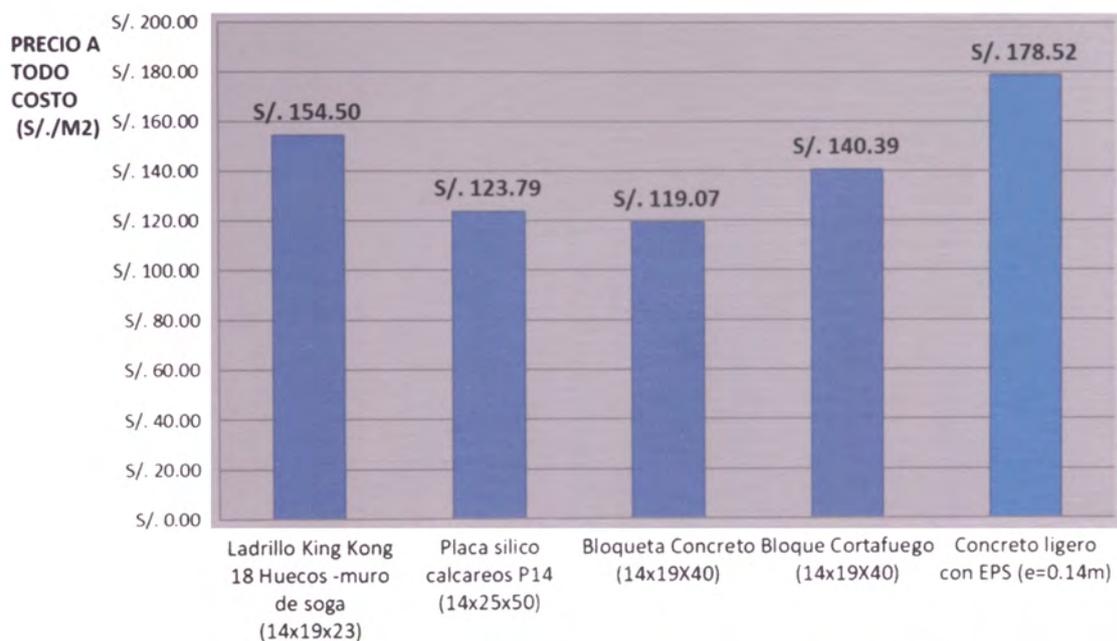


Figura 6.1: Comparativo de costos de ejecución - sistemas de tabiquería e=14 cm
 (Fuente: Elaboración propia)

(Fuente: Elaboración propia)

COSTO POR PARTIDA	LADRILLO KING KONG DE 18 HUECOS- SOGA (9x13x23)	PLACA P-14 SILICO CALCAREOS (14x25x50)	BLOQUETA DE CONCRETO DE 14 cm (14x19x39)	BLOQUETA DE CONCRETO CORTAFUEGO 14 cm (14x19x39)	MURO DE CONCRETO LIGERO e=14cm
CONCRETO LIGERO CON EPS (S/. /m2)					70.180
ENCOFRADO DESLIZANTE (S/. /m2) (AMBAS CARAS)					22.47
COLOCACION DE ANCLAJES (S/. /m2)		9.62	9.62	9.62	10.02
EMPLANTILLADO (S/. /m2)	10.77	20.40	12.44	13.80	
MANPOSTERIA (S/. /m2)	63.28	51.09	50.93	70.90	
COLUMNETA (S/. /m2)	17.61				
ACERO DE REFUERZO (S/. /m2)		6.38	9.88	9.88	21.33
ARMADO DE ANDAMIO (S/. /m2)	14.37	14.48	14.37	14.37	14.48
SOLAQUEO (S/. /m2) (AMBAS CARAS)		21.82	21.82	21.82	
TARRAJEO (S/. /m2) (AMBAS CARAS)	48.47				40.04
COSTO TOTAL (S/. /m2)	154.50	123.79	119.07	140.39	178.52

6.3 COMPARACIÓN DE PESOS DE SISTEMAS DE TABIQUERÍA CON EL SISTEMA DE CONCRETO LIGERO CON PERLAS DE EPS

A continuación en el cuadro 6.8 se muestra la comparación de los pesos totales de los sistemas de tabiquería más usados: ladrillo King kong 18H, placas sílico calcáreas P7, P14 y bloquetas de concreto, mediante el análisis del peso de cada uno de sus componentes, dichos valores fueron tomados de la tabla de pesos de los fabricantes de los unidades para dichos sistemas, así como de sus componentes como mortero, grout, etc. Complementados con los procesos y proporciones de construcción tomados de obra, se observa que el peso total del sistema planteado en el presente estudio para el caso de muros de $e=14\text{cm}$, se encuentra entre los más bajos junto con el sistema de unidades sílico calcáreas P14, las bloquetas cortafuego de $e=14\text{cm}$ constituyen el sistema más pesado debido a que el grout se encuentra en todos los alveolos a comparación del uso de bloquetas simples de $e=14\text{cm}$. A continuación se tiene la Fig. 6.2 mostrando el diagrama de barra que basado en el cuadro realiza una comparación de los sistemas de tabiquería para $e=14\text{cm}$.

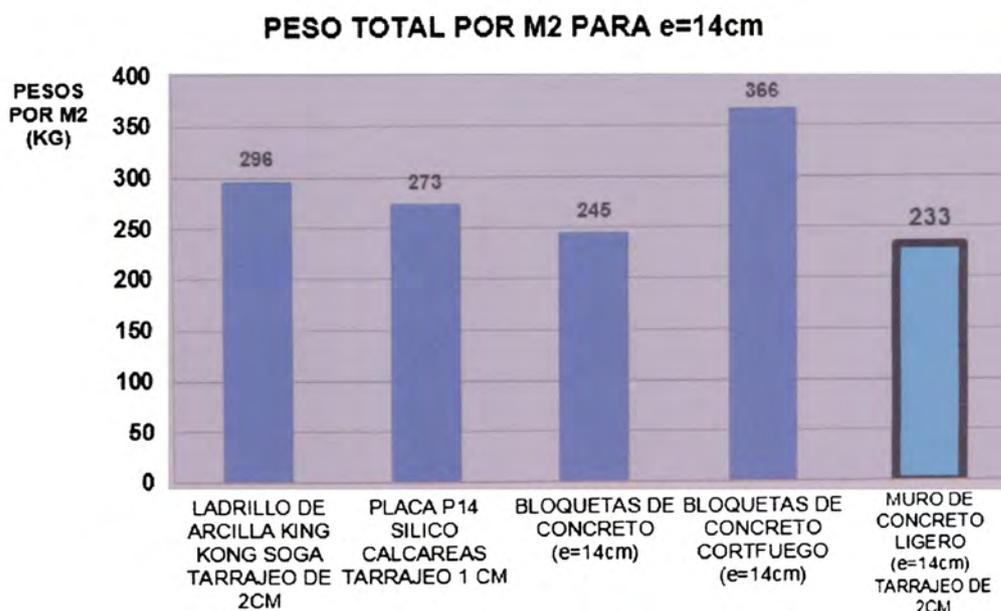


Figura 6.2: Comparativo de peso total de sistemas de tabiquería por m2 para $e=14\text{cm}$
(Fuente: Elaboración propia)

sistema de tabiquería con concreto ligero

(Fuente: Elaboración propia)

	LADRILLO DE ARCILLA CON 2 CM DE ESPESOR	UNIDADES SILICO CALCAREOS		BLOQUETAS DE CONCRETO	BLOQUETAS CORTAFUEGO	MURO DE CONCRETO LIGERO CON ENCOFRADO DESLIZANTE
	KING KONG	CON TARRAJEO DE 10 CM DE ESPESOR	CON EMPASTE EN FORMA DIRECTA	DE 14 CM	DE 14 CM	ESPESOR DE MURO
		PLACA P-14	PLACA P-14			14 CM
DIMENSIONES DE LAS UNIDADES DE ALBANILERIA						
ancho en cm	13	14	14	14	14	14
largo en cm	23	50	50	19	19	100
alto en cm	9	25	25	39	39	100
acero (kg)		0.88	0.88	2.5	2.5	4
CANTIDAD DE UNIDADES POR M2						
espesor de la junta vertical en cm	1.5	1	1	1.5	1.5	
espesor de la junta horizontal en cm	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	
cantidad de unidades por m2	38.87	7.4	7.4	12.04	12.04	
PESO DEL MURO						
peso de la unidad	2.9	24.5	24.5	12.3	12.3	
peso de las unidades (kg)	112.73	181.28	181.28	148.15	148.15	
peso del mortero (kg)	53.06	35.1	35.1	30.86	30.86	
peso del concreto (kg)	0	15.9	15.9	63.25	184	
peso del grout (kg)						
espesor del tarrajeo	2.5	1		0	0	1
peso del tarrajeo por 2 caras (kg)	100	40	0	0	0	40
columnetas (kg)	30					
PESO TOTAL DEL MURO POR M2 (KG)	296	273	233	245	366	233

CONCLUSIONES

- Se ha demostrado que se puede utilizar el encofrado deslizante para construir muros de tabiquería de concreto ligero con perlas de poliestireno expandido.
- Se ha comprobado que tecnológicamente es factible construir muros de tabiquería de concreto ligero de 2.2 m de altura en una sola jornada de trabajo mediante el uso de encofrado deslizante.
- Es factible diseñar y construir encofrados deslizantes con determinadas características de acuerdo a la necesidad y requerimientos de una obra.
- Se aprovechó el sistema de elevación por poleas planteado para el encofrado deslizante para minimizar el desgaste físico del personal obrero encargado del izaje del mismo.
- Se encontró un diseño de mezcla de concreto ligero con perlas de poliestireno en base a los estándares establecidos referidos a las propiedades de resistencia a la compresión, el asentamiento y la velocidad de fraguado luego de su colocación.
- El muro de concreto ligero posee ciertas propiedades termo acústicas debido a que posee un 35% en volumen de poliestireno expandido.
- Se demostró la factibilidad de un método para la ejecución de muros de tabiquería de concreto ligero mediante el uso de encofrado deslizante.
- El empleo de las tecnologías de fabricación y modelado 3d a escala facilita el mejoramiento de la funcionalidad de los prototipos, pudiendo realizarse mejoras en el modelado y optimizar sus componentes antes de su ejecución a escala real.
- El uso del software SolidWorks para el modelamiento y ensayo virtual del prototipo previo a la construcción física del mismo ayuda a optimizar el funcionamiento del modelo y el mejor uso de los materiales necesarios para su construcción.
- Se realizó la comparación de costos de implementación del sistema planteado con respecto a los principales sistemas existentes en el mercado.
- Se podría reducir los tiempos de ejecución de muros en comparación con los sistemas de tabiquería tradicionales.

- Se estima que al emplear muros de concreto ligero se aceleran los tiempos de ingreso de otras partidas como el de pintura, dado que el tarrajeo que requiere es de menor espesor absorbiendo menos agua y por consiguiente secando más rápido.
- Durante los ensayos de rotura de probetas se observó que la deformación producida por la fuerza aplicada, solo alteraba el área de contacto, por lo cual se deduce que el muro no fallaría por corte durante un sismo debido al comportamiento casi plástico.

RECOMENDACIONES

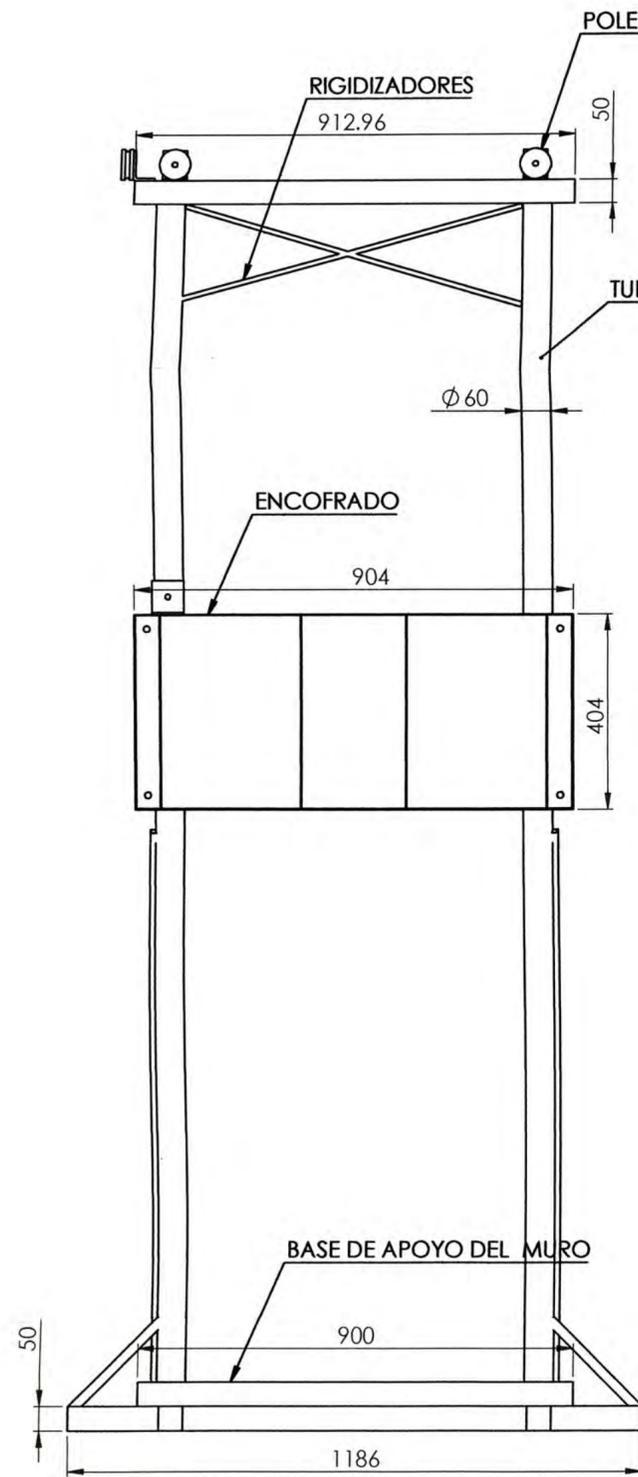
- Continuar con el estudio por medio de la realización de ensayos estructurales sobre el muro construido, como ensayo de volteo, aplicación de carga lateral, etc. Ya que al constituir un nuevo sistema de construcción de tabiquería requiere de estos ensayos para garantizar su aplicación y respuesta a eventos sísmicos.
- Se recomienda plantear como un sistema alternativo el uso de poleas para la elevación del encofrado.
- Realizar ensayos acústicos (cantidad de decibeles absorbidos o reflejados) y de resistencia al fuego, ya que al emplearse como tabique es necesaria la medición de dichas propiedades, para luego compararla contra los valores permitidos por las normas respectivas.
- Tener cuidado con la medición de las propiedades de las perlas de poliestireno expandido (densidad aparente, gravedad específica), estas son muy incidentes en el diseño final de mezcla, debido a su naturaleza, alto volumen y bajo peso, este proceso resulta algo tedioso.
- Para futuras aplicaciones, se recomienda realizar ensayos con un encofrado de 1 m de altura, 0.80 m de largo y 0.15m de ancho con el fin de acelerar el proceso y minimizar el número de vaciados.
- Se recomienda la aplicación real en obra de este sistema de tabiquería planteado, y en base a ello hacer el estudio de tiempos real de ejecución.

REFERENCIA BIBLIOGRAFIA

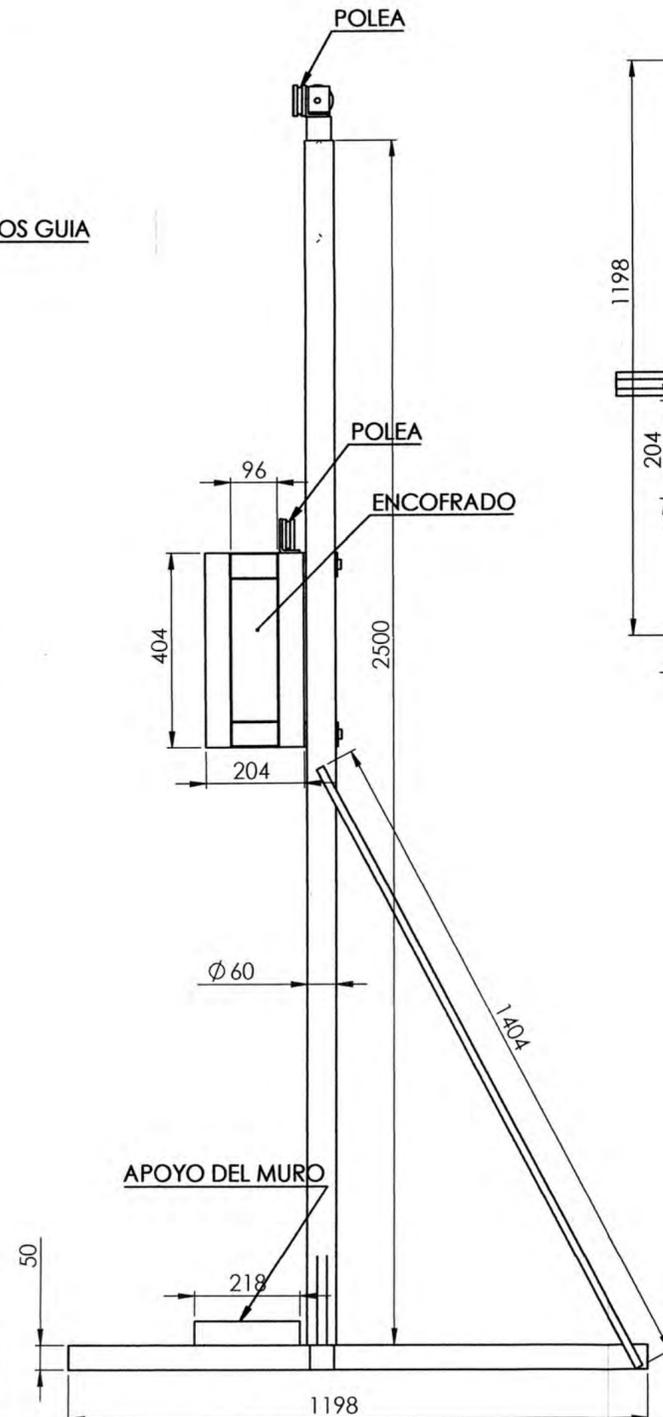
1. Aliaga Díaz Luis, Introducción al Estudio del Trabajo en Edificaciones, Tesis UNI - FIC, Lima, 1991.
2. ACI Capitulo Peruano, Tecnología del Concreto, Editorial ACI Capitulo Peruano, Lima, 1998.
3. Barnes Ralph M., Estudio de movimientos y tiempos, Editorial Aguilar, Madrid, 1956.
4. Beer Ferdinand P., Mecánica de Materiales, cuarta edición, Editorial Mc Graw, México, 2010
5. Dinescu Tudor, Sandru Andrés, Los Encofrados Deslizantes, Constantin Radulescu, Espasa libros, Madrid, 1970.
6. Enrique Rivva Lopez, Diseño de Mezclas, Fondo editorial ICG, Lima-Perú, 2010
7. Galarza Meza Marco Paulo, Desperdicio de materiales de obras de construcción civil métodos de medición y control, Tesis PUCP, Lima, 2011.
8. Gallegos Castañeda Javier, Encofrados Deslizantes, primera edición, cementos Lima S.A. Lima, 1988
9. Inga Jayo Fernando Antonio, Estudio de las alternativas de mercado para la ejecución de muros de tabiquería en la ciudad de Lima, Tesis PUCP, Lima, 2015.
10. Meneses Crispín, Gramer Santiago, Proyecto inmobiliario las praderas de Huancayo. Sistema constructivo de albañilería armada con bloquetas de concreto, Tesis UNI-FIC, Lima, 2006.
11. Neville A. M., Brokks J.J. Tecnología del Concreto, Editorial Limusa, Noriega Editores, 1989.
12. Orihuela Pablo, Estebes Delfin, Aplicación del método de la línea de balance a la planificación maestra, Paper, Cancún, 2013
13. Organización Internacional de Trabajo—OIT, Introducción al Estudio del Trabajo; imprenta del Journal Geneve, Ginebra, Suiza, 1996.
14. Sampieri Roberto H., Metodología de la Investigación, Editorial Mc Graw-Hill, México D.F., 2006.
15. San Bartolomé Ángel, Construcciones de Albañilería, Primera edición, Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, 1994.

ANEXO

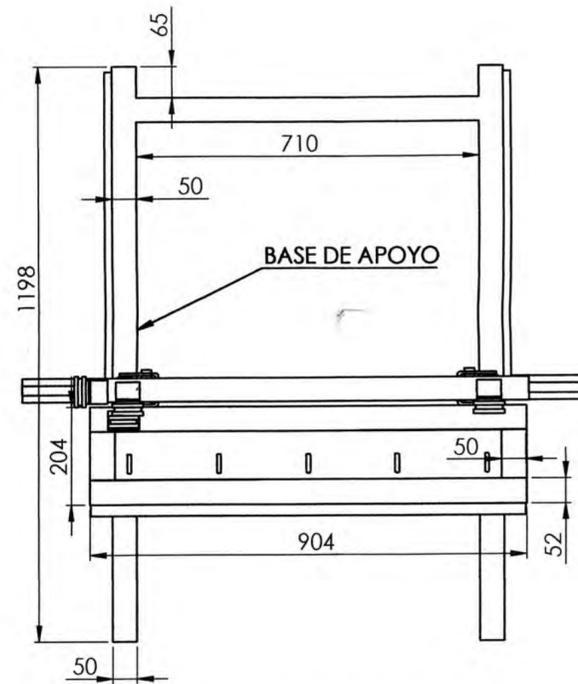
Plano de encofrado deslizante para tabiquería.



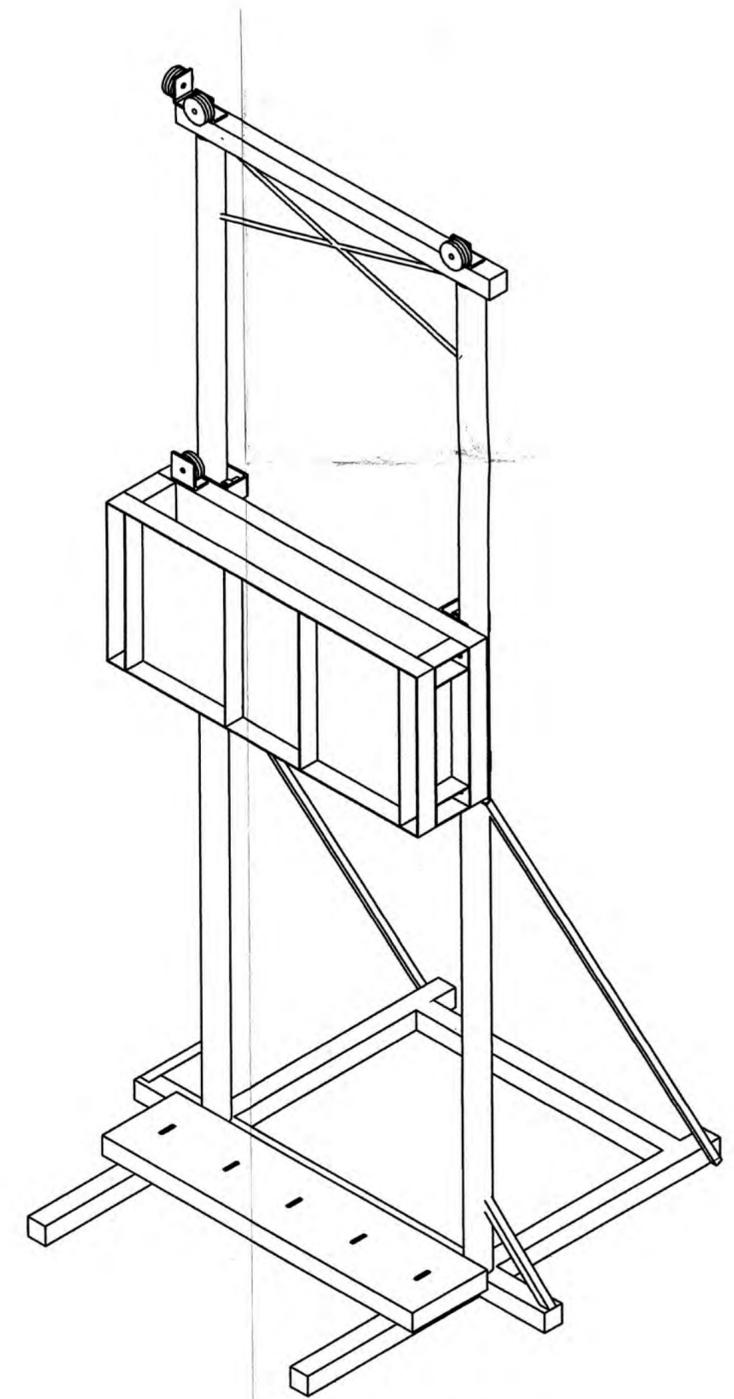
VISTA FRONTAL



VISTA PERFIL



VISTA ELEVACION



VISTA ISOMETRICA

Lamina: <h1 style="margin: 0;">P-1</h1>	Título: ENCOFRADO DESLIZANTE PARA TABIQUERIA	
	Tesisista: CARLOS EDUARDO SUAREZ MENDOZA	
	Fecha: 01/04/18	Escala: 1/20
	Diseño: DIEGO GONZALES	