



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE CIVIL

**TRABAJO DE DISERTACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

**ANALISIS COMPARATIVO DE FACTIBILIDAD TECNICA, ECONOMICA Y CONSTRUCTIVA ENTRE
ENCOFRADO TRADICIONAL Y ENCOFRADO LOSAFLEX PARA VIGAS Y LOSAS DE HORMIGON
ARMADO EN EDIFICACIONES.**

ALVARO GUERRERO CRUZ

DIRECTOR: ING. ESTUARDO PAEZ

QUITO, 2018

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme brindado la oportunidad de culminar esta nueva etapa en mi vida.

A mi madre, Anita, por el apoyo y amor incondicional, quien con cada una de sus palabras y enseñanzas ha sembrado en mí las cualidades de la maravillosa persona que es. A mi padre, compañero y colega, Edy, quien desde niño me enseñó la pasión por esta profesión. Gracias papis por su amistad, sin duda es su mayor regalo.

A mi hermana, Arly, por ser ejemplo de superación y motivación en mi vida. Gracias por tu amor, paciencia y consejos los cuales me han permitido alcanzar este logro.

A mi novia, Adri, por tu compañía y amor.

Y a mis amigos por todos los momentos compartidos quienes hicieron a estos años inolvidables.

Álvaro

DEDICATORIA

A mis padres, quienes con su amor, apoyo y esfuerzo me han permitido alcanzar esta meta.

Alvaro

RESUMEN

Una de las principales tendencias a nivel mundial es la búsqueda de nuevas técnicas y equipos para mejorar procesos ineficientes, dañinos al medio ambiente o mejorar la productividad de un trabajo. Tal es el caso de los encofrados para vigas y losas de hormigón armado, donde se propuso el sistema LosaFlex como solución a las dificultades técnicas y constructivas, y los costos elevados del sistema tradicional de encofrados.

El objetivo de este estudio es determinar qué tan viable es la utilización de este nuevo sistema de encofrados. De esta manera la pregunta de investigación es la siguiente: ¿El sistema “LosaFlex” será mejor constructivamente, técnicamente y económicamente que el sistema tradicionalmente utilizado para vigas y losas de hormigón armado en edificaciones?

La pregunta de investigación antes formulada se responde a través de una visita a dos obras en construcción en Quito – Ecuador, donde se pudo observar las ventajas y desventajas del proceso constructivo, y la duración con los dos tipos de encofrado. Teniendo como resultado que el sistema LosaFlex es viable, siendo mejor en los aspectos técnicos y constructivos sin importar las condiciones del elemento estructural (vigas y losas) a encofrar, y con un costo muy inferior para encofrado de losas planas (losas de espesor constante) o con luces grandes.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, se recomienda que el diseño de la estructura se coordine con el diseño arquitectónico con el afán de tener luces grandes o a su vez losas planas, para que de esta manera se pueda maximizar los beneficios que este nuevo sistema de encofrado (LosaFlex) presenta.

INTRODUCCIÓN

En la construcción de una obra de estructura de hormigón armado uno de los principales rubros son los encofrados. Peurifoy R.L. (1980) señala que el encofrado de estructuras de hormigón representa una parte muy importante de la construcción, tanto para los servicios que proporciona como por su coste. Por tal razón sus limitaciones son motivo de análisis para encontrar nuevas técnicas que solucionen las limitaciones y dificultades de los sistemas existentes.

Los residuos generados en la construcción son un tema de carácter social, ya que los daños que estos generan al medio ambiente son significativos. Por otro lado, los gastos que estos representan al propietario son elevados. Es por eso que uno de los principales rubros generadores de residuos en construcción son los encofrados. En función de reducir estos efectos se buscan alternativas para mejorar un sistema existente, mediante sistemas modernos que permitan solucionar dificultades y sean productivos.

Como objetivo de la investigación se tiene la evaluación técnica, económica y constructivas de los beneficios y desventajas del sistema tradicional de encofrados para vigas y losas de hormigón armado en edificaciones en comparación al sistema de encofrado “LosaFlex”.

El alcance de esta disertación es de carácter descriptivo y correlacional. El tema de disertación propuesto no es un tema que ha sido estudiado con mayor frecuencia, por lo que se tendrá que realizar un trabajo de campo en dos edificaciones de Quito, Ecuador. Estas edificaciones usaran los sistemas de encofrados tradicionales y sistemas LosaFlex. El objetivo de la visita de campo consiste en realizar una descripción detallada de las ventajas y desventajas entre ambos sistemas, el tiempo empleado para montarlo en obra, sus rendimientos, número de usos del producto, facilidades, etc.

La investigación correlacional es necesaria para relacionar las variables (número de usos, manejabilidad, accesibilidad, etc.) encontradas en la etapa de descripción. Esta correlación nos permitirá verificar la hipótesis planteada para este trabajo. Por ejemplo, si alguna de las variables seleccionadas es acerca de costos, podremos concluir que uno de los dos sistemas es más costoso, por lo tanto determinar la mejor alternativa.

Por último, se quiere llegar a determinar si en efecto el uso del nuevo sistema de encofrado para vigas y losas de hormigón armado llamado LosaFlex es factible y si puede llegar a ser mejor que el sistema tradicional de encofrados, con el objetivo de implementar en la construcción una nueva forma de encofrar vigas y losas que sea técnicamente, constructivamente y económicamente mejor que la usualmente utilizadas en el país.

Contenido

RESUMEN.....	IV
INTRODUCCIÓN	V
CAPITULO 1: MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Sistema de encofrado tradicional	1
1.1.1 Puntales metálicos.....	2
1.1.2 Viguetas metálicas	4
1.1.3 Tableros.....	5
1.1.4 Tableros metálicos	5
1.1.5 Tableros de madera	6
1.1.6 Crucetas.....	7
1.1.7 Materiales varios.....	9
1.2 Sistema de encofrado Losaflex.	11
1.2.1 Tablero	12
1.2.2 Vigas VM 20	14
1.2.3 Cabezal doble VR	16
1.2.4 Cabezal simple VR	16
1.2.5 Puntales	17
1.2.6 Trípode.....	19
1.2.7 Barandillas de seguridad	20
2. CAPÍTULO 2: FACTIBILIDAD CONSTRUCTIVA	21
2.1 Sistema tradicional de encofrado.	23
2.1.1 Proceso constructivo del encofrado.	24
2.1.2 Ventajas y Desventajas del sistema tradicional.	28
2.1.2.1 Ventajas del sistema tradicional.....	28
2.1.2.2 Desventajas del sistema tradicional.....	29
2.2 Sistema LosaFlex.	35
2.2.1 Proceso constructivo del sistema LosaFlex.	35
2.2.2 Ventajas y desventajas del sistema LosaFlex.	40
2.2.2.1 Ventajas del sistema LosaFlex.....	40
2.2.2.2 Desventajas del sistema LosaFlex.....	45
3. CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS	46
3.1 Duración del encofrado	47
3.2 Costo de los materiales	52

3.2.1	Costo de tableros de madera para fondos de viga de sección 1.20 x 0.60 metros.....	52
3.2.2	Costo de tableros laterales de 45 cm de alto para vigas de 60 cm de peralte.	54
3.2.3	Costo de tableros laterales de 25 cm de alto para vigas de 40 cm de peralte.	55
3.2.4	Costo de tableros laterales de 40 cm de alto para vigas de 65 cm de peralte.	57
3.2.5	Costo de materiales varios.....	59
3.3	Costos de la mano de obra.....	60
3.4	Análisis de precios unitarios.....	60
3.4.1	Análisis de precios unitarios del edificio A.	61
3.4.1.1	Sistema tradicional.....	61
3.4.1.2	Sistema LosaFlex	66
3.4.2	Análisis de precios unitarios del edificio B.	70
3.4.2.1	Sistema tradicional.....	70
3.4.2.2	Sistema LosaFlex	74
4.	CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	78
4.1	CONCLUSIONES	78
4.2	RECOMENDACIONES.....	82
5.	BIBLIOGRAFIA.....	84

Índice de fotografías

Fotografía 1: Sistema tradicional de encofrado	2
Fotografía 2: Puntales metálicos telescópicos.	3
Fotografía 3: Viguetas metálicas de 3 metros.....	5
Fotografía 4: Tableros metálicos de sección 1.20 x 0.60 metros y 1.20 x 0.30 metros. Utilizados para encofrado de losa.....	6
Fotografía 5: Tableros de madera para encofrado de vigas y losa de sección 1.20 x .60 metros.....	7
Fotografía 6: Crucetas metálicas	8
Fotografía 7: Sierra de banco, amoladora y sierra eléctrica circular.....	9
Fotografía 8: Tableros laterales para vigas descolgadas.....	10
Fotografía 9: Tablones, utilizados para remates y como extensiones de viguetas metálicas.....	10
Fotografía 10: Elementos del Sistema ENKOFLEX o LosaFlex.....	11
Fotografía 11: Vigas VM 20 de 5.90 metros de longitud.	14
Fotografía 12: En esta imagen se puede ver la disposición de las vigas de primera y segunda tramada.	15
Fotografía 13: Cabezal doble VR. Colocados sobre el puntal y en la junta de dos vigas VM 20.	16
Fotografía 14: Cabezal simple VR. Colocados sobre los puntales, en zonas donde no exista traslape de vigas.....	17
Fotografía 15: Trípode. Colocados en la base de los puntales.....	19
Fotografía 16: Edificio A, encofrado con el sistema tradicional.	21
Fotografía 17: Edificio B, encofrado con el sistema LosaFlex.....	22
Fotografía 18: Losa encofrada mediante el sistema tradicional.....	23
Fotografía 19: En esta imagen se puede ver como se inicia los procesos del encofrado, con la colocación de puntales y crucetas, una vez replanteados los ejes de las vigas. ...	24
Fotografía 20: En esta fotografía se puede ver la instalación de los puntales y viguetas. El tablero colocado solo es una guía para la separación entre viguetas.....	25
Fotografía 21: En esta fotografía se puede apreciar la colocación de los tableros metálicos.....	25
Fotografía 22: Se muestra la colocación de tableros de madera para vigas, el armado de las vigas y el inicio de la colocación de los tableros laterales.....	26
Fotografía 23: En esta fotografía se puede ver la colocación de los tableros laterales. 27	27

Fotografía 24: En esta imagen se puede ver el desencofrado de los tableros laterales de vigas.	28
Fotografía 25: En la imagen se apreciar un puntal que sufrió un fallo.....	30
Fotografía 26: Se muestra la cantidad de desperdicios de madera después de encofrar una losa.....	31
Fotografía 27: En la imagen se puede ver claramente ubicación de las crucetas y la incomodidad que representaría el acceso a la losa inferior, puesto que las crucetas se colocan en sentido longitudinal y transversal.....	32
Fotografía 28: Se observa claramente como el trabajador queda cercado por el encofrado, lo que limita y dificulta su movimiento.....	33
Fotografía 29: Colocación de las vigas de la primera tramada con ayuda del diablo (trinche).....	36
Fotografía 30: Colocación de las vigas de la segunda tramada.....	37
Fotografía 31: Instalación de los tableros sobre las vigas VM 20.....	37
Fotografía 32: El proceso del reapuntalamiento fue finalizado, se puede ver en los puntales intermedios.....	38
Fotografía 33: Encofrado de vigas descolgadas.....	39
Fotografía 34: Tableros laterales en vigas.....	39
Fotografía 35: Se ve la facilidad con la cual un trabajador carga una viga de 5.90 metros de longitud.....	42
Fotografía 36: En la figura se ve la amplitud y comodidad para desplazarse por debajo de la losa encofrada.....	44

Índice de Tablas

Tabla 1: Capacidad de carga de los puntales normales.....	4
Tabla 2: Dimensiones comerciales de los tableros Ulma.	13
Tabla 3: Propiedades mecánicas del tablero Ulma.	13
Tabla 4: Propiedades mecánicas de las vigas VM 20.	15
Tabla 5: Capacidad de carga de los puntales dependiendo de la apertura.	19
Tabla 6: Avance diario del encofrado tradicional y LosaFlex en el edificio A y B.	52
Tabla 7: Materiales necesarios para elaborar 1 tablero de madera de 1.20 x 0.60 metros.	53
Tabla 8: Materiales, cantidades y precios para determinar el costo final de un tablero de 1.20 x 0.60 metros.....	53
Tabla 9: Materiales necesarios para elaborar 1 tablero lateral de peralte de 45 cm.	54
Tabla 10: Materiales, cantidades y precios para determinar el costo final de un tablero lateral de 45 cm de peralte.....	55
Tabla 11: Materiales necesarios para elaborar 1 tablero lateral de peralte de 40 cm. ...	56
Tabla 12: Materiales, cantidades y precios para determinar el costo final de un tablero lateral de 40 cm de peralte.....	57
Tabla 13: Materiales necesarios para elaborar 1 tablero lateral de peralte de 25 cm. ...	58
Tabla 14: Materiales, cantidades y precios para determinar el costo final de un tablero lateral de 25 cm de peralte.....	59
Tabla 15: Materiales que serán utilizados en los análisis de precios unitarios.	59
Tabla 16: Categorías y los salarios a las distintas categorías de obreros.	60
Tabla 17: Cuadro de resumen de equipo y materiales con sus respectivos costos, utilizados en el análisis de precio unitario.	64
Tabla 18: Cuadro de resumen de equipo y materiales con sus respectivos costos, utilizados en el análisis de precio unitario.	68
Tabla 19: Cuadro de resumen de equipo y materiales con sus respectivos costos, utilizados en el análisis de precio unitario.	72
Tabla 20: Cuadro de resumen de equipo y materiales con sus respectivos costos, utilizados en el análisis de precio unitario.	75
Tabla 21: Análisis de precios unitarios de los dos edificios	77

Índice de Imágenes

Imagen 1: Tablero TRIMAX. Colocado sobre las vigas secundarias (ULMA, 2009). .	12
Imagen 2: Barandilla de seguridad. Se indica en la figura la colocación de los soportes de las barandillas y de las barandillas (ULMA, 2009).....	20
Imagen 3: Sistema e encofrado LosaFlex (ULMA, 2009).....	35
Imagen 4: En estas imágenes se puede ver la claramente la disposición de las vigas de madera para solucionar la geometría e interferencias presentes en el encofrado de losa (ULMA, 2009).....	43

CAPITULO 1: MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se estudiará dos tipos de encofrado para losas y vigas de hormigón, los cuales son el sistema de encofrado Losaflex y el denominado sistema tradicional de encofrado. Para cada una de las alternativas seleccionadas se detallará el sistema y sus componentes, sus características técnicas, etc.

Antes de realizar el estudio de los sistemas propuestos, hay que definir qué es encofrado. El encofrado no es más que un molde utilizado para que el hormigón adquiriera una forma determinada, puesto que el estado inicial de este material es líquido y con el tiempo se convierte en un material inmensamente rígido. Por lo tanto es necesario proporcionarle algún mecanismo para que pueda llegar a tomar la forma que se necesita.

1.1 Sistema de encofrado tradicional

El sistema tradicional de encofrado está compuesto de los siguientes componentes:

- Puntales metálicos
- Viguetas metálicas
- Tableros de madera y metálicos
- Crucetas
- Materiales varios

Cabe resaltar que el nombre de sistema tradicional de encofrados es una denominación que se ha puesto a una forma y materiales utilizados para el encofrado de vigas y losas de hormigón.

Fotografía 1



Fotografía 1: Sistema tradicional de encofrado

1.1.1 Puntales metálicos

Según PEURIFOY (1980), en la construcción se emplean los puntales o pies derechos y los andamios para soportar las vigas, forjados, cubiertas, tableros de puentes y demás elementos de hormigón hasta que adquieran la suficiente resistencia para soportarse a sí mismos. Existiendo puntales de distintos materiales y longitudes, se tiene que los puntales utilizados con mayor frecuencia son los puntales metálicos o Burton.

Un puntal metálico es un elemento metálico rígido, cuya función es soportar el peso de viguetas y tableros sobre el cual se verterá el hormigón. Como lo sugirió PEURIFOY (1980), los puntales se instalan generalmente como elementos aislados debiendo estar arriostrados en uno o más puntos intermedios con riostras horizontales y diagonales, para conseguir mayor rigidez y aumentar su capacidad de carga.

Fotografía 2



Fotografía 2: Puntales metálicos telescópicos.

El sistema tradicional utiliza generalmente dos modelos de puntales telescópicos metálicos “Normales”, los cuales alcanzan una capacidad de carga como lo indica ULMA (2009), desde los 23 KN hasta los 8.8 KN, la cual dependerá de la altura a la que se utilice el puntal, es decir, la abertura del mismo. A continuación se muestra una tabla de la capacidad de carga de los puntales normales para una altura cualquiera. Cabe recalcar que los puntales deberán ser utilizados con una abertura mínima de 1.75 metros hasta un máximo de 3.10 metros y 2.10 metros hasta 3.50 metros respectivamente.

Tabla 1

ALTURA (m)	PUNTAL NORMAL	
	1.75 m - 3.10 (m)	2.10 m - 3.50 (m)
1.75	23	
1.8	23	
1.9	23	
2	23	
2.1	23	23
2.2	21.71	22.57
2.3	20.43	22.14
2.35	19.79	21.93
2.4	19.14	21.71

2.5	17.64	20.5
2.6	15.93	18.5
2.7	14.21	16.5
2.8	12.5	14.5
2.9	11.17	13.33
3	9.83	12.17
3.1	8.5	11
3.2		10.36
3.3		9.72
3.4		9.08
3.5		8.44

Tabla 1: Capacidad de carga de los puntales normales

Nota: RECUPERADO de "Encofrado horizontal ENKOFLEX", de ULMA, (24/07/2017). Recuperado de https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/84988/CATALOGO_VIGAS-y-TABLEROS_ES.pdf

Los puntales metálicos telescópicos tienen aberturas cada 10 centímetros de longitud, y mediante una llave reguladora se puede llegar a la altura deseada, es decir, si necesito llegar a una altura de 2.87 m se coloca el puntal en el agujero de 2.80 metros y con la llave se llega a la altura deseada, los 7 centímetros restantes.

Para los puntales normales con apertura de 1.75 metros hasta 3.10 metros el peso es de 10 kilogramos, mientras que para los de apertura de 2.10 metros hasta 3.50 metros el peso es de 10.6 kilogramos.

1.1.2 Viguetas metálicas

Las viguetas metálicas utilizadas en el sistema tradicional de encofrado según son artefactos construidos como vigas trianguladas, utilizando varillas o ángulos de acero. Tienen un peso aproximado de 11 kg por metro de longitud. Se diseñan para trabajar bajo una carga distribuida. (J. GUEVARA, 2014)

En el mercado existen viguetas de 2 metros y 3 metros de longitud, por lo que sus respectivos pesos serian 22 Kg y 33 Kg respectivamente. Según BAGANT, la resistencia a la flexión de una vigueta metálica es de 4.1 KN/m.

Fotografía 3



Fotografía 3: Viguetas metálicas de 3 metros.

Este tipo de viguetas metálicas tienen una longitud establecida, esto quiere decir, que no tienen la capacidad de regular su alcance y se deberá diseñar el encofrado de tal manera que se considere viguetas de 2 y 3 metros de longitud.

Estos elementos tienen la función de distribuir las cargas que transmite el tablero, ya sea de losa o viga, al puntal.

1.1.3 Tableros

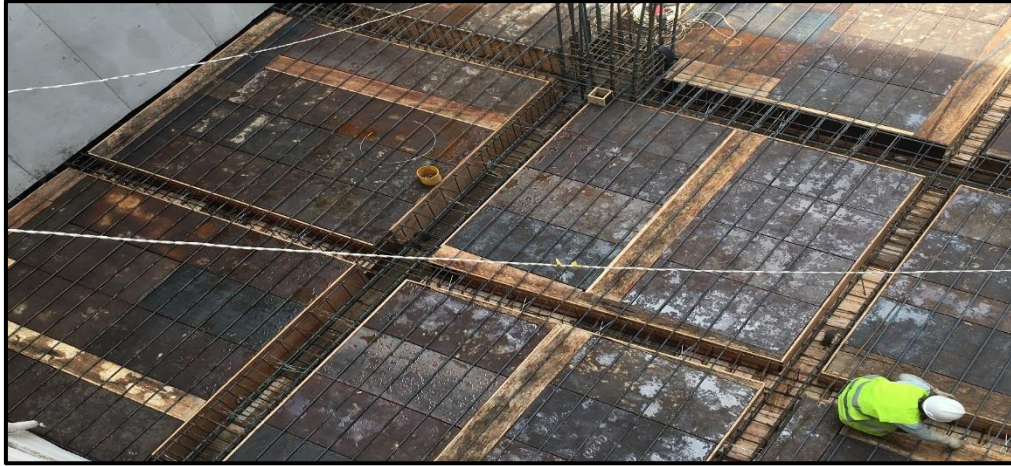
Existen dos tipos de tableros, tableros metálicos y de madera los cuales son utilizados para vigas y losas.

1.1.4 Tableros metálicos

Son tableros metálicos rectangulares utilizados para el encofrado de losas. Existen dos secciones comerciales de estos, los cuales son de 1.20 x 0.60 metros y de 1.20 x .030

metros. Según BAGANT, la capacidad de carga de los tableros metálicos es de 1363 KN/m².

Fotografía 4



Fotografía 4: Tableros metálicos de sección 1.20 x 0.60 metros y 1.20 x 0.30 metros. Utilizados para encofrado de losa.

1.1.5 Tableros de madera

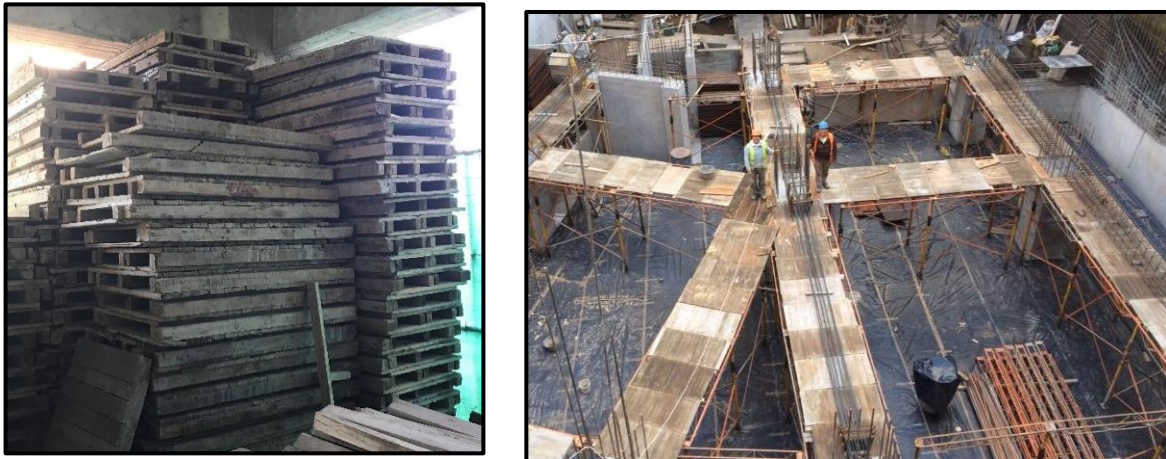
Según J. GUEVARA (2014) son piezas que se instalan simplemente apoyadas sobre las correas y configuran la superficie de trabajo. Se fabrican en maderas de densidad intermedia (600 kg/m³). Según BAGANT, la capacidad de carga de estos tableros es 1050 KN/m².

Estos elementos tienen la función de transmitir las cargas provenientes del acero de refuerzo, hormigón, materiales, equipo de construcción y personal de trabajo a las viguetas. Estos tableros tienen la particularidad de que son fabricados en función de las necesidades del proyecto, aunque también pueden ser adquiridos o alquilados, pero debido al desgaste que sufren debido al tipo de material suelen ser fabricados en campo.

Los tableros de madera se realizan con una gran variedad de clases de maderas. El tipo de madera seleccionada para la elaboración del tablero dependerá del tipo de acabado que

se requiera. Los tableros de madera están conformados por dos elementos, los cuales son transversales y verticales.

Fotografía 5



Fotografía 5: Tableros de madera para encofrado de vigas y losa de sección 1.20 x .60 metros.

Para los elementos transversales se utiliza alfajías de 6 cm x 4 cm, mientras que para los verticales se pueden utilizar maderas como duelas, media duelas, copal, tabla de monte, tabla dura, etc. La selección de esta dependerá básicamente del tipo de terminado que se quiera proveer al hormigón.

Estos tableros tienen dimensiones de 1.20 m x 0.60 m generalmente, estas dimensiones están estandarizadas en la construcción, debido a que las dimensiones comerciales de las piezas de madera son de 2.40 m de longitud, por lo tanto se trata de optimizar recursos y materiales, cortándolas de tal manera de no tener residuos.

1.1.6 Crucetas

J. GUEVARA (2014) señala que las crucetas metálicas cumplen la función de arriostrar el conjunto e impedir que se deslice lateralmente o bien, que los puntales pierdan

estabilidad. Estas crucetas se fabrican en tubería de acero delgada o en ángulo de acero, y se instalan en los pines roscados con ayuda de una tuerca.

Como indica J. GUEVARA (2014), al hablar sobre los componentes de este encofrado se han mencionado las crucetas o tijeras como un complemento indispensable para la estabilidad del conjunto. Para poderlas instalar, los puntales deben tener perfecta verticalidad y el criterio para disponerlas queda a la elección del constructor. No se acostumbra amarrar entre si la totalidad de los puntales, pues tal vez sería excesivo y haría muy difícil la circulación de personas bajo el encofrado; más bien, el criterio consiste en estabilizar zonas a manera de <<mesas>>, siempre prefiriendo que los puntales de borde queden arriostrados y pensando en la fácil circulación de operarios por debajo del conjunto.

Fotografía 6



Fotografía 6: Crucetas metálicas

Sin embargo se puede ver que este principio o técnica de uso de las crucetas no se cumple, ya que para el encofrado de losas y vigas se suelen amarrar o arriostar todos los puntales en si, para lograr una mayor estabilidad.

En el mercado existen crucetas de 1.2 metros, 2 metros y 3 metros de longitud, las cuales se eligen en función de la vigueta necesitada, es decir, si se requiere de una vigueta de 3 metros se utilizarán crucetas de 3 metros.

1.1.7 Materiales varios

Para completar los materiales y equipos necesarios que forman parte del sistema de encofrados tenemos los siguientes: herramienta menor, material menudo, tableros de tabla triplex, tablones, desmoldantes, etc.

- Herramienta menor: Esta es la denominación al equipo menor tal como sierras normales, eléctricas y de banco, amoladoras, etc., necesario para realizar cualquier tipo de corte. La sierra eléctrica circular es utilizada para cortar pedazos de madera pequeños, la sierra de banco para cortar secciones grandes de tableros, y la amoladora para cortes en general, dependiendo del tipo de corte, es decir, el material a cortar se utilizan diferentes discos. .

Fotografía 7



Fotografía 7: Sierra de banco, amoladora y sierra eléctrica circular.

- Material menudo: Son los materiales necesarios para fijar el encofrado tales como alambres, clavos, etc.
- Tableros de tabla triplex: Como su nombre lo indica son tableros de tabla triple, los cuales son utilizados para remates y elaboración de laterales. Las laterales son

tableros verticales al tablero de vigas o losas, cuya función es la de conformar un cajón para evitar que el hormigón se riegue y dar forma a las vigas.

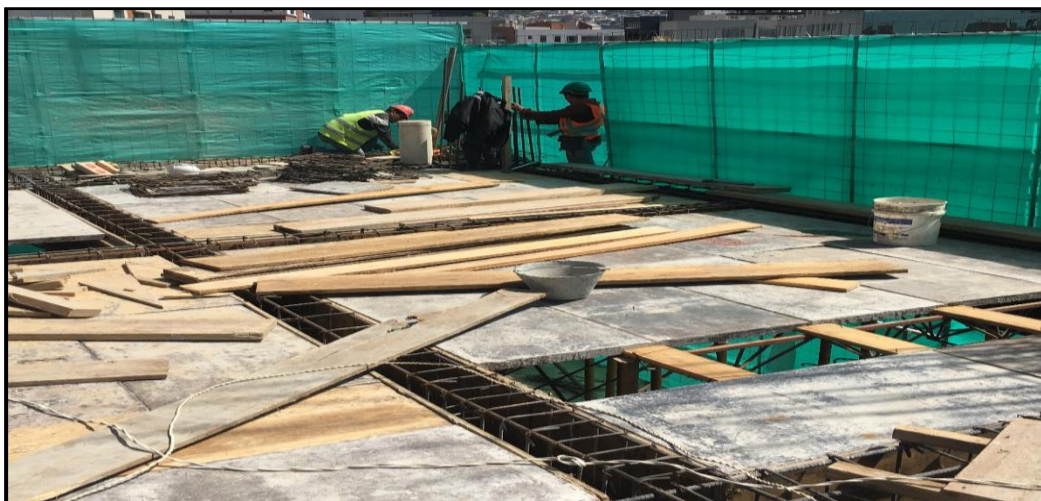
Fotografía 8



Fotografía 8: Tableros laterales para vigas descolgadas.

- Tablones: Son piezas de madera de distintos materiales utilizados para remates de losa, extensión de viguetas, formación de ductos y pasos, etc.

Fotografía 9



Fotografía 9: Tablones, utilizados para remates y como extensiones de viguetas metálicas.

- Desmoldantes: Son productos químicos que ayudan en el proceso del desencofrado. Se coloca el líquido desmoldante en la superficie que va a estar expuesta al hormigón antes del hormigonado.

1.2 Sistema de encofrado Losaflex.

El sistema Losaflex es un sistema para encofrado de losas y vigas, mismo que el sistema Enkoflex. Enkoflex es un sistema de encofrado horizontal propuesto por la empresa ULMA, mientras que el sistema Losaflex, es propuesto por la empresa Ecuatoriana BAGANT.

Losaflex no es más que el nombre que esta empresa ha utilizado para denominar a su producto, puesto que este encofrado se basa en los mismos principios, materiales, técnicas y elementos que el sistema Enkoflex.

Fotografía 10



Fotografía 10: Elementos del Sistema ENKOFLEX o Losaflex.

El sistema Enkoflex o Losaflex, es un tipo de encofrado horizontal utilizado para vigas y losas de hormigón. Los elementos del sistema de encofrado Losaflex son viga VM 20 primera tramada (vigas principales), viga VM 20 segunda tramada (vigas secundarias),

cabezal doble VR, cabezal simple VR, barandilla de seguridad (opcional) , puntales, trípode y tablero.

1.2.1 Tablero

El tablero utilizado es un material de tres capas de madera, denominado tablero tricapa o tablero ULMA TRIMAX. Según ULMA Trimax está compuesto por tres capas de madera tipo abeto adheridas entre sí. El encolado AW 100 se realiza según norma ÖNORM B3023. Las fibras de la primera y tercera capa (A) están dispuestas perpendicularmente a las fibras de la segunda capa (B).

La orientación de las capas impide que los tableros se partan o se rasguen. Además las capas intermedias sucesivas evitan que los bordes se desgasten o se dañen a pesar de los múltiples usos. La superficie exterior está recubierta de resina sintética de melamina de 130 g/m² de color amarillo. El resultado es un acabado de hormigón con ligera textura de madera y micro poros. Los cantos del tablero están sellados con un recubrimiento de poliuretano que previene la absorción de humedad y la adhesión del hormigón.

Imagen 1



Imagen 1: Tablero TRIMAX. Colocado sobre las vigas secundarias (ULMA, 2009).

Los tableros vienen en espesores de 21 mm y 27 mm en algunos formatos de dimensiones, las cuales se muestran a continuación.

Tabla 2

DIMENSIONES
2000 X 503 X 21
2000 X 503 X 27
2500 X 500 X 21
2500 X 500 X 27
1970 X 503 X 27
1000 X 503 X 27
1330 X 503 X 27

Tabla 2: Dimensiones comerciales de los tableros Ulma.

Nota: RECUPERADO de “Encofrado horizontal ENKOFLEX”, de ULMA, (24/07/2017). Recuperado de https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/84988/CATALOGO_VIGAS-y-TABLEROS_ES.pdf

Para los espesores estándar de los tableros se muestran algunas de las propiedades características, las cuales se presentan a continuación.

Tabla 3

PROPIEDADES DEL MATERIAL		
ESPESOR	21 mm	27 mm
RESISTENCIA A LA FLEXION	42 N/mm ²	36 N/mm ²
MODULO DE ELASTICIDAD	10400 N/mm ²	9700 N/mm ²
PESO	10.0 Kg/m ²	12.5 Kg/m ²

Tabla 3: Propiedades mecánicas del tablero Ulma.

Nota: RECUPERADO de “Encofrado horizontal ENKOFLEX”, de ULMA, (24/07/2017). Recuperado de https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/84988/CATALOGO_VIGAS-y-TABLEROS_ES.pdf

1.2.2 Vigas VM 20

Según ULMA, Forma el entramado de la planchada del sistema ENKOFLEX. La Viga VM 20 se emplea tanto de primera como de segunda tramada. Las vigas de madera tienen sección "I", con un canto de 200 milímetros y ancho de 80 milímetros. Los dos extremos están protegidos por cantoneras de plástico. Existen diferentes longitudes de Vigas VM, para poder seleccionar la más apropiada en cada caso.

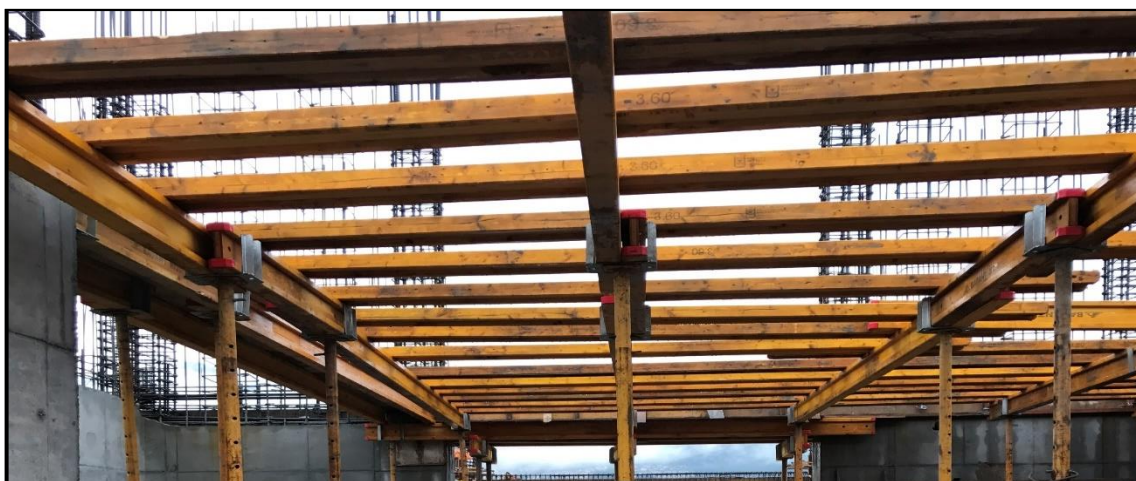
Fotografía 11



Fotografía 11: Vigas VM 20 de 5.90 metros de longitud.

La denominación de vigas de primera tramada se da para las vigas principales, es decir, vigas en el sentido longitudinal o vigas que se encuentran debajo de las vigas de segunda tramada, y las vigas de segunda tramada son vigas secundarias, transversalmente colocadas a las principales.

Fotografía 12



Fotografía 12: En esta imagen se puede ver la disposición de las vigas de primera y segunda tramada. Las vigas I están formadas por madera tipo abeto en las alas y su alma por el tablero tricapa. Las vigas vienen en varias dimensiones de longitud, las cuales son 5.90 metros, 4.90 metros, 4.50 metros, 3.90 metros, 3.60 metros, 3.30 metros, 2.90 metros, 2.45 metros. El peso de las vigas es de 4.6 Kilogramos/metro. A continuación se muestran algunas propiedades de las vigas.

Tabla 4

PROPIEDADES		
ESFUERZOS	ESFUERZOS ADM	VALORES CARACTERISTICOS
ESFUERZO CORTANTE	11 KN	23.9 KN
MOMENTO FLECTOR	5.0 KNm	10.9 KNm
MODULO RESISTENTE DE LA SECCION	$W_x = 461 \text{ cm}^2$	
MOMENTO DE INERCIA	$I_x = 4613 \text{ cm}^4$	
MODULO DE ELASTICIDAD	$E = 10000$ N/mm ²	
MODULO DE CIZALLADURA	$G = 600 \text{ N/mm}^2$	

Tabla 4: Propiedades mecánicas de las vigas VM 20.

Nota: RECUPERADO de “Encofrado horizontal ENKOFLEX”, de ULMA, (24/07/2017). Recuperado de https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/84988/CATALOGO_VIGAS-y-TABLEROS_ES.pdf

1.2.3 Cabezal doble VR

Es un accesorio metálico que forma parte del sistema de encofrado. Este cabezal es utilizado como apoyo y sujetador de las vigas VM 20 de la primera tramada. Este cabezal se coloca sobre el puntal, y sujeta las vigas de la primera tramada en los puntos donde se requiere un traslape de vigas.

Este cabezal tiene tal dimensión que permite que entren dos vigas de madera VM 20.

Fotografía 13



Fotografía 13: Cabezal doble VR. Colocados sobre el puntal y en la junta de dos vigas VM 20.

1.2.4 Cabezal simple VR

Al igual que el cabezal simple, es un accesorio metálico y tiene la misma función que el anterior, donde la gran diferencia es que este no es utilizado en el traslape de vigas, es decir, es utilizado en vigas de primera, es decir, vigas principales.

Fotografía 14



Fotografía 14: Cabezal simple VR. Colocados sobre los puntales, en zonas donde no exista traslape de vigas.

1.2.5 Puntales

Al igual que en el sistema tradicional de encofrados un puntal tiene la misma definición y utilización, la cual es de soportar las vigas de madera VM 20. La diferencia con estos puntales es el tipo de material, aberturas de los puntales y capacidad de carga.

Existen puntales “FUERTES” y “SP”. Los puntales fuertes son similares a los puntales normales, cuya diferencia es la capacidad de carga y alturas de carga, mientras que los puntales SP son puntales de aluminio, cuya capacidad de carga es mayor y su peso es menor a los puntales normales y fuertes.

A continuación, se indican las aberturas de cargas y la capacidad de carga de los puntales normales y puntales SP.

Tabla 5

PUNTALES						
ALTURA (m)	PUNTALE FUERTE			SP - 34	SP - 40	SP - 50
	2.10 m - 3.65 m	2.35 m - 4.00 m	3.65 m - 5.25 m	2.00 m - 3.40 m	2.50 m - 4.00 m	3.90 m - 5.00 m
2				26		
2.1	26			26		
2.2	26			26		
2.3	26			26		
2.35	26	22.5		26		
2.4	26	22.5		26		
2.5	26	22.5		26	28	
2.6	26	22.5		26	28	
2.7	26	22.5		25.3	28	
2.8	26	22.38		24	28	
2.9	24.83	22.25		22.5	28	
3	23.67	22.13		21	28	
3.1	22.5	22		19.3	28	
3.2	20.83	21.32		17.5	28	
3.3	19.31	20.64		16.5	27	
3.4	17.94	19.95		15.8	26	
3.5	16.86	19.27			25	
3.6	15.19	18.59			24	
3.65	14.5	18.25	15		23.25	
3.7		17.57	14.66		22.5	
3.8		16.21	13.97		21	
3.9		14.86	13.28		19.5	22
4		13.5	12.59		18	22
4.1			12.06			22
4.2			11.67			22
4.3			11.29			22
4.4			10.9			22

4.5			8.44			22
4.6			8.16			22
4.7			7.88			21.63
4.8			7.6			21.25
4.9			7.1			19.88
5			6.6			18.5
5.1			6.1			
5.2			5.6			
5.25			5.4			

Tabla 5: Capacidad de carga de los puntales dependiendo de la apertura.

Nota: RECUPERADO de "Encofrado horizontal ENKOFLEX", de ULMA, (24/07/2017). Recuperado de https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/84988/CATALOGO_VIGAS-y-TABLEROS_ES.pdf

1.2.6 Trípode

Son accesorios metálicos parte de este sistema de encofrado. Tal y como su nombre lo indica es un trípode, cuya función es la de brindar estabilidad a los puntales. Estos accesorios son colocados en la base de cada puntal, los cuales pueden ser colocados una vez que el puntal fue colocado y regulado.

Fotografía 15



Fotografía 15: Trípode. Colocados en la base de los puntales.

1.2.7 Barandillas de seguridad

Dado que actualmente el tema de la seguridad industria es primordial para garantizar seguridad a los trabajadores, puesto que la vida de ellos es lo principal en una construcción. Es por ello que este mecanismo de seguridad denominado barandillas de seguridad se adapta al sistema Losaflex.

Imagen 2

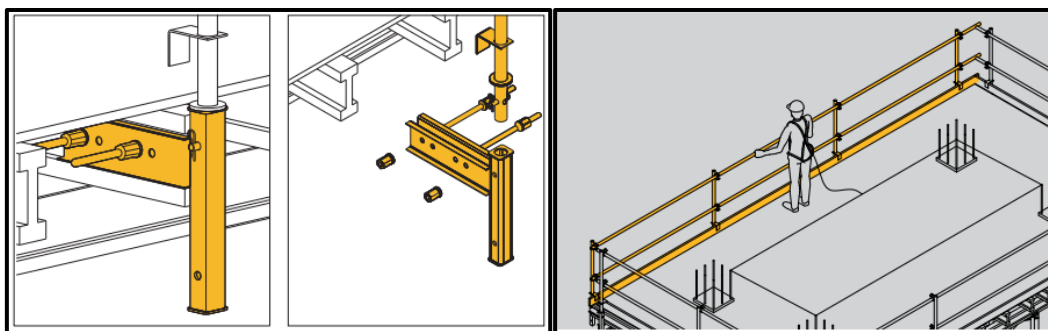


Imagen 2: Barandilla de seguridad. Se indica en la figura la colocación de los soportes de las barandillas y de las barandillas (ULMA, 2009).

Según ULMA, El Soporte Barandilla se amarra por medio de dos Pasadores cortos 0,35 y Tuercas Hexagonales a los orificios, previamente realizados, de la Viga VM 20. Se puede montar sobre la viga de primera tramada, así como sobre la de segunda tramada. El Pie de Barandilla sirve de soporte para la colocación de las Barandillas frontales y laterales. Se fija por medio de un bulón $\varnothing 14$ y otro pasador en R-3. En la parte inferior posee una L corredera para la colocación del Rodapié. Los Largueros se fijan al Pie de Barandilla por medio de unas bridas con cuñas, y protegen el perímetro del forjado.

De esta forma se asegura las condiciones de trabajo en altura, creando un pasamano temporal, el cual permite que los trabajos se realicen con mayor seguridad y eficientemente.

2. CAPÍTULO 2: FACTIBILIDAD CONSTRUCTIVA

En el presente capítulo se describirá las ventajas y desventajas encontradas en la utilización del sistema tradicional y el sistema Losaflex para el encofrado de vigas y losas. Es necesario primero describir el procedimiento constructivo de ambos tipos de encofrado, para posteriormente analizar cuáles son sus debilidades y fortalezas.

Se realizó una investigación en campo en dos edificios en construcción en la ciudad de Quito, con la finalidad de observar el proceso constructivo de los encofrados, y de esta manera llegar a determinar las diferencias entre ambos sistemas.

A continuación se detalla la información de los edificios utilizados para la investigación.

Edificio A:

Fotografía 16



Fotografía 16: Edificio A, encofrado con el sistema tradicional.

- Edificio de 10 pisos
- Estructura de hormigón armado
- Losa maciza de 10 cm de espesor sobre vigas descolgadas.
- El área de la losa encofrada es de: 298.67 m²

- La longitud de las vigas principales descolgadas encofradas es de: 126.05 metros
- La longitud de las vigas secundarias descolgadas encofradas es de: 107.40 metros
- Se visitó el encofrado de toda la estructura.

Edificio B

Fotografía 17



Fotografía 17: Edificio B, encofrado con el sistema LosaFlex.

- Edificio de 16 pisos
- Estructura de hormigón armado
- Losa maciza de 15 cm de espesor sobre vigas descolgadas.
- El área de la losa encofrada es de: 1360.98 m²
- La longitud de las vigas descolgadas encofradas es de: 197.30 metros
- Se visitó el encofrado de las de los pisos 6, 8 y 9

Las características estructurales de ambos edificios son similares, debido a que los dos proyectos constan de losa sobre vigas descolgadas. La diferencia es que en el edificio A, existen vigas descolgadas principales y secundarias, mientras en el edificio B presenta únicamente vigas principales. Por lo tanto el área de encofrado de la losa en el edificio B

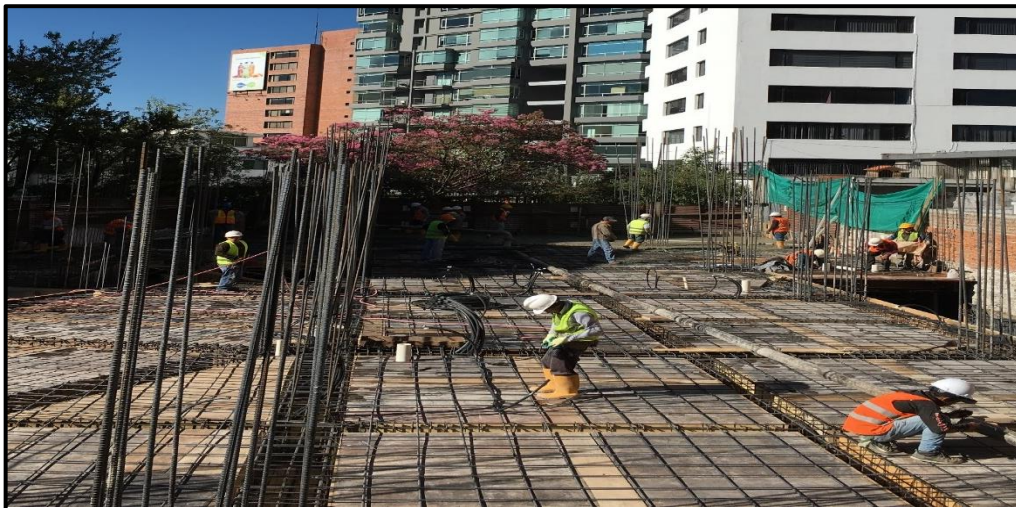
es seguida, es decir, que el encofrado del fondo de losa es continuo al no tener que encofrar vigas secundarias.

Lo ideal en esta investigación sería que condiciones como mano de obra, sistema estructural y geometría de los proyectos deberían ser las mismas para concluir con certeza cual sistema es mejor. Sin embargo con finalidad de ver que tan factible es el nuevo sistema propuesto la investigación es válida, ya que existen similitudes en sistema estructural y se asume que la mano de obra es la misma.

Es necesario aclarar que en este trabajo no se realiza el diseño del encofrado, por lo que se toma el diseño que la empresa proveedora del encofrado ofrece como solución para los dos casos de análisis.

2.1 Sistema tradicional de encofrado.

Fotografía 18



Fotografía 18: Losa encofrada mediante el sistema tradicional

2.1.1 Proceso constructivo del encofrado.

El proceso de encofrado está relacionado con el armado, hormigonado y desencofrado. Estas tareas están involucradas unas con otra, por lo que todas afectan directamente al encofrado. El procedimiento para el encofrado tradicional es el siguiente:

- Primero se realiza el replanteo de los ejes de vigas tanto principales como secundarias, en el caso de que existan vigas secundarias.
- Se abre los puntales hasta la altura necesaria, con la particularidad de que los puntales se abren cada 10 cm y se ajusta hasta la altura exacta a la cual tiene que ser encofrada la superficie, tomando en cuenta el espesor del tablero, para llegar al nivel de piso terminado requerido.

Fotografía 19



Fotografía 19: En esta imagen se puede ver como se inicia los procesos del encofrado, con la colocación de puntales y crucetas, una vez replanteados los ejes de las vigas.

- Se coloca las crucetas entre puntales para estabilizar y evitar movimiento de los mismos.
- Se montan las viguetas sobre los puntales.

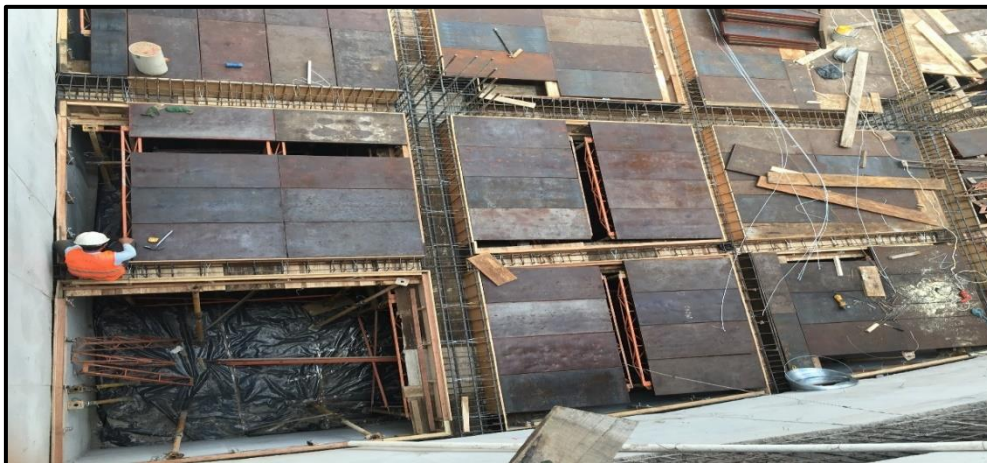
Fotografía 20



Fotografía 20: En esta fotografía se puede ver la instalación de los puntales y viguetas. El tablero colocado solo es una guía para la separación entre viguetas.

- Se coloca los tableros metálicos o de madera sobre las viguetas, es necesario ajustar los tableros a las viguetas por medio de alambre galvanizado, para evitar el desplazamiento de los mismos.

Fotografía 21



Fotografía 21: En esta fotografía se puede apreciar la colocación de los tableros metálicos.

- De ser necesario debido a la geometría de la superficie a encofrar se deberán realizar los remates, que no es nada más que completar los espacios faltantes que no han podido ser cubiertos por los tableros metálicos o de madera, con pedazos de madera.
- Se continúa con el armado de vigas y losa.

- Por último, se procede con el hormigonado.

En caso de que la losa no se tenga que encofrar al mismo nivel que las vigas, debido a que el sistema estructural es losa sobre vigas descolgadas el procedimiento de encofrado es el siguiente:

- Se realiza el mismo procedimiento hasta el punto 5. Con la diferencia de que el tablero instalado es únicamente de madera, ya que sobre este se tendrá que colocar los tableros laterales de madera para conformar las vigas principales y secundarias.

Fotografía 22



Fotografía 22: *Se muestra la colocación de tableros de madera para vigas, el armado de las vigas y el inicio de la colocación de los tableros laterales.*

- Luego se realiza el armado tanto de vigas principales como secundarias, en el caso de que existieran vigas secundarias.
- Se coloca los tableros laterales de madera para conformar las vigas descolgadas. Se debe asegurar estos tableros, perforando transversalmente por ambos lados de la viga al tablero, y ajustarlo con alambre de entorche. Esto es necesario para garantizar la geometría de las vigas y evitar que se desplacen y así evitar pérdidas de hormigón durante el hormigonado.

Fotografía 23



Fotografía 23: En esta fotografía se puede ver la colocación de los tableros laterales.

- Una vez encajonadas las vigas, se realiza el procedimiento previamente descrito de encofrado de la losa.

El procedimiento del desencofrado es el siguiente:

- Primero se retiran todas las crucetas colocadas entre los puntales. Para retirar las crucetas no es necesario que el hormigón alcance cierta resistencia, es decir, que estos elementos pueden ser retirados al día siguiente de fundir la losa.
- El siguiente proceso se realiza una vez que el hormigón adquiere la resistencia esperada. Se retiran todos los puntales colocados debajo de las vigas y losa, empezando desde el exterior hacia el interior.
- Se retiran las viguetas, las que fueron sujetas contra el tablero.
- A continuación, se procede con el desmontaje de los tableros metálicos, de madera y retazos de madera utilizados para remates.
- Por último en caso de ser necesario, se retiran los tableros laterales.

Fotografía 24



Fotografía 24: En esta imagen se puede ver el desencofrado de los tableros laterales de vigas.

2.1.2 Ventajas y Desventajas del sistema tradicional.

2.1.2.1 Ventajas del sistema tradicional.

a) Disponibilidad en el mercado.

En el Ecuador el sistema tradicional de encofrados presenta una gran ventaja, la cual es la alta disponibilidad en el mercado. Existe un gran número de empresas proveedoras de encofrado tanto para venta como alquiler de cada uno de los elementos que conforman dicho sistema.

Por otro lado la fabricación de ciertos elementos que forman el sistema, como tableros de madera es sencilla, es decir, el proceso de fabricación es fácil, no quiere decir que sea rápido, y los materiales necesarios para su fabricación son abundantes en el medio.

Por tales motivos se puede ver que el sistema tradicional actualmente es seleccionado con frecuencia debido a la abundante disponibilidad en el mercado y gracias a las facilidades para la fabricación de los elementos.

b) Experiencia con el proceso constructivo.

El nombre de “Sistema tradicional de encofrado” utilizado en esta investigación, se basa en la experiencia del proceso constructivo y materiales que generalmente han sido utilizados en el país. En el Ecuador usualmente no se realiza un diseño del encofrado, puesto que los materiales, procesos y áreas a encofrar son bastante conocidos por constructores y obreros, esto no quiere decir que sea correcta la no utilización de un diseño, si no es lo que sucede en la práctica con la construcción ecuatoriana.

La experiencia y conocimiento adquirido sobre el proceso del encofrado tanto de obreros y constructores es sin dudas una ventaja, ya que el constante uso de esta forma de encofrar, ha permitido que los trabajadores se conviertan en expertos, permitiéndoles realizar dicha tarea con exactitud y seguridad.

2.1.2.2 Desventajas del sistema tradicional.

a) Tiempo de instalación.

Si bien este sistema es el más utilizado, no se quiere decir que el tiempo empleado para instalar el encofrado sea eficiente. Después de visitar el edificio A, donde se midió los tiempos de montaje del encofrado se puede apreciar que el tiempo de instalación necesario para el sistema tradicional puede ser considerado como una desventaja.

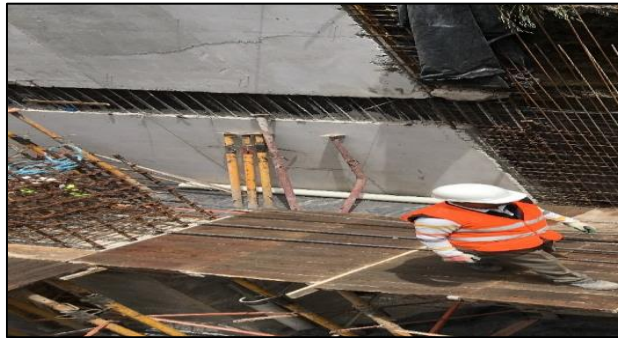
Existen varias razones por las que se considera que el tiempo de montaje de este sistema no es eficiente. Primero tenemos elementos pesados difíciles de manipular, como el caso de las viguetas metálicas. También se podría decir que las secciones de los tableros son pequeñas, por lo tanto se debe utilizar un gran número de piezas para cubrir un área. Por último tenemos que la accesibilidad a la losa es interrumpida por las crucetas, por lo que trasladar materiales se torna complicado, haciendo que el tiempo para completar esta tarea larga.

b) Desperdicios.

Sin dudas la gran cantidad de desperdicios generados en este sistema hacen que este encofrado se vuelva ineficiente. Existen desperdicios en los elementos del encofrado y de hormigón. A continuación se mencionan las causas de la producción de los desperdicios:

El hecho de que no se diseñe el encofrado hace que se tienda a sobrecargar los elementos, por lo tanto viguetas, tableros y puntales son susceptibles a fallos, generando desperdicios en de los elementos del encofrado y de hormigón.

Fotografía 25



Fotografía 25: En la imagen se aprecia un puntal que sufrió un fallo.

Una limitada variedad de dimensiones de los tableros hace difícil la cobertura de la losa, por lo que se recurre a la utilización de tableros de madera con medidas específicas para cubrir el área que no se alcanza a cubrir con los tableros estándar. Por lo tanto, al cortar pedazos de madera, tableros o viguetas a medidas específicas, se generan retazos que no son aptos para ser reutilizados, convirtiéndose en residuos.

El tipo de madera seleccionada para la elaboración de tableros no es de buena calidad, porque no existe la concepción del hormigón visto, y la para un hormigón visto se necesita de una mejor calidad de madera. Por lo tanto al utilizarse una calidad deficiente de madera, se tendrá un mayor número de tableros con fallas y así una mayor cantidad de residuos.

Fotografía 26



Fotografía 26: Se muestra la cantidad de desperdicios de madera después de encofrar una losa.

Al ser el desencofrado un proceso, donde se deben retirar un gran número de elementos que no se encuentran en la superficie y fuertemente sujetos, se vuelve un proceso lento e incómodo. No todos los elementos se pueden retirar con la misma facilidad, ya que son de diferentes materiales y secciones. En el caso de los tabones de madera, utilizados para remates, su desencofrado genera una gran cantidad de residuos, ya que al despegarlos de la losa suelen partirse, debido a su pequeña sección, esbeltez o calidad deficiente de madera.

Los desperdicios sin duda es una desventaja al sistema pues implica gastos de desalojo, gastos para suplir el material desperdiciado. Por otro lado, hoy en día el tema medio ambiental es de carácter obligatorio, y los desperdicios en la construcción es un tema que se deberá considerar al momento de seleccionar un material.

c) **Peso.**

Un problema que se presenta con las viguetas metálicas de 2 y 3 metros es su peso elevado. El peso es un factor que dificulta al transporte, acarreo y manipulación de las mismas. En un edificio la elevación del material a la zona de trabajo se constituye un problema, por lo que entre más pesado sea dicho material se tendrán más dificultades para elevarlo. Por otro lado el acarreo y manipulación del mismo necesitara de un número

mayor de trabajadores. Por estos motivos el excesivo peso es una desventaja de este sistema.

d) Accesibilidad a la losa inferior.

Es necesario para el acarreo de materiales y equipo que la superficie donde se vaya a trabajar presente condiciones adecuadas tanto de limpieza como de espacio, para que los trabajos se realicen sin peligros, fácil y rápidamente.

En esta forma de encofrar se utilizan crucetas, las cuales son colocadas entre dos puntales, y están ubicadas transversalmente y en forma de cruz a los puntales. Es por tal motivo que el paso se ve interrumpido, lo que genera dificultades para el acarreo de materiales, tal como se muestra en la fotografía.

Fotografía 27



Fotografía 27: En la imagen se puede ver claramente ubicación de las crucetas y la incomodidad que representaría el acceso a la losa inferior, puesto que las crucetas se colocan en sentido longitudinal y transversal.

Fotografía 28



Fotografía 28: *Se observa claramente como el trabajador queda cercado por el encofrado, lo que limita y dificulta su movimiento.*

Por otro lado es importante que un trabajador controle que el encofrado se comporte adecuadamente en el momento del hormigonado, es decir, que no falle ningún elemento del encofrado y así evitar pérdidas de concreto. Para ello es importante que el espacio inferior, losa, a la losa que está siendo encofrada, tenga una adecuada accesibilidad para controlar el encofrado, nivelar, ajustar y transportar materiales a distintos puntos de la losa.

e) El número de usos.

Son varios los elementos que conforman este sistema y de distintos materiales. Tenemos básicamente elementos metálicos y de madera. Una de las desventajas observadas en la investigación es el pequeño número de usos que se les da a los elementos de madera.

Los tableros para fondos de vigas fabricados a partir de madera tiene aproximadamente 5 usos en buen estado, después de este número el tablero puede ser utilizado nuevamente pero con la particularidad de fallar mientras los trabajadores caminan sobre el o durante el hormigonado, producir un mal acabado del hormigón, generar superficies curvas debido a los alabeos de la madera, etc.

De la misma manera los remates realizados en madera ya sea para viguetas, tableros laterales, alzas para vigas secundarias, losas y ductos tienen un número de usos aún más

reducido, ya que en el mejor de los casos pueden utilizarse dos veces, después de esto se convierten leña. Esto se da gracias a la mala manipulación, sus secciones esbeltas y pequeñas son desencofradas sin cuidados, la falta de limpieza y exposición a la humedad hacen que la madera sea un material muy vulnerable.

El número de usos es tomado como referencia del edificio A, en donde se ocupaban cerca de 5 a 6 veces los tableros de fondo de vigas y 2 veces los tablones para remates de losa.

Por otro lado los elementos metálicos generalmente tienen un número alto de usos, lo que podría ser considerado como una ventaja. Sin embargo el problema se presenta que al no existir un diseño del encofrado, se tienen a cargar excesivamente elementos como puntales, viguetas y tableros, debilitándolos o simplemente dañándolos, por lo que es necesario un mantenimiento permanente.

Por tales motivos los tableros de madera y madera utilizados en el encofrado tienen un número muy limitado de usos. Mientras los elementos metálicos tienen un número alto, siempre y cuando no se los sobrecargue hasta fallar, donde se convertirán en chatarra.

f) Dificultades para el desencofrado

Al tener este sistema un gran número de elementos instalados y de peso considerable, hacen que el desencofrado sea lento, difícil y peligroso. En esta forma de encofrar se utilizan tableros metálicos de secciones pequeñas, por lo que para cubrir un área específica se necesita de un número alto de unidades, de esta manera se deberá desencofrar esta cantidad, lo que hace largo al proceso.

Por otro lado, el peso de tableros y viguetas es considerable, y más si tomamos en cuenta que el desencofrado se lo realiza desde abajo, por ende una vez que se desprenda cualquier elemento, como un tablero, el obrero tendrá que tener la fuerza necesaria para recibir el

tablero desprendido y evitar que estos caigan al piso, ya que puede lastimar a sus compañeros o dañar el elemento.

2.2 Sistema LosaFlex.

Para observar cuál es el proceso constructivo del sistema LosaFlex, sus ventajas y desventajas, se visitó el edificio B.

2.2.1 Proceso constructivo del sistema LosaFlex.

El proceso de encofrado de una vigas y losas con el sistema LosaFlex incluye los trabajos de encofrado y desencofrado, pero involucra los rubros como el armado y hormigonado, ya que son actividades que tiene una dependencia.

Imagen 3

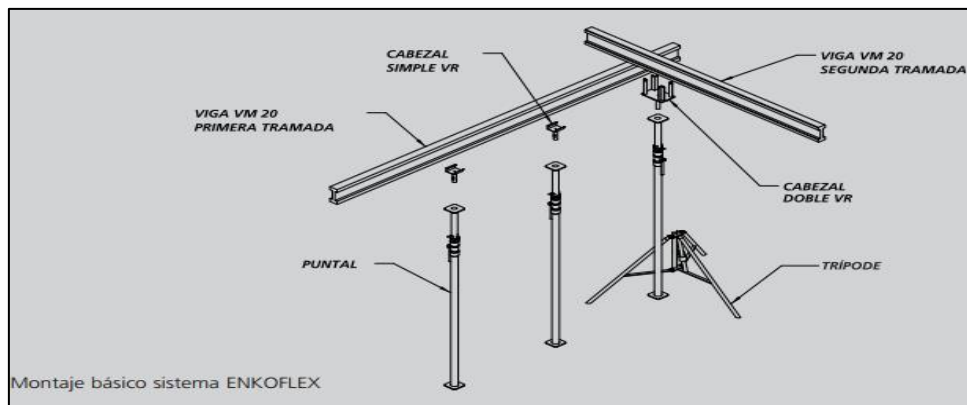


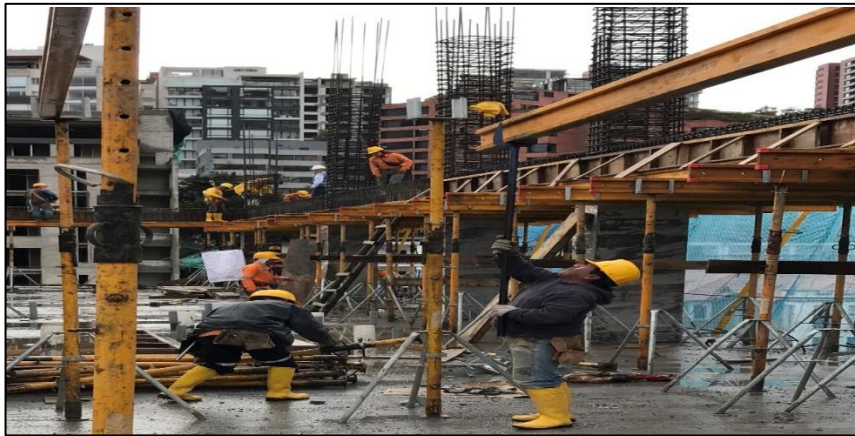
Imagen 3: Sistema e encofrado LosaFlex (ULMA, 2009).

El proceso de encofrado usando el sistema LosaFex es el siguiente:

- Replantear los ejes de vigas.
- Abrir los puntales hasta la altura deseada, únicamente los puntales principales. Los puntales principales son los que se colocan en el principio y fin de las vigas.
- Colocar el cabezal doble VR sobre el puntal. Se colocará este tipo de cabezal únicamente en los puntales principales.

- Colocar el trípode en la parte inferior del puntal y ajustarlo.
- Colocar las vigas VM 20 de la primera tramada, longitudinal al eje de las vigas, sobre el cabezal doble VR. La instalación de las vigas se realiza mediante un elemento llamado diablo, el cual tiene la forma de un trinche, con el que levantan las vigas VM 20 para colocarlas dentro del cabezal doble VR.

Fotografía 29



Fotografía 29: Colocación de las vigas de la primera tramada con ayuda del diablo (trinche).

- A continuación, se coloca las vigas VM 20 de la segunda tramada, transversalmente a las vigas de la primera tramada.

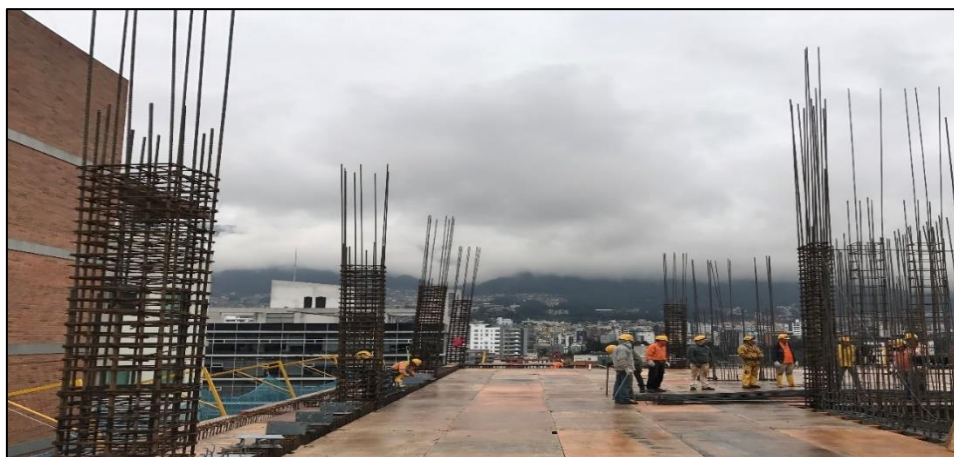
Fotografía 30



Fotografía 30: Colocación de las vigas de la segunda tramada.

- Una vez colocadas las vigas en los dos sentidos se coloca el tablero sobre las vigas de la segunda tramada. Se asegura el tablero a las vigas de madera con clavos, la distribución de los clavos se la realiza con diferencia de una viga, es decir, el tablero no se asegura en todas las vigas.

Fotografía 31



Fotografía 31: Instalación de los tableros sobre las vigas VM 20.

- Opcionalmente y paralelamente a la instalación del tablero, se puede colocar el sistema de seguridad propio del sistema LosaFlex o cualquier otro tipo de seguridad industrial.

- Se realiza la nivelación a los puntales con el objetivo de garantizar un nivel exacto de piso terminado.
- Finalmente se realiza el proceso de reapuntalamiento. Este proceso consiste en colocar los puntales intermedios o secundarios junto con el cabezal simple VR a una altura exacta, es decir, hasta que estén en contacto con la viga de la primera tramada.

Fotografía 32



Fotografía 32: El proceso del reapuntalamiento fue finalizado, se puede ver en los puntales intermedios.

- Finalmente se comprueba que el nivel del encofrado no se haya modificado con la instalación de los puntales intermedios. Y se continúa con el hormigonado.

Nota: Si el sistema estructural es una losa plana, es decir, que las vigas se encofran al mismo nivel de la losa, se deberá realizar el procedimiento antes mencionado. Caso contrario donde las vigas no se encofran al mismo nivel de la losa se procede de la siguiente manera.

- Se realiza el mismo procedimiento anterior hasta el punto 7, a diferencia de que el tablero colocado, es el tablero base para las vigas descolgadas.
- Se continúa con el procedimiento de nivelación y re apuntalamiento del tablero de la viga descolgada.

Fotografía 33



Fotografía 33: Encofrado de vigas descolgadas.

- Se coloca los tableros laterales de las vigas descolgadas.

Fotografía 34



Fotografía 34: Tableros laterales en vigas.

- Se realiza el proceso mencionado para encofrar las vigas y losa al mismo nivel.

El proceso desencofrado se realiza una vez que el hormigón ha adquirido su resistencia esperada. El proceso de desencofrar es el siguiente.

- Primero se debe retirar los puntales intermedios junto con los cabezales simples VR.

- Una vez retirados estos puntales, se afloja los puntales principales una pequeña distancia para que las vigas de madera descendan levemente.
- Se separa las vigas secundarias del tablero, las que hayan sido sujetadas en el encofrado al tablero.
- Se retiran las vigas secundarias.
- Posteriormente se despega el tablero de la losa, dejándolo caer sobre las vigas principales y una vez que el tablero se encuentra totalmente libre se procede a retirar.
- A continuación, se retiran las vigas principales.
- Finalmente se retiran los puntales, cabezales dobles y trípodes.

El éxito del proceso del desencofrado está en el uso de un producto desmoldante, el cual debe ser aplicado sobre el tablero previo a la colocación de este. Una correcta aplicación y en cantidad adecuada ayudaran a que los tableros sufran el mínimo daño en el momento de ser retirados.

2.2.2 Ventajas y desventajas del sistema LosaFlex.

2.2.2.1 Ventajas del sistema LosaFlex.

a) Rápida instalación

En sistema Losa Flex está conformado de varios elementos, más que el sistema tradicional, pese a esto su instalación es muy rápida. Una de las razones por las cuales se tiene una rápida instalación, es que las vigas más largas del encofrado son de 5.9 metros de longitud, por lo tanto, si se utilizan dichas vigas se cubrirá el área a encofrar rápidamente con un número pequeño de elementos a instalar.

Por otro lado estos elementos son considerablemente livianos, lo que permite que un obrero pueda levantar una viga en un corto tiempo, que no se fatigue y así puede instalar una gran cantidad de vigas en una jornada de trabajo.

Otra característica en la instalación es que no es necesario colocar todos los puntales que van a sostener las viga de madera al inicio, teniendo la posibilidad de hacerlo en el reapuntado. Lo que sin dudas es una ventaja, ya que se puede realizar el reapuntado, mientras se realizan trabajos paralelos como el armado de vigas, colocación de tableros laterales de vigas, armado de losa, etc., así el proceso como tal del encofrado se reduce ya que se puede tener actividades simultaneas.

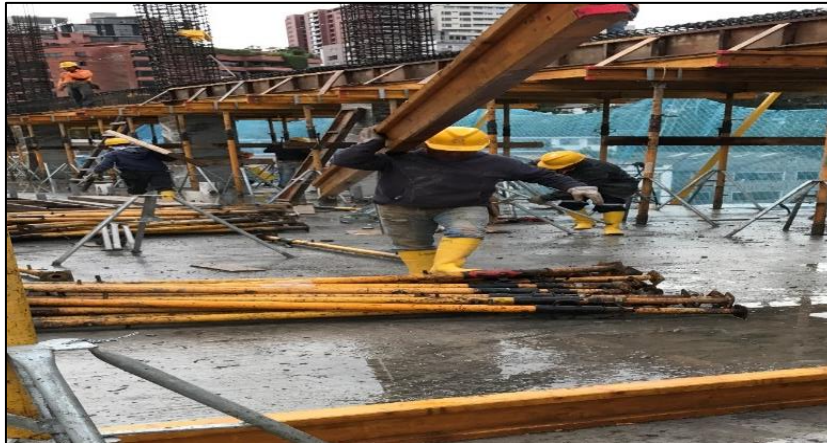
b) Fácil manipulación

Sin dudas el peso de las vigas de madera es una característica de muchísima importancia al momento de manipularlas, ya que un obrero puede levantar fácilmente una viga de 6 m de longitud sin la ayuda de ningún ayudante.

Por otro lado, elementos como cabezales, vigas y tableros se pueden instalar fácilmente, es decir, solo se montan y no se tiene que ser sujetados o clavados en muchas partes. En el caso de los cabezales simplemente se debe insertar en el puntal y se queda fijo, las vigas principales de madera se deben montar sobre los cabezales y las vigas secundarias sobre las vigas principales, y por último el tablero se monta sobre las vigas secundarias.

Estos elementos formados a partir de una combinación de maderas son excesivamente livianos, lo cual permite que los obreros puedan manipularlos de manera sencilla, lo que es considerado como una ventaja para disminuir los tiempos del encofrado total.

Fotografía 35



Fotografía 35: Se ve la facilidad con la cual un trabajador carga una viga de 5.90 metros de longitud.

c) Gran número de usos

Según ULMA, el número de usos es de 50 veces en buen estado, para las vigas de madera. Esta característica fue observada y comprobada en obra, ya que las vigas de madera no sufrieron daños considerables, gracias a que cuentan con protecciones de plástico en los cantos protegiéndolas contra impactos, no son vulnerables a la humedad o líquidos como la lechada del hormigón, la colocación de clavos no afecta en gran medida, etc., lo que hace al producto confiable.

d) Adaptable a cualquier geometría

Uno de los problemas que se presenta en el encofrado de losas son los remates contra muros o bordes de losas trapezoidales. Tal como lo plantea ULMA, existen dos casos frecuentes que generan problemas para el encofrado, los cuales son los remates a bordes diagonales e interferencia de pilares. De la misma forma ULMA presenta la solución que se tendría con el encofrado, la cual se muestra a continuación.

Imagen 4

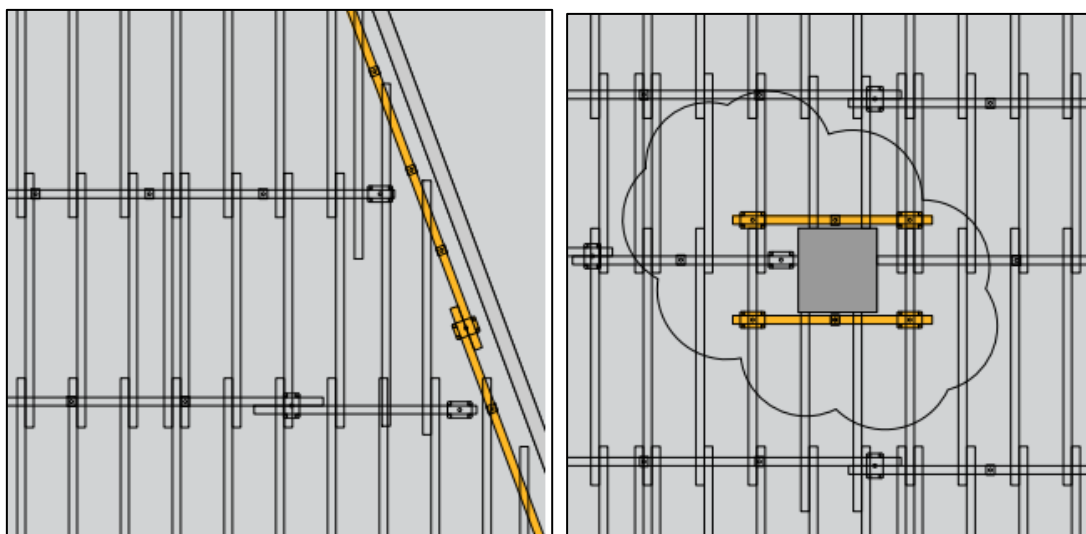


Imagen 4: En estas imágenes se puede ver la claramente la disposición de las vigas de madera para solucionar la geometría e interferencias presentes en el encofrado de losa (ULMA, 2009).

e) Accesibilidad y Control

La movilidad y comodidad de los obreros es fundamental para acelerar una tarea, en este caso al no haber elementos transversales que interfieran con la circulación de los trabajadores es una ventaja de este encofrado. Gracias a esto se puede tener una mejor circulación de personal, transporte de material, control durante el hormigonado, etc. En la siguiente fotografía se puede ver la disposición del encofrado y la facilidad que se tiene para la circulación.

Fotografía 36



Fotografía 36: En la figura se ve la amplitud y comodidad para desplazarse por debajo de la losa encofrada.

f) No genera cantidades altas de residuos

La poca generación de residuos por parte de este encofrado representa una ventaja, ya que se convierte en un ahorro y es más amigable con el medio ambiente. La reducción en la cantidad de desperdicios se debe a la utilización de tableros de secciones grandes, por lo tanto, se cubre una mayor área con una pequeña cantidad de piezas, reduciendo el área a rematar o necesitando de un tablero no tan esbelto para el remate, lo que sin dudas es ventajoso, ya que al desencofrar piezas más grandes se tiene menos desperdicios.

g) Fácil y rápido desencofrado

El tiempo que se debe esperar para desencofrar no se puede alterar a menos que se utilicen aditivos para el hormigón, pero lo que sí se puede agilizar es el tiempo para desencofrar y la cantidad de recursos para llevar a cabo ese desencofrado.

Es importante que el desencofrado sea rápido, seguro, fácil y sin dañar el material, ya que este podría tener algunos destinos después de cumplir su tarea. Por ejemplo puede ser utilizado para el encofrado de una nueva losa o ser devuelto en el caso de que sea alquilado, y así reducir costos al proyecto. Por último que mejor que el material que está

siendo desencofrado no sufra daños, evitado que se tenga que adquirir más material o pagar por un encofrado alquilado que no puede ser ocupado nuevamente.

LosaFlex te permite tener un desencofrado rápido, porque se puede bajar el nivel de las vigas, es decir, se baja las vigas a una altura donde sea fácil retirarlas, gracias a que las vigas no se encuentran sujetas al tablero de losa. De esta forma se lleva a cabo el proceso del desencofrado rápidamente y eficientemente ya que no se tiene que trabajar en altura y reduciendo los daños de los elementos al desencofrar.

2.2.2.2 Desventajas del sistema LosaFlex.

a) Escases de proveedores en mercado

La mayor limitación de este sistema es la escasez de proveedoras en el país, siendo BAGANT la única empresa que brinda este servicio.

b) Luces cortas (distancia entre columnas muy pequeñas)

Una luz es el espacio libre que existe entre columna y columna, y luces cortas es una desventaja al momento de considerar este sistema. Tener luces cortas no quiere decir que el montaje del sistema no se lo pueda ejecutar, más bien es un tema de que tan productivo podrá llegar a ser. Una luz corta se podría considerar menor a 3 metros.

Existen algunas longitudes de vigas de madera disponibles, de las cuales las más pequeñas deberían ser utilizadas en luces cortas o la que se ajuste a la longitud requerida. Sin embargo esto no representaría un problema, sino un tema de optimización de elementos y tiempo, ya que si se utilizan las vigas más largas, 6 metros, se optimiza elementos y tiempo, por ende se es más productivo y el tiempo de encofrado es menor.

3. CAPITULO 3: ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

En el presente capítulo se calculará el precio unitario del encofrado tanto para el sistema tradicional como el sistema LosaFlex, en los dos tipos de losas analizadas. Se calculará el precio unitario suponiendo que el encofrado es alquilado únicamente, ya que el encofrado LosaFlex no está disponible a la venta.

Los precios unitarios están conformados por costos directos e indirectos. Los costos directos están compuestos de 4 componentes, los cuales son equipo, mano de obra, materiales y transporte. Y los costos indirectos son costos que no están presentes físicamente en el proyecto como costos administrativos, etc.

Los valores de los costos de la mano de obra y materiales serán tomados de la revista de la cámara de la construcción ecuatoriana, del mes de septiembre – Octubre, del año 2017. Mientras los costos del equipo de encofrado tradicional y Losaflex serán cotizados por la empresa BAGANT, cuyo costo es de alquiler mensual para una losa completa.

Para la determinación del rendimiento es necesario conocer el tiempo en el cual un cierto grupo de trabajadores llevan a cabo una tarea, es decir, el tiempo necesario para completar el encofrado de una losa para cada sistema.

Antes de continuar con el desarrollo de los costos hay que recordar que el edificio A fue encofrado con el sistema tradicional y el edificio B con el sistema LosaFlex.

Los cálculos del precio unitario del encofrado tradicional en el edificio A y del encofrado LosaFlex en el edificio B son reales, ya que el rendimiento fue medido en campo, por lo tanto, se tiene una medición del tiempo necesario para encofrar una losa por medio de los dos sistemas de encofrados. Mientras que para obtener el precio unitario del encofrado tradicional en el edificio B y del encofrado LosaFlex en el edificio A, se hará una

estimación de la duración, puesto que estos edificios no fueron encofrados con estos sistemas.

3.1 Duración del encofrado

Edificio A – Encofrado con el sistema tradicional

Para determinar los rendimientos del equipo de encofrado y mano de obra, es necesario conocer la duración del encofrado. Para ello se visitaron los edificios A y B.

Edificio A – Encofrado con el sistema tradicional.

Edificio B – Encofrado con el sistema LosaFlex.

A continuación, se presentan las características de trabajo en el edificio A.

- Fundición de losa cada 15 días calendario.
- Se utilizó un grupo de 7 carpinteros, 7 ayudantes de carpintero, 1 maestro mayor y 4 peones para el desencofrado.
- El encofrado total de la losa se realizó en 8 días laborables.
- La jornada de trabajo fue de 7:30 a 16:30, con una hora de almuerzo, es decir, 8 horas laborables.
- El área de la losa es de 298.67 metros cuadrados.

A continuación, se presentan las características de trabajo en el edificio B.

- Fundición de losa cada 8 días calendario.
- Se utilizó un grupo de 7 carpinteros, 7 ayudantes de carpintero, 1 maestro mayor y 3 peones para el desencofrado.
- El encofrado de la losa completa se realizaba en 4 días laborables.

- La jornada de trabajo fue de 7:00 a 17:00, con una hora de almuerzo, es decir, 9 horas laborables.
- El área de la losa es de 1360.98 metros cuadrados.

A continuación, se detallan las duraciones de las actividades en el edificio A utilizando el sistema tradicional:

- La colocación de tableros para fondos de vigas principales y secundarias fue de 126.05 metros y 107.40 metros respectivamente, y se realizó en 2.5 días.
- La colocación de tableros laterales para vigas principales y secundarias se realizó en 3 días los 233.45 metros de tableros lateral.
- El encofrado del tablero de fondo de losa fue de 203.36 metros cuadrados y se realizó en 4.5 días.
- La losa total tiene un área de 298.67 metros cuadrados y se encofro en 8 días laborales (64 horas).

El avance diario con el encofrado tradicional en el edificio A fue de:

$$x = \frac{298.67 \text{ m}^2}{8 \text{ dias}} = 37.5 \text{ m}^2/\text{dia}$$

A continuación, se detallan las duraciones de las actividades en el edificio B utilizando el sistema LosaFlex:

- La colocación de tableros para fondos de vigas principales fue de 149.6 metros y se realizó en 1 día.
- La colocación de tableros laterales se realizó en 1.5 días los 149.6 metros colocados de tableros.
- El encofrado del tablero de fondo de losa fue de 1232.68 metros cuadrados y se realizó en 2 días.

- La losa total tiene un área de 1360.98 metros cuadrados y se encofro en 4 días laborales (36 horas).

El avance diario del encofrado LosaFlex en el edificio B fue de:

$$x = \frac{1360.98 \text{ m}^2}{4 \text{ dias}} = 340 \text{ m}^2/\text{dia}$$

Puesto que en el edificio A no se encofro con el sistema LosaFlex y en el edificio B no se encofro con el sistema tradicional, se estimará la duración de las actividades con el encofrado no utilizado en cada caso, para posteriormente estimar un rendimiento. Por lo tanto, se realiza la siguiente comparación.

Estimación de la duración en el Edificio A con el sistema LosaFlex.

- Se estima la duración total del encofrado con el sistema LosaFlex en el edificio A, utilizando las duraciones del edificio B, el cual si fue encofrado con el sistema LosaFlex.

$$\frac{1360.98 \text{ m}^2}{298.67 \text{ m}^2} = \frac{36 \text{ horas}}{x}$$

$$x = \frac{1298.67 \text{ m}^2 * 36 \text{ horas}}{1360.98 \text{ m}^2} = 7.9 \text{ horas}$$

El tiempo que se demoraría en encofrar toda la losa del edificio A con el sistema LosaFlex sería 1 día, lo que es imposible, dado que solo el encofrado de tableros laterales abarca más de 1 día de trabajo. Por lo tanto, se estima la duración de la siguiente manera.

La colocación de tableros para fondos de vigas principales y secundarias tienen una duración de:

$$\begin{array}{r} 126.05 + 107.40 = 233.45 \text{ metros} \quad x \\ 149.6 \text{ metros} \quad 9 \text{ horas} \end{array}$$

$$x = \frac{233.45 \text{ metros} * 9 \text{ horas}}{149.6 \text{ metros}} = \mathbf{14 \text{ horas} = 1.75 \text{ días laborables}}$$

La duración de la colocación de tableros laterales sería la misma, ya que se tienen que encofrar la misma cantidad y los materiales utilizados son los mismos.

El encofrado de tableros de fondo de losa tiene una duración de:

$$\begin{array}{r} 1232.68 \text{ m}^2 \quad 18 \text{ horas} \\ 203.36 \text{ m}^2 \quad x \end{array}$$

$$x = \frac{203.36 \text{ m}^2 * 18 \text{ horas}}{1232.68 \text{ m}^2} = \mathbf{3 \text{ horas}}$$

La duración estimada de 3 horas para el encofrado de tableros de fondo de losa es imposible de cumplirla. La regla de tres utilizada no sería válida, ya que las condiciones como geometría y sistema estructural no son los mismos, ya que el área a encofrar en el edificio B no tiene interrupciones (vigas secundarias), es decir, es una losa plana, mientras en el edificio A si existen dichas vigas, por lo tanto, se estima que el encofrado de los tableros de losa se realicen en 3 días.

La losa del edificio A encofrada con el sistema LosaFlex se demoraría alrededor 6 días laborables.

El avance diario estimado con el encofrado LosaFlex en el edificio A es de:

$$x = \frac{398.67 \text{ m}^2}{6 \text{ días}} = \mathbf{50 \text{ m}^2/\text{día}}$$

Estimación de la duración en el Edificio B con el sistema tradicional.

- Se estima la duración total del encofrado con el sistema tradicional en el Edificio B, utilizando las duraciones del edificio A, el cual si fue encofrado con el sistema tradicional.

$$\frac{1360.98 \text{ m}^2}{298.67 \text{ m}^2} \quad x \quad 64 \text{ horas}$$

$$x = \frac{1360.98 \text{ m}^2 * 64 \text{ horas}}{298.67 \text{ m}^2} = \mathbf{291.6 \text{ horas} = 32.4 \text{ dias laborables}}$$

El tiempo que se demoraría en encofrar toda la losa del edificio B con el sistema tradicional sería de 32.4 días, tiempo excesivamente alto para llevar a cabo el encofrado de una losa. A continuación se presenta una nueva estimación.

La colocación de tableros para fondos de vigas principales tiene una duración estimada de:

$$\frac{126.05 + 107.40 = 233.45 \text{ metros}}{149.6 \text{ metros}} \quad 20 \text{ horas} \quad x$$

$$x = \frac{149.6 \text{ metros} * 20 \text{ horas}}{233.45 \text{ metros}} = \mathbf{12.8 \text{ horas} = 1.5 \text{ dias laborables (9 horas)}}$$

La duración en la colocación de tableros laterales sería la misma, ya que se utiliza los mismos materiales y se encofra la misma cantidad.

El encofrado de tableros de fondo de losa tiene una duración estimada de:

$$\frac{1232.68 \text{ m}^2}{203.36 \text{ m}^2} \quad x \quad 36 \text{ horas}$$

$$x = \frac{1232.68 \text{ m}^2 * 36 \text{ horas}}{203.36 \text{ m}^2} = \mathbf{218.22 \text{ horas} = 24 \text{ dias laborables (9 horas)}}$$

La duración de 24 días laborables para el encofrado de tableros para fondo de losa no es la correcta, ya que el área a encofrar en el edificio B no tiene interrupciones (vigas secundarias), es decir, es una losa plana, mientras en el edificio A si existen dichas vigas, por lo tanto se estima que el encofrado de los tableros de losa se realicen en 8 días laborables, de 9 horas al día.

Para finalizar el encofrado de la losa del edificio B encofrada con el sistema tradicional se demoraría alrededor de 12 días laborables, de 9 horas, aproximadamente.

El avance diario estimado del encofrado tradicional en el edificio B sería de:

$$x = \frac{1360.98 \text{ m}^2}{12 \text{ dias}} = 115 \text{ m}^2/\text{dia}$$

Para resumir las duraciones se presenta el siguiente cuadro:

Tabla 6

Avance diario del encofrado		
	Edificio A	Edificio B
Sistema tradicional	37.5 m ² /dia (real)	115 m ² /dia (estimado)
Sistema LosaFlex	50 m ² /dia (estimado)	340 m ² /dia (real)

Tabla 6: Avance diario del encofrado tradicional y LosaFlex en el edificio A y B.

3.2 Costo de los materiales

3.2.1 Costo de tableros de madera para fondos de viga de sección 1.20 x 0.60 metros.

Para la elaboración de un tablero de fondo de vigas se utiliza cuarterones de madera de monte de 6x4x120 milímetros, riel de eucalipto cepillada de 2x18x60 milímetros y clavos

de 2 pulgadas. En la siguiente tabla se muestra las cantidades necesarias de cada material para el tablero.

Tabla 7

Materiales		
Elemento #	Material	Cantidad
1	Cuarton de monte 6x4x120	2 u
2	Riel de eucalipto cepillada 2x18x60	9.23 u
3	clavos 2"	0.09 kg

Tabla 7: Materiales necesarios para elaborar 1 tablero de madera de 1.20 x 0.60 metros.

La cantidad de clavos se estima, ya que su costo es marginal.

Tabla 8

Precio tablero 1.20x0.60						
Dimension comercial	Unidad	Compra	% Desperdicio	Compra mayorada	P.U	P. Total
6x4x244	u	1	0	1	2.5	2.5
2x13x244	u	2.21	10	2.54	3	7.62
	kg	0.09	10	0.099	2	0.20
						10.32 \$

Tabla 8: Materiales, cantidades y precios para determinar el costo final de un tablero de 1.20 x 0.60 metros.

El precio del tablero es de 10.32 dólares considerando que el tablero se utiliza una vez, pero como se estima que el número de usos para el tablero es de 6 usos se tiene un costo de 1.72 dólares.

3.2.2 Costo de tableros laterales de 45 cm de alto para vigas de 60 cm de peralte.

Para la elaboración de tableros laterales de 45 centímetros de alto para vigas de 60 centímetros de peralte se necesita tablero triplex de 45x244 milímetros, cuartones de madera de monte de 6x4x244 milímetros, cuartones de madera de monte de 6x4x33 milímetros.

Tabla 9

Materiales		
Elemento #	Material	Cantidad
1	Cuarton de monte 6x4x244	2 u
2	Cuarton de monte 6x4x33	0.68 u
3	Tablero triplex de 45x244	0.37 u
4	Clavos 2"	0.08 kg

Tabla 9 Materiales necesarios para elaborar 1 tablero lateral de peralte de 45 cm.

Las cantidades de los materiales se calculan de la siguiente manera:

Tablero triplex de 45x244

$$\begin{array}{r} 1 \text{ tablero} \quad 122 \text{ cm} \\ x \quad \quad \quad 45 \text{ cm} \end{array}$$

$$x = \frac{1 \text{ tablero} * 45 \text{ cm}}{122 \text{ cm}} = 0.37 \text{ tableros}$$

Cuarton de monte 6x4x33

$$\begin{array}{r} 1 \text{ cuarton} \quad 244 \text{ cm} \\ x \quad \quad \quad 5 * .33 = 165 \text{ cm} \end{array}$$

$$x = \frac{1 \text{ cuartones} * 165 \text{ cm}}{244 \text{ cm}} = 0.68 \text{ cuartones}$$

Clavos 2"

$$\begin{array}{r} 1 \text{ kg} \quad 398 \text{ clavos} \\ x \quad \quad 32 \text{ clavos} \end{array}$$

$$x = \frac{1 \text{ kg} * 32 \text{ clavos}}{398 \text{ clavos}} = 0.08 \text{ clavos}$$

A continuación se calcula el precio del tablero.

Tabla 10

Precio del tablero lateral de 244x45x18							
Elemento #	Dimension comercial	Unidad	Compra	% Desperdicio	Compra mayorada	P.U	P. Total
1	6x4x244	U	2	0	2.00	2.5	5.00
2	6x4x244	U	0.68	10	0.75	2.5	1.87
3	122x244x18	U	0.37	5	0.39	37.93	14.74
4		Kg	0.08	10	0.088	2	0.20
							21.80

Tabla 10 Materiales, cantidades y precios para determinar el costo final de un tablero lateral de 45 cm de peralte.

El precio del tablero lateral de 244x45x18 centímetros es de 21.80 dólares considerando 1 solo uso, pero en el caso de la madera tripex el uso aproximado es de 10 veces, por lo tanto el precio es 2.18 dólares.

3.2.3 Costo de tableros laterales de 25 cm de alto para vigas de 40 cm de peralte.

En el edificio A se utilizó para encofrar las vigas secundarias de 25x40 centímetros, tableros laterales con un alto de 25 centímetros, es decir, se hace 15 centímetros menos de peralte que la viga ya que 10 centímetros ocupa la losa y 5 centímetros para el cuartón y tablero.

Para la elaboración de tableros laterales de 25 centímetros de alto para vigas de 40 centímetros de peralte se necesita tablero triplex de 25x244 centímetros, cuarterones de

madera de monte de 6x4x244 centímetros, cuartones de madera de monte de 6x4x13 centímetros.

Tabla 11

Materiales		
Elemento #	Material	Cantidad
1	Cuarton de monte 6x4x244	2 u
2	Cuarton de monte 6x4x13	0.27 u
3	Tablero triplex de 45x244	0.20 u
4	Clavos 2"	0.07 kg

Tabla 11: Materiales necesarios para elaborar 1 tablero lateral de peralte de 40 cm.

Las cantidades de los materiales se calculan de la siguiente manera:

Tablero triplex de 45x244

$$\begin{array}{r} 1 \text{ tablero} \quad 122 \text{ cm} \\ x \quad \quad \quad 25 \text{ cm} \end{array}$$

$$x = \frac{1 \text{ tablero} * 25 \text{ cm}}{122 \text{ cm}} = 0.20 \text{ tableros}$$

Cuarton de monte 6x4x33

$$\begin{array}{r} 1 \text{ cuarton} \quad 244 \text{ cm} \\ x \quad \quad \quad 5 * .13 = 65 \text{ cm} \end{array}$$

$$x = \frac{1 \text{ cuartones} * 65 \text{ cm}}{244 \text{ cm}} = 0.27 \text{ cuartones}$$

Clavos 2"

$$\begin{array}{r} 1 \text{ kg} \quad 398 \text{ clavos} \\ x \quad \quad 28 \text{ clavos} \end{array}$$

$$x = \frac{1 \text{ kg} * 28 \text{ clavos}}{398 \text{ clavos}} = 0.07 \text{ clavos}$$

A continuación, se calcula el precio del tablero.

Tabla 12

Precio del tablero lateral de 244x45x18							
Elemento #	Dimension comercial	Unidad	Compra	% Desperdicio	Compra mayorada	P.U	P. Total
1	6x4x244	U	2	0	2.00	2.5	5.00
2	6x4x244	U	0.27	10	0.30	2.5	0.74
3	122x244x18	U	0.20	5	0.21	37.93	7.97
4		Kg	0.07	10	0.077	2	0.15
							13.86

Tabla 12: Materiales, cantidades y precios para determinar el costo final de un tablero lateral de 40 cm de peralte.

El precio del tablero lateral de 244x25x18 milímetros es de 13.86 dólares considerando 1 solo uso, pero en el caso de la madera triplex el uso aproximado es de 10 veces, por lo tanto el precio es 1.39 dólares.

3.2.4 Costo de tableros laterales de 40 cm de alto para vigas de 65 cm de peralte.

En el edificio B se utilizó para encofrar las vigas principales de 40x65 centímetros, tableros laterales con un alto de 40 centímetros, es decir, se hace 25 centímetros menos de peralte que la viga ya que 20 centímetros ocupa la losa y 5 centímetros para el cuartón y tablero.

Para la elaboración de tableros laterales de 40 centímetros de alto para vigas de 65 centímetros de peralte se necesita tablero triplex de 40x244 centímetros, cuartones de madera de monte de 6x4x244 centímetros, cuartones de madera de monte de 6x4x28 centímetros.

Tabla 13

Materiales		
Elemento #	Material	Cantidad
1	Cuarton de monte 6x4x244	2 u
2	Cuarton de monte 6x4x28	0.57 u
3	Tablero triplex de 40x244	0.33 u
4	Clavos 2"	0.08 kg

Tabla 13: Materiales necesarios para elaborar 1 tablero lateral de peralte de 25 cm.

Las cantidades de los materiales se calculan de la siguiente manera:

Tablero triplex de 45x244

$$\begin{array}{r} 1 \text{ tablero} \quad 122 \text{ cm} \\ x \quad \quad \quad 40 \text{ cm} \end{array}$$

$$x = \frac{1 \text{ tablero} * 40 \text{ cm}}{122 \text{ cm}} = 0.33 \text{ tableros}$$

Cuarton de monte 6x4x33

$$\begin{array}{r} 1 \text{ cuarton} \quad 244 \text{ cm} \\ x \quad \quad \quad 5 * 28 = 140 \text{ cm} \end{array}$$

$$x = \frac{1 \text{ cuartones} * 140 \text{ cm}}{244 \text{ cm}} = 0.57 \text{ cuartones}$$

Clavos 2"

$$\begin{array}{r} 1 \text{ kg} \quad 398 \text{ clavos} \\ x \quad \quad 32 \text{ clavos} \end{array}$$

$$x = \frac{1 \text{ kg} * 32 \text{ clavos}}{398 \text{ clavos}} = 0.08 \text{ clavos}$$

A continuación se calcula el precio del tablero.

Tabla 14

Precio del tablero lateral de 244x45x18							
Elemento #	Dimension comercial	Unidad	Compra	% Desperdicio	Compra mayorada	P.U	P. Total
1	6x4x244	U	2	0	2.00	2.5	5.00
2	6x4x244	U	0.57	10	0.63	2.5	1.58
3	122x244x18	U	0.33	5	0.35	37.93	13.28
4		Kg	0.08	10	0.088	2	0.18
							20.04

Tabla 14: Materiales, cantidades y precios para determinar el costo final de un tablero lateral de 25 cm de peralte.

El precio del tablero lateral de 244x40x18 centímetros es de 20.04 dólares considerando 1 solo uso, pero en el caso de la madera tripex el uso aproximado es de 10 veces, por lo tanto el precio es 2 dólares.

3.2.5 Costo de materiales varios

Estos materiales son utilizados en cualquiera de los dos sistemas para realizar remates, sujetar elementos, etc. El costo de los materiales es tomado de la revista de la cámara de la construcción de Quito de Septiembre – Octubre, del 2017. Los precios de algunos materiales se indican a continuación en la siguiente tabla.

Tabla 15

Materiales					
Código	Materiales	Unidad	Dólares	# Usos	Costo
			P. unitario		
1	Tablones 244x30 cm	u	3	2	1.5
2	Tablero tripex 122x244x18 cm	u	37.93	10	3.79
3	Alambre galvanizado #18	Kg	1.52	1	1.52
4	Clavos de 2"	Kg	2	1	2

Tabla 15: Materiales que serán utilizados en los análisis de precios unitarios.

3.3 Costos de la mano de obra

Los salarios de la mano de obra son tomados de las revistas de la cámara de la construcción del mes de Septiembre – Octubre, del 2017. A continuación se muestran los salarios para las distintas categorías de mano de obra.

Tabla 16

Mano de Obra				
Código	Cuadrilla	Categoría	Salario horario	Salario diario
1	Albañil	III	3.299	26.39
2	Ayudante	II	3.259	26.07
3	Carpintero	III	3.299	26.39
4	Maestro de Obra	V	3.656	29.25
5	Fierrero	V	3.656	29.25
6	Péon	II	3.259	26.07

Tabla 16: Categorías y los salarios a las distintas categorías de obreros.

3.4 Análisis de precios unitarios

Para la elaboración del análisis de precio unitario se solicitó una proforma a la empresa Bagant, en la cual se moduló y se realizó un presupuesto del encofrado para los edificios A y B, con los sistemas tradicional y LosaFlex, con la finalidad de obtener el precio del encofrado por unidad de análisis, metro cuadrado.

Para realizar la modulación y cotización del encofrado se necesitan los planos arquitectónicos y estructurales de la misma planta, por tal motivo las cotizaciones se realizaron en base a la losa de la planta baja, piso 1, en los dos edificios. Pero como la medición de la duración del encofrado se realizó a las losas tipo, en los dos casos, se deberá tomar un proporcional del costo en la cotización, ya que el área de la planta baja es superior a la de las plantas tipo.

3.4.1 Análisis de precios unitarios del edificio A.

3.4.1.1 Sistema tradicional

El costo del encofrado cotizado fue de 2361.09 dólares por un mes para una losa de 616.62 metros cuadrados. En la cotización no se incluye tableros laterales, y se debe eliminar 222 tableros metálicos de 1.20 x 0.60 metros para fondo de vigas principales y 119 tableros de 1.20 x 0.60 metros para fondo de vigas secundarias, los cuales deberán ser reemplazados por tableros de madera de sección 1.20 x 0.60 metros.

La eliminación de esta cantidad de tableros se debe hacer, ya que en el sistema tradicional los fondos de vigas se encofran con tableros de 1.20 x 0.60 metros de madera y no con los tableros que fueron presupuestados. La cantidad de tableros descontados fue obtenida de la modulación.

Al descontar los 222 y 119 tableros metálicos de 1.20 x 0.60 metros cuyo costo es de 488.86 dólares, el valor del encofrado para la losa presupuestada es de:

$$\text{Costo encofrado} = 2361.09 - 488.85 = 1872.24 \text{ dolares}$$

El costo del encofrado tradicional, equipo, por unidad de análisis, metro cuadro es:

$$x = \frac{1872.24 \text{ dolares/m}^2 \cdot 616.62 \text{ m}^2}{616.62 \text{ m}^2} = 3.04 \text{ dolares/m}^2$$

Para encofrar el fondo de vigas principales y secundarias se utilizaron tableros de madera de 1.20 x 0.60 metros, los cuales tienen costo de 1.72 dólares por un tablero. El costo de los tableros de fondo de vigas principales y secundarias proporcional para un metro cuadrado de losa se calcula de la siguiente manera:

La longitud de vigas principales a encofrar es de 126.05 metros mientras que de vigas secundarias es 107.40 metros. Por lo que se necesita la siguiente cantidad de tableros.

Vigas principales

$$\begin{array}{r} 0.60 \text{ metros} \quad 1 \text{ tablero} \\ 126.05 \text{ metros} \quad x \end{array}$$

$$x = \frac{126.05 \text{ metros} * 1 \text{ tablero}}{0.60 \text{ metros}} = 210.08 \text{ tableros}$$

Nota: El tablero de fondo de vigas principales se coloca transversalmente, es decir, tendrá un largo de 0.60 metros.

Vigas secundarias

$$\begin{array}{r} 1.20 \text{ metros} \quad 1 \text{ tablero} \\ 107.40 \text{ metros} \quad x \end{array}$$

$$x = \frac{107.40 \text{ metros} * 1 \text{ tablero}}{1.20 \text{ metros}} = 87 \text{ tableros}$$

Nota: El tablero de fondo de vigas secundarias se coloca longitudinalmente, es decir, tendrá un largo de 1.20 metros.

El costo de los tableros utilizados en toda la losa es de:

$$\begin{array}{r} 1.72 \text{ dolares} \quad 1 \text{ tablero} \\ x \quad 210.08 + 87 = 297.08 \text{ tableros} \end{array}$$

$$x = \frac{1.72 \text{ dolares} * 297.08 \text{ tableros}}{1 \text{ tablero}} = 510.98 \text{ dolares.}$$

Por lo tanto para 1 metro cuadro de losa el costo de los tableros de 1.20 x 0.60 metros es de:

$$\begin{array}{r} 510.98 \text{ dolares} \quad 298.67 \text{ m}^2 \\ x \quad 1 \text{ m}^2 \end{array}$$

$$x = \frac{510.98 \text{ dolares} * 1 \text{ m}^2}{298.67 \text{ m}^2} = \mathbf{1.71 \text{ dolares/m}^2}$$

Para el encofrado de las laterales de las vigas principales y secundarias se utilizaron los tableros antes descritos de alto de 45 centímetros con un costo de 2.18 dólares y para

vigas secundarias un tablero de 25 centímetros de alto con un costo de 1.39 dólares. El tablero en ambos casos tiene un largo de 2.44 metros, y se necesita encofrar 126.05 metros de vigas principales y 107.40 metros de vigas secundarias, pero como son dos caras en las que se necesita colocar el tablero lateral serian 252.10 metros y 214.80 metros respectivamente.

Tableros para vigas principales de 45 centímetros

El costo de 1 metro de lateral de 45 centímetros es:

$$\begin{array}{cc} 2.44 \text{ metros} & 2.18 \text{ dolares} \\ 1 \text{ metro} & x \end{array}$$

$$x = \frac{1 \text{ metro} * 2.18 \text{ dolares}}{2.44 \text{ metros}} = 0.90 \text{ dolares}$$

Para encofrar los 252.10 metros de vigas principales el costo es:

$$\begin{array}{cc} 1 \text{ metro} & 0.9 \text{ dolares} \\ 252.10 \text{ metros} & x \end{array}$$

$$x = \frac{0.90 \text{ dolares} * 252.10 \text{ metros}}{1 \text{ metro}} = 226.89 \text{ dolares}$$

Por lo tanto para 1 metro cuadro de losa el costo de los tableros laterales de 45 centímetros es:

$$\begin{array}{cc} 226.89 \text{ dolares} & 298.67 \text{ m}^2 \\ x & 1 \text{ m}^2 \end{array}$$

$$x = \frac{226.89 \text{ dolares} * 1 \text{ m}^2}{298.67 \text{ m}^2} = \mathbf{0.76 \text{ dolares/m}^2}$$

Tableros para vigas principales de 25 centímetros

El costo de 1 metro de lateral de 25 centímetros es:

$$\begin{array}{cc} 2.44 \text{ metros} & 1.39 \text{ dolares} \\ 1 \text{ metro} & x \end{array}$$

$$x = \frac{1 \text{ metro} * 1.39 \text{ dolares}}{2.44 \text{ metros}} = 0.57 \text{ dolares}$$

Para encofrar los 214.80 metros de vigas secundarias el costo es:

$$x = \frac{0.57 \text{ dolares} * 214.80 \text{ metros}}{1 \text{ metro}} = 122.44 \text{ dolares}$$

Por lo tanto para 1 metro cuadro de losa el costo de los tableros laterales de 25 centímetros es:

$$x = \frac{122.44 \text{ dolares} * 1 \text{ m}^2}{298.67 \text{ m}^2} = 0.41 \text{ dolares/m}^2$$

En resumen se presenta la siguiente tabla:

Tabla 17

Componente Tipo	Descripcion	Cantidad (m2)	Costo (\$/m2)
Equipo	Encofrado tradicional	1	3.04
Material	Tablero de madera 1.20x0.60 m	1	1.71
Material	Tablero lateral de 45 cm	1	0.76
Material	Tablero lateral de 25 cm	1	0.41

Tabla 17: Cuadro de resumen de equipo y materiales con sus respectivos costos, utilizados en el análisis de precio unitario.

A continuación se presenta el análisis de precio unitario:

**PUCE
AREA DE CONSTRUCCIONES**

NOMBRE DEL OFERENTE: ALVARO GUERRERO CUZ
OBRA: EDIFICIO A

HOJA 001 DE 8

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO: ENCOFRADO TRADICIONAL DE LOSA
DETALLE:

UNIDAD: M2
RENDIMIENTO DIA: 37.5

EQUIPOS

CODIGO	DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
1	Herramienta menor	1.00	16.27	16.27	0.2130	3.47
3	Encofrado LosaTeck	1.00	3.04	3.04	0.2130	0.65

SUBTOTAL M 4.1200

MANO DE OBRA

CODIGO	DESCRIPCION (CATEG.)	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
4	Maestro de Obra	1.00	3.66	3.66	0.2130	0.78
3	Carpintero	7.00	3.30	23.09	1.4930	34.47
2	Ayudante	7.00	3.26	22.81	1.4930	34.06

SUBTOTAL N 69.3100

MATERIALES

CODIGO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B
2	Tablero Lateral 244x45 cm (triplex)	u	1.00	0.76	0.76
4	Tablero Lateral 244x25 cm (triplex)	u	1.00	0.41	0.41
6	Tablero de madera 120x60 cm	u	1.00	1.71	1.71
1	Tablones	u	1.00	0.00	0.00
7	Alambre Galvanizado #18	kg	0.10	1.52	0.15
8	Clavos 2"	kg	0.50	2.00	1.00

SUBTOTAL O 4.0300

TRANSPORTE

CODIGO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B
					0.00

SUBTOTAL P 0.0000

TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P) 77.4600
 INDIRECTOS Y UTILIDAD 25.00% %X 19.3650
 OTROS COSTOS INDIRECTOS %X 0.0000
COSTO TOTAL DEL RUBRO 96.8250
VALOR OFERTADO 96.83

FECHA

3.4.1.2 Sistema LosaFlex

El costo del encofrado cotizado fue de 2880.57 dólares por un mes para una losa de 616.62 metros cuadrados. No se incluye tableros para fondos de viga, fondos de losa y tableros laterales.

$$\frac{2008.57 \text{ dolares/m}^2}{x} = \frac{616.62 \text{ m}^2}{1 \text{ m}^2}$$

El costo del encofrado LosaFlex, equipo, por unidad de análisis, metro cuadro es:

$$x = \frac{2008.57 \text{ dolares/m}^2 * 1 \text{ m}^2}{616.62 \text{ m}^2} = \mathbf{3.26 \text{ dolares/m}^2}$$

Para encofrar el fondo de losa se utilizó aproximadamente 85 tableros triplex de 1.22 x 2.44 metros, para fondos de vigas principales 45 tableros triplex de 1.22 x 2.44 metros y para fondos de vigas secundarias 25 tableros triplex de 1.22 x 2.44 metros. En las cantidades antes mencionadas de tableros ya están estimados tableros cortados en partes, es decir, tableros cortados en 2, 3, 4 según se necesite y tableros para remates.

Tableros para fondo de losa de 1.22 x 2.44 metros.

$$\frac{37.93 \text{ dolares}}{x} = \frac{1 \text{ tablero}}{85 \text{ tableros}}$$
$$x = \frac{37.93 \text{ dolares} * 85 \text{ tableros}}{1 \text{ tablero}} = 3224.05 \text{ dolares}$$

Tableros para fondo de vigas principales de 1.22 x 2.44 metros.

$$\frac{37.93 \text{ dolares}}{x} = \frac{1 \text{ tablero}}{45 \text{ tableros}}$$
$$x = \frac{37.93 \text{ dolares} * 45 \text{ tableros}}{1 \text{ tablero}} = 1706.85 \text{ dolares}$$

Tableros para fondo de vigas secundarias de 1.22 x 2.44 metros.

$$\frac{37.93 \text{ dolares}}{x} = \frac{1 \text{ tablero}}{25 \text{ tableros}}$$

$$x = \frac{37.93 \text{ dolares} * 25 \text{ tableros}}{1 \text{ tablero}} = 948.25 \text{ dolares}$$

Por lo tanto sumando los tableros de fondo de losa y fondo de vigas, los cuales se utilizan 10 veces se tiene que el precio de los tableros de 1.22 x 2.44 metros para la losa por metro cuadrado es el siguiente.

$$\frac{3224.05 \text{ dolares} + 1706.85 \text{ dolares} + 948.25 \text{ dolares}}{10 \text{ usos}} = \frac{5879.15 \text{ dolares}}{10 \text{ usos}}$$

$$= 587.92 \text{ dolares}$$

$$\frac{587.92 \text{ dolares}}{x} \quad \frac{298.67 \text{ m}^2}{1 \text{ m}^2}$$

$$x = \frac{587.92 \text{ dolares} * 1 \text{ m}^2}{298.67 \text{ m}^2} = \mathbf{1.97 \text{ dolares/m}^2}$$

Para el encofrado de las laterales de las vigas principales y secundarias se utilizaron los tableros antes descritos de alto de 45 centímetros con un costo de 2.18 dólares y para vigas secundarias un tablero de 25 centímetros de alto con un costo de 1.39 dólares. El tablero en ambos casos tiene un largo de 2.44 metros, y se necesita encofrar 126.05 metros de vigas principales y 107.40 metros de vigas secundarias, pero como son dos caras en las que se necesita colocar el tablero lateral serian 252.10 metros y 214.80 metros respectivamente.

Anteriormente se calculó el precio correspondiente a tableros laterales de vigas principales y secundarias para 1 metro cuadrado de losa. A continuación se presentan dichos costos.

Tableros para vigas principales de 45 centímetros

$$x = \mathbf{0.76 \text{ dolares/m}^2}$$

Tableros para vigas principales de 25 centímetros

$$x = \mathbf{0.41 \text{ dolares/m}^2}$$

Para resumir la información se presenta la siguiente tabla:

Tabla 18

Componente Tipo	Descripcion	Cantidad (m2)	Costo (\$/m2)
Equipo	Encofrado tradicional	1	3.26
Material	Tablero triplex de 1.22x2.44 m	1	1.97
Material	Tablero lateral de 45 cm	1	0.76
Material	Tablero lateral de 25 cm	1	0.41

Tabla 18: Cuadro de resumen de equipo y materiales con sus respectivos costos, utilizados en el análisis de precio unitario.

A continuación se presenta el análisis de precio unitario.

PUCE
AREA DE CONSTRUCCIONES

NOMBRE DEL OFERENTE: ALVARO GUERRERO CUZ
OBRA: EDIFICIO A

HOJA 003 DE 8

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO: ENCOFRADO LOSAFLEX
DETALLE:

UNIDAD: M2
RENDIMIENTO DIA: 50

EQUIPOS

CODIGO	DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
1	Herramienta menor	1.00	16.25	16.25	0.1600	2.60
2	Encofrado Losaflex	1.00	3.26	3.26	0.1600	0.52

SUBTOTAL M 3.1200

MANO DE OBRA

CODIGO	DESCRIPCION (CATEG.)	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
4	Maestro de Obra	1.00	3.66	3.66	0.1600	0.59
3	Carpintero	7.00	3.30	23.09	1.1200	25.86
2	Ayudante	7.00	3.26	22.81	1.1200	25.55

SUBTOTAL N 52.0000

MATERIALES

CODIGO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B
3	Tablero Lateral 244x40 cm (triplex)	u	1.00	0.24	0.24
6	Tablero de madera 120x60 cm	u	1.00	0.21	0.21
1	Tablones	u	1.00	0.00	0.00
7	Alambre Galvanizado #18	kg	0.10	1.50	0.15
8	Clavos 2"	kg	0.50	2.00	1.00

SUBTOTAL O 1.6000

TRANSPORTE

CODIGO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B
					0.00

SUBTOTAL P 0.0000

TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)			56.7200
INDIRECTOS Y UTILIDAD	25.00%	%X	14.1800
OTROS COSTOS INDIRECTOS		%X	0.0000
COSTO TOTAL DEL RUBRO			70.9000
VALOR OFERTADO			70.90

FECHA

3.4.2 Análisis de precios unitarios del edificio B.

3.4.2.1 Sistema tradicional

El costo del encofrado cotizado fue de 5642.02 dólares por un mes para una losa de 1802.03 metros cuadrados. En la cotización no se incluye tableros laterales, y se debe eliminar 256 tableros metálicos de 1.20 x 0.60 metros y 16 tableros de 1.20 x 0.30 metros, los cuales corresponden a fondos de vigas, y los cuales deberán ser reemplazados por tableros de madera de sección 1.20 x 0.60 metros.

Al igual que en la cotización del encofrado tradicional para el edificio A, la eliminación de la cantidad mencionada de tableros metálicos de 1.20 x 0.60 metros, se realiza ya que los fondos de vigas deberán ser encofrados con tableros de madera de 1.20 x 0.60 metros.

Se descuentan 256 tableros de 1.20 x 0.60 metros cuyo costo es de 367.00 dólares y 16 tableros de 1.20 x 0.30 metros cuyo costo es de 11.47 dólares. Por lo tanto el valor del encofrado para la losa presupuestada es de:

$$\text{Costo encofrado} = 5642.02 - 11.47 - 367.00 = 5263.55 \text{ dolares}$$

El costo del encofrado tradicional, equipo, por unidad de análisis, metro cuadro es:

$$x = \frac{5263.55 \text{ dolares/m}^2 * 1 \text{ m}^2}{1802.03 \text{ m}^2} = 2.92 \text{ dolares/m}^2$$

Para encofrar el fondo de vigas se utilizaron los tableros de madera de 1.20 x 0.60 metros los cuales tienen costo de 1.72 dólares. Para encofrar 197.30 metros de vigas se necesitan los siguientes tableros.

$$\frac{1.20 \text{ metros}}{197.30 \text{ metros}} = \frac{1 \text{ tablero}}{x}$$

$$x = \frac{197.30 \text{ metros} * 1 \text{ tablero}}{1.20 \text{ metros}} = 164.42 \text{ tableros}$$

El costo de los tableros utilizados en toda la losa es de:

$$\begin{array}{r} 1.72 \text{ dolares} \\ x \end{array} \quad \begin{array}{r} 1 \text{ tablero} \\ 164.42 \text{ tableros} \end{array}$$

$$x = \frac{1.72 \text{ dolares} * 164.42 \text{ tableros}}{1 \text{ tablero}} = 282.80 \text{ dolares.}$$

Por lo tanto para 1 metro cuadro de losa el costo de los tableros de madera de sección 1.20 x 0.60 metros es de:

$$\begin{array}{r} 282.80 \text{ dolres} \\ x \end{array} \quad \begin{array}{r} 1360.98 \text{ m}^2 \\ 1 \text{ m}^2 \end{array}$$

$$x = \frac{282.80 \text{ dolres} * 1 \text{ m}^2}{1360.98 \text{ m}^2} = \mathbf{0.21 \text{ dolares/m}^2}$$

Para el encofrado de las laterales de las vigas principales se utilizaron los tableros antes descritos de alto de 40 centímetros con un costo de 2.00 dólares. El tablero tiene un largo de 2.44 metros, y se necesita encofrar 197.30 metros, pero como son dos caras en las que se necesita colocar el tablero lateral serian 394.6 metros de tableros laterales.

Tableros laterales para vigas principales de 40 centímetros

El costo de 1 metro de lateral de 40 centímetros es:

$$\begin{array}{r} 2.44 \text{ metros} \\ 1 \text{ metro} \end{array} \quad \begin{array}{r} 2.00 \text{ dolares} \\ x \end{array}$$

$$x = \frac{1 \text{ metro} * 2.00 \text{ dolares}}{2.44 \text{ metros}} = 0.82 \text{ dolares}$$

Para encofrar los 394.6 metros de vigas descolgadas el costo es:

$$\begin{array}{r} 1 \text{ metro} \\ 394.6 \text{ metros} \end{array} \quad \begin{array}{r} 0.82 \text{ dolares} \\ x \end{array}$$

$$x = \frac{0.82 \text{ dolares} * 394.6 \text{ metros}}{1 \text{ metro}} = 323.57 \text{ dolares}$$

Por lo tanto para 1 metro cuadro de losa el costo de los tableros laterales de 40 centímetros es:

$$x = \frac{323.57 \text{ dolares} \times 1360.98 \text{ m}^2}{1360.98 \text{ m}^2} = 0.24 \text{ dolares/m}^2$$

Para resumir se presenta la siguiente tabla:

Tabla 19

Componente Tipo	Descripción	Cantidad (m2)	Costo (\$/m2)
Equipo	Encofrado tradicional	1	2.96
Material	Tablero de madera de 1.20x0.60 m	1	0.21
Material	Tablero lateral de 40 cm	1	0.24

Tabla 19: Cuadro de resumen de equipo y materiales con sus respectivos costos, utilizados en el análisis de precio unitario.

A continuación se presenta el análisis de precio unitario.

**PUCE
AREA DE CONSTRUCCIONES**

NOMBRE DEL OFERENTE: ALVARO GUERRERO CUZ
OBRA: EDIFICIO B

HOJA 002 DE 8

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO: ENCOFRADO TRADICIONAL DE LOSA
DETALLE:

UNIDAD: M2
RENDIMIENTO DIA: 115

EQUIPOS

CODIGO	DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
1	Herramienta menor	1.00	16.31	16.31	0.0780	1.27
2	Encofrado Losaflex	1.00	2.92	2.92	0.0780	0.23

SUBTOTAL M 1.5000

MANO DE OBRA

CODIGO	DESCRIPCION (CATEG.)	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R
4	Maestro de Obra	1.00	3.66	3.66	0.0780	0.29
3	Carpintero	7.00	3.30	23.09	0.5480	12.65
2	Ayudante	7.00	3.26	22.81	0.5480	12.50

SUBTOTAL N 25.4400

MATERIALES

CODIGO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B
3	Tablero Lateral 244x40 cm (triplex)	u	1.00	0.24	0.24
6	Tablero de madera 120x60 cm	u	1.00	0.21	0.21
1	Tablones	u	1.00	0.00	0.00
7	Alambre Galvanizado #18	kg	0.10	1.50	0.15
8	Clavos 2"	kg	0.50	2.00	1.00

SUBTOTAL O 1.6000

TRANSPORTE

CODIGO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B
					0.00

SUBTOTAL P 0.0000

TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)			28.5400
INDIRECTOS Y UTILIDAD	25.00%	%X	7.1350
OTROS COSTOS INDIRECTOS		%X	0.0000
COSTO TOTAL DEL RUBRO			35.6750
VALOR OFERTADO			35.68

FECHA

3.4.2.2 Sistema LosaFlex

El costo del encofrado cotizado fue de 5313.41 dólares por un mes para una losa de 1802.03 metros cuadrados. No se incluye en la cotización tableros para fondos de viga, fondos de losa y tableros laterales.

El costo del encofrado LosaFlex, equipo, por unidad de análisis, metro cuadro es:

$$\begin{array}{r} 5313.41 \text{ dolares/m}^2 \\ x \end{array} \quad \begin{array}{r} 1802.03 \text{ m}^2 \\ 1 \text{ m}^2 \end{array}$$
$$x = \frac{5313.41 \text{ dolares/m}^2 * 1 \text{ m}^2}{1802.03 \text{ m}^2} = \mathbf{2.95 \text{ dolares/m}^2}$$

Para encofrar el fondo de losa se utilizó aproximadamente 395 tableros triplex de 1.22 x 2.44 metros. La cantidad de tableros se calculó modulando los tableros sobre la planta de la losa. Dado que la mayoría de tableros se colocan enteros y para los espacios donde no se puede colocar tableros completos se corta en pedazos iguales, es decir, se corta al tablero en 2, 3, 4, etc., partes iguales para evitar desperdicios, por lo tanto el porcentaje de desperdicio es muy bajo. Por otro lado para el encofrado de fondos de vigas descolgadas se necesitan 71 tableros de las mismas especificaciones. En ambas cantidades están considerado el desperdicio debido a remates.

Costo de los tableros para fondo de losa de 1.22 x 2.44 metros.

$$\begin{array}{r} 37.93 \text{ dolares} \\ x \end{array} \quad \begin{array}{r} 1 \text{ tablero} \\ 395 \text{ tableros} \end{array}$$
$$x = \frac{37.93 \text{ dolares} * 395 \text{ tableros}}{1 \text{ tablero}} = 14982.35 \text{ dolares}$$

Costo de los tableros para fondo de viga de 1.22 x 2.44 metros.

$$\begin{array}{r} 37.93 \text{ dolares} \\ x \end{array} \quad \begin{array}{r} 1 \text{ tablero} \\ 71 \text{ tableros} \end{array}$$
$$x = \frac{37.93 \text{ dolares} * 71 \text{ tableros}}{1 \text{ tablero}} = 2693.03 \text{ dolares}$$

Por lo tanto sumando los tableros de fondo de losa y fondo de vigas, los cuales se utilizan 10 veces, se tiene que el precio de los tableros de 1.22 x 2.44 metros para la losa por metro cuadrado es el siguiente.

$$\frac{2693.03 \text{ dolares} + 14982.35 \text{ dolares}}{10 \text{ usos}} = \frac{17675.38 \text{ dolares}}{10 \text{ usos}} = 1767.54 \text{ dolares}$$

El costo de los tableros triplex de 1.22 x 2.44 metros correspondientes a 1 metro cuadrado de losa es de:

$$x = \frac{1767.54 \text{ dolres} \times 1 \text{ m}^2}{1360.98 \text{ m}^2} = \mathbf{1.30 \text{ dolares/m}^2}$$

Para el encofrado de las laterales de vigas se utilizaron los mismos tableros de 40 centímetros de alto y en la misma cantidad antes mencionados en el encofrado del sistema tradicional en el mismo edificio B.

Por lo tanto para 1 metro cuadro de losa el costo de los tableros laterales de 40 centímetros es:

$$x = \frac{323.57 \text{ dolres} \times 1 \text{ m}^2}{1360.98 \text{ m}^2} = \mathbf{0.24 \text{ dolares/m}^2}$$

Para resumir se presenta la siguiente tabla:

Tabla 20

Componente Tipo	Descripcion	Cantidad (m2)	Costo (\$/m2)
Equipo	Encofrado LosaFlex	1	2.95
Material	Tablero triplex de 2.44x1.22 m	1	1.30
Material	Tablero lateral de 40 cm	1	0.24

Tabla 20: Cuadro de resumen de equipo y materiales con sus respectivos costos, utilizados en el análisis de precio unitario.

A continuación, se presenta el análisis de precio unitario.

PUCE										
AREA DE CONSTRUCCIONES										
NOMBRE DEL OFERENTE:		ALVARO GUERRERO CUZ								
OBRA:		EDIFICIO B								
						HOJA	004	DE	8	
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS										
RUBRO:		ENCOFRADO LOSAFLEX						UNIDAD:		M2
DETALLE:								RENDIMIENTO DIA		340
EQUIPOS										
CODIGO	DESCRIPCION	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R				
1	Herramienta menor	1.00	16.52	16.52	0.0260	0.43				
2	Encofrado Losaflex	1.00	2.92	2.92	0.0260	0.08				
SUBTOTAL M						0.5100				
MANO DE OBRA										
CODIGO	DESCRIPCION (CATEG.)	CANTIDAD A	JORNAL/HR B	COSTO HORA C=A*B	RENDIMIENTO R	COSTO D=C*R				
4	Maestro de Obra	1.00	3.66	3.66	0.0260	0.10				
3	Carpintero	7.00	3.30	23.09	0.1850	4.27				
2	Ayudante	7.00	3.26	22.81	0.1850	4.22				
SUBTOTAL N						8.5900				
MATERIALES										
CODIGO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	PRECIO UNIT. B	COSTO C=A*B					
3	Tablero Lateral 244x40 cm (triplex)	u	1.00	0.24	0.24					
6	Tablero de madera 120x60 cm	u	1.00	0.21	0.21					
1	Tablones	u	1.00	0.00	0.00					
7	Alambre Galvanizado #18	kg	0.10	1.50	0.15					
8	Clavos 2"	kg	0.50	2.00	1.00					
SUBTOTAL O						1.6000				
TRANSPORTE										
CODIGO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD A	TARIFA B	COSTO C=A*B					
					0.00					
SUBTOTAL P						0.0000				
TOTAL COSTOS DIRECTOS X=(M+N+O+P)						10.7000				
						INDIRECTOS Y UTILIDAD	25.00%	%X	2.6750	
						OTROS COSTOS INDIRECTOS		%X	0.0000	
FECHA						COSTO TOTAL DEL RUBRO			13.3750	
						VALOR OFERTADO			13.38	

Para finalizar se presenta la siguiente tabla, en la cual se puede ver los precios unitarios de los encofrados tradicional y LosaFlex en los dos Edificios, A y B.

Tabla 21

APU (\$/m ²)		
Encofrado	Edificio A	Edificio B
S. tradicional	96.83	35.68
S. LosaFlex	70.9	13.38

Tabla 21: Análisis de precios unitarios de los dos edificios

4. CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

Después de haber realizado el trabajo de investigación se puede concluir lo siguiente:

En cuanto a la factibilidad técnica del producto se concluye que:

- Las vigas de madera HT 20 plus tienen una mayor capacidad de carga en comparación a las viguetas metálicas utilizadas en el sistema tradicional, ya que estas tienen una resistencia a la flexión de 5 KN/m mientras las viguetas metálicas tienen una resistencia a la flexión de 4.1 KN/m. Por tal motivo las vigas de madera del sistema LosaFlex son viables, ya que cumplen al menos la resistencia de las vigas antes utilizadas e incluso las superan.
- Los tableros Ulma Trimax tienen una capacidad de carga de 36000 KN/m², superior a la capacidad de los tableros metálicos de 1.20 x 0.60 metros utilizados en el sistema convencional la cual es de 1363 KN/m². Por lo tanto se puede concluir que los tableros del sistema Losaflex son mejores a los tableros utilizados en sistema tradicional en cuanto a la capacidad de carga, ya que pueden soportar mayores pesos.

En cuanto a la factibilidad constructiva se puede concluir que el uso del sistema LosaFlex para el encofrado de losas de hormigón armado sobre vigas descolgadas de hormigón armado es una mejor alternativa al encofrado tradicional por lo siguiente:

- Los elementos del sistema LosaFlex son más livianos a los utilizados en el otro sistema. Un ejemplo de ello son las vigas del encofrado. Una vigueta metálica de 3 m pesa 33 kg mientras una viga de madera vm 20 plus de 3 metros pesa 13.8 kg. Por tal motivo la manejabilidad del equipo para llevar a cabo la instalación del

encofrado es más fácil y el tiempo se reduce considerablemente, aumentando el rendimiento de la mano de obra.

- El sistema LosaFlex es una mejor alternativa al sistema tradicional, debido a la seguridad que ofrece. Permite que los trabajadores realicen un menor esfuerzo, ya que al ser más liviano, los obreros levantarán pesos más livianos cuidando su salud física. Por otro lado al tener un acceso y movimiento fácil debido de la losa encofrada, se evitan accidentes y se tiene un mayor control durante el fundido de losa. Por último, al tener elementos más resistentes se puede soportar mayores pesos.
- El sistema LosaFlex no genera una gran cantidad de residuos, escombros y leña a diferencia del sistema tradicional, por lo tanto es mucho más amigable con el medio ambiente.
- Dado que los tableros para fondos de losas y vigas del sistema LosaFlex tienen secciones más grandes a los tableros utilizados en el sistema tradicional, se encofra la losa en un menor tiempo, ya que se necesitan de la colocación de un menor número de piezas.
- Sin dudas la accesibilidad a la losa en el sistema Losaflex es una ventaja contra el sistema tradicional, ya que no se presentan elementos transversales que interrumpan la circulación de obreros ni el transporte de materiales en la parte inferior del encofrado.
- Por último, el desencofrado con el sistema Losaflex es más sencillo que con el sistema tradicional, ya que al tener elementos más ligeros su manejabilidad aumenta. Se desencofran menos piezas o elementos y se destruyen menos los materiales aumentando la vida útil del equipo y material. Por otro lado el desencofrado es más rápido. Como se pudo observar en la investigación, el

desencofrado en los dos edificios se realizó con 3 obreros y duró 5 días en ambos edificios, pero cabe resaltar que el área encofrada es mayor en el edificio B (LosaFlex), por lo que el rendimiento en el edificio B es mayor.

Por todos estos motivos el sistema LosaFlex es una solución a los problemas que genera el encofrado por el sistema tradicional.

Por último en cuanto a la factibilidad económica se puede concluir que:

- Si la losa a encofrar es una losa plana o una losa sobre vigas descolgadas con luces grandes sin interrupciones, es decir, que el área del encofrado de fondos de losa sean extensos, el sistema LosaFlex es bastante más económico que el sistema tradicional. El costo del encofrado por metro cuadrado con el sistema tradicional en el edificio B, edificio que presenta estas características es de 35.68 \$/m² mientras que con el sistema LosaFlex es de 13.38 \$/m². Debido a un rendimiento acelerado del sistema LosaFlex cuando la losa a encofrar tienen estas características, hacen que este nuevo sistema sea factible económicamente.
- Por otro lado si se tiene losa sobre vigas descolgadas con luces cortas, como se presenta en el edificio A, el sistema LosaFlex sigue siendo económicamente factible. En este edificio el costo del encofrado tradicional fue de 96.83 \$/m² mientras que con el sistema LosaFlex es de 70.90 \$/m². Por lo que podemos concluir que si hubo un ahorro económico, pero el cual no es tan significativo como el caso anterior.

Como resultado final de la investigación podemos hacer las siguientes conclusiones:

- Si la losa a encofrar es una losa plana o losa sobre vigas descolgadas con luces grandes, se concluye que el sistema LosaFlex sobre el sistema tradicional es

técnicamente, constructivamente y económicamente altamente superior por las ventajas que brinda y su costo increíblemente inferior.

- Si la losa a encofrar es una losa sobre vigas descolgadas con luces cortas el sistema LosaFlex es técnicamente y constructivamente muy superior al sistema tradicional y también presenta un ahorro económico, pero no altamente superior a diferencial del caso anterior.

4.2 RECOMENDACIONES

Después de haber culminado el trabajo de investigación se pueden hacer las siguientes recomendaciones tanto para la investigación como para el uso apropiado del producto.

Para el uso adecuado del producto se tienen las siguientes sugerencias:

- Para maximizar las ventajas del nuevo sistema propuesto se deberá considerar un diseño de losas planas o losas con luces grandes, es decir, tener secciones grandes de encofrado sin interrupciones.
- Para asegurar el número de usos estimados según el fabricante de tableros, vigas y viguetas es necesario la limpieza de los mismos una vez utilizados y la colocación de desmoldante, para evitar que el hormigón se adhiera completamente a los elementos que están en contacto con él, evitando danos del equipo al desencofrar y alcanzar un hormigón de calidad.
- Es necesario que se realice un control de calidad de todos los elementos que forman parte del encofrado en los dos sistemas antes y después de ser utilizados, es decir, que cada vez que se vaya a utilizar el equipo se deberá revisar que estos se encuentren en buenas condiciones y sin posibles daños para garantizar la seguridad de los trabajadores y evitar pérdida de materiales, en los dos sistemas de encofrado.
- Para el sistema tradicional de encofrados se recomienda diseñar el encofrado, puesto que la mayoría de las ocasiones en las que se producen accidentes son debido a sobrecargas ya que no se tiene un diseño adecuado del encofrado o simplemente no se tiene, ya que se lo realiza según la experiencia del constructor o maestro de obra.

- Es aconsejable realizar un mantenimiento periódico de los elementos metálicos de los dos sistemas como lo son puntales, viguetas, crucetas, trípodes, etc. con la finalidad de mantener el producto en buen estado y brindar seguridad al trabajador.
- Se recomienda que a ninguno de los dos sistemas se los sobrecargue. Un claro ejemplo de esto se da al momento de la fundición, donde por facilidad se vierte el hormigón en un solo lugar, generando un peso considerable para los elementos que soportan dicha carga.

Como recomendaciones a la investigación se puede realizar un estudio complementario de productividad, donde se midan los tiempos productivos, contributorios y no contributorios. Y por último se podría comprobar la factibilidad del nuevo encofrado utilizando los dos sistemas de encofrado en el mismo edificio.

5. BIBLIOGRAFIA

GRINAN, José. (1974). Encofrados. Barcelona. Zeus.

PEURIFOY, R. L. (1980). ENCOFRADOS PARA ESTRUCTURAS DE HORMIGON. México. McGraw-Hill.

TRUJILLO CEBRIAN, Juan José. Operaciones previas al hormigonado (MF0227_1). Madrid, España. IC Editorial. 2013.

GUEVARA ALCANTARA J. (2014). ENCOFRADO. 25/07/2017, de Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Sitio web: https://www.academia.edu/8200673/DISENO_ESTRUCUTRAL_DE_ENCOFRADOS

ULMA Construcciones. (2009). Encofrado Horizontal ENKOFLEX. 25/07/2017, de ULMA sitio web: https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/84988/CATALOGO_VIGAS-y-TABLEROS_ES.pdf