

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO**

**USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

**Guía de diseño de encofrados de madera para la construcción  
ecuatoriana**

**Juan Diego Sánchez Paladines**

**Ingeniería Civil**

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito  
para la obtención del título de  
**INGENIERO CIVIL**

Quito, 5 de mayo de 2022

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO  
USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

**HOJA DE CALIFICACIÓN  
DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA**

**Guía de diseño de encofrados de madera para la construcción  
ecuatoriana**

**Juan Diego Sánchez Paladines**

**Dr. Ing, Pablo Torres Rodas**

Quito, 5 de mayo de 2022

## © DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Juan Diego Sanchez Paladines

Código: 00201370

Cédula de identidad: 1720777638

Lugar y fecha: Quito, 5 de mayo de 2022

## **ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN**

**Nota:** El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETHeses>.

## **UNPUBLISHED DOCUMENT**

**Note:** The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETHeses>.

## RESUMEN

Uno de los materiales más usados para el proceso de encofrado de hormigón en Ecuador es la madera. La calidad del encofrado depende de su proceso de elaboración e indiscutiblemente de las características y propiedades mecánicas de la madera. El proceso de encofrado repercute directamente en los diferentes resultados del hormigón curado. Diferentes fallas en el encofrado llevan a la industria civil a tener pérdidas económicas y en ciertos casos accidentes graves por un mal proceso de encofrado. En el Ecuador, no existe una norma ni un código que determine el cálculo y proceso de encofrado óptimo. Muchos de los procesos de encofrado al no poseer una guía específica para el diseño óptimo de encofrados, la regulación de estos se vuelve opcional y varía en base a la discreción del constructor. Por este motivo se presenta el siguiente proyecto de investigación en el cual se calcularon y desarrollaron tablas de diseño de diferentes elementos de encofrados verticales y horizontales en base al capítulo 9 del ACI SP-4(14). Las tablas están constituidas en base a los diferentes requerimientos de deflexión, flexión y corte presentados por el ACI SP4. Las presentes tablas se encuentran adaptadas para su aplicación en la industria civil ecuatoriana. Se propone este método para reemplazar las estimaciones y experimentaciones empíricas y brindar al constructor ecuatoriano parámetros para guiarse y diseñar un correcto encofrado.

**Palabras clave:** Encofrado, hormigón, presión lateral, hormigón fresco, código, diseño estructural en madera, elementos del encofrado.

## ABSTRACT

One of the most used materials for the concrete formwork process in Ecuador is wood. The quality of the formwork depends on its assembly process and unquestionably on the characteristics and mechanical properties of the wood. The formwork process has a direct impact on the different results of the cured concrete. Different failures in the formwork lead the construction industry to have economic losses and, in some cases, serious accidents due to a bad formwork process. In Ecuador, there is no standard or code which determines optimal formwork design process. There is no Ecuadorian regulations towards formwork so formwork assembly and design relies completely on the constructor. For this reason, the following research project is presented in which design tables of different vertical and horizontal formwork elements were calculated and developed based on chapter 9 of ACI SP-4(14). The tables are constituted based on the different deflection, bending and shear requirements presented by ACI SP4. These tables are adapted for application in the Ecuadorian civil industry. This method is proposed to replace empirical estimates and experimentations and provide the Ecuadorian builder with parameters to guide himself and design a correct formwork.

**Key words:** Formwork, concrete, lateral pressure, fresh concrete, code, wood structural design, formwork elements.

## Contenido

1. Introducción.....	15
1.1 Antecedentes.....	15
1.2 Justificación.....	18
1.3 Objetivos.....	20
1.4 Actividades.....	20
1.5 Resultados esperados.....	20
1.6 Definiciones.....	21
2. Desarrollo del tema.....	22
2.1 Revisión literaria.....	22
2.1.1 Propiedades del hormigón fresco.....	22
Asentamiento del hormigón: .....	22
Temperatura.....	23
Densidad.....	23
2.1.2 Presión lateral del hormigón fresco.....	24
2.1.3 Diseño de encofrados.....	32
Elementos Verticales.....	32
Elementos horizontales.....	53
2.1.4 Propiedades de la madera.....	56
Tipo y nombre .....	59
Densidad.....	60

Propiedades mecánicas (Resistencias y módulo de elasticidad) .....	61
Maderas para tableros de encofrado .....	62
2.1.5 Herramientas de cálculo existentes.....	65
2.2 Elaboración de guías de diseño. ....	67
2.3 Ejemplos de aplicación.....	97
Elemento de muro.....	97
Elemento de columna .....	102
Elemento de losa.....	106
Parte inferior de la viga .....	112
3. Conclusiones y recomendaciones .....	115
Referencias .....	117

## Índice de tablas

Tabla 1: Requisitos para aplicabilidad de fórmulas para el cálculo de la presión ejercida por el concreto. ....	27
Tabla 2: Obtención de coeficiente químico en función del tipo de cemento, porcentaje de escoria de cemento, ceniza volante y uso de retardantes. ....	28
Tabla 3: Coeficientes de peso unitario. ....	29
Tabla 4: Requisitos para aplicabilidad de fórmulas para el cálculo de la presión ejercida por el concreto en unidades del Sistema Internacional. ....	30
Tabla 5: Obtención de coeficiente químico en función del tipo de cemento, porcentaje de escoria de cemento, ceniza volante y uso de retardantes, en unidades del Sistema Internacional. ....	31
Tabla 6: Coeficientes de peso unitario en unidades del ACI en inglés. ....	31
Tabla 7: Coeficientes de peso unitario en unidades del Sistema Internacional. ....	32
Tabla 8: Clasificación del tipo de madera en función de su especie. ....	57
Tabla 9: Clasificación del tipo de madera en función de su nombre científico, densidad y grupo. ....	57
Tabla 10: Clasificación del tipo de madera en función de su nombre científico, densidad y grupo. ....	58
Tabla 11: Clasificación del tipo de madera en función de su densidad básica. ....	61
<i>Tabla 12: Esfuerzos admisibles en la madera. ....</i>	<i>62</i>
Tabla 13: Módulo de elasticidad. ....	62
Tabla 14: Tableros de encofrado en Ecuador. ....	63

Tabla 15:Propiedades Mecánicas de Tableros de encofrado en Ecuador.....	64
Tabla 16:Propiedades Geométricas de Tableros de encofrado en Ecuador.....	64
Tabla 17:Expresiones para el cálculo de espaciamiento seguro en elementos de encofrado. ....	68
Tabla 18:: Expresiones para el cálculo de espaciamiento seguro en elementos de encofrado. ....	68
Tabla 19:Materiales y medidas para largueros y montantes.....	72
Tabla 20:Espaciamiento seguro para soporte de tableros clase B para tres o más luces.73	
Tabla 21:Espaciamiento seguro para soporte de tableros clase B para tres o más luces.74	
Tabla 22:Espaciamiento seguro para soporte de tableros clase B para una sola luz. ....	75
Tabla 23:Leyenda del control de espaciamiento seguro.....	75
Tabla 24:Espaciamiento seguro para soporte de montantes de madera Tipo A de tres o más luces. ....	76
Tabla 25:Espaciamiento seguro para soporte de montantes de madera Tipo B de tres o más luces. ....	78
Tabla 26:Espaciamiento seguro para soporte de montantes de madera Tipo C de tres o más luces. ....	79
Tabla 27:Espaciamiento seguro para soporte de montantes de madera Tipo A de dos luces. ....	80
Tabla 28:Espaciamiento seguro para soporte de montantes de madera Tipo B de dos luces. ....	81

Tabla 29:Espaciamiento seguro para soporte de montantes de madera Tipo C de dos luces. ....	82
Tabla 30:Espaciamiento seguro para soporte de montantes de madera Tipo A de una luz. .....	83
Tabla 31:Espaciamiento seguro para soporte de montantes de madera Tipo B de una luz .....	84
Tabla 32:Espaciamiento seguro para soporte de montantes de madera Tipo C de una luz. .....	85
Tabla 33:Espaciamiento seguro para soporte elementos de double wales de madera tipo A para 3 luces. ....	86
Tabla 34:Espaciamiento seguro para soporte elementos de double wales de madera tipo B para 3 luces. ....	87
Tabla 35:Espaciamiento seguro para soporte elementos de double wales de madera tipo C para 3 luces. ....	88
Tabla 36:Espaciamiento seguro para soporte elementos de double wales de madera tipo A para 2 luces. ....	89
Tabla 37:Espaciamiento seguro para soporte elementos de double wales de madera tipo B para 2 luces. ....	90
Tabla 38:Espaciamiento seguro para soporte elementos de double wales de madera tipo C para 2 luces. ....	91
Tabla 39:Espaciamiento seguro para soporte elementos de double wales de madera tipo A para 1 luz.....	92

Tabla 40:Espaciamiento seguro para soporte elementos de double wales de madera tipo B para 1 luz.....	93
Tabla 41:Espaciamiento seguro para soporte elementos de double wales de madera tipo C para 1 luz.....	94
Tabla 42:Cargas axiales admisibles en puntales metálicos telescópicos.....	95

## Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Distribución de costos en un elemento de losa en obra ejecutada in situ.	16
Ilustración 2: Distribución de costos en un elemento de pared en obra ejecutada in situ.	16
Ilustración 3: Ejemplo de fallo de encofrado de una estructura. ....	19
Ilustración 4: Distribución de presión lateral del concreto fresco .....	25
Ilustración 5: Desarrollo de pendiente de presión lateral en elementos a, b y c.....	26
Ilustración 6: Ejemplo de columna con secciones según INEN.....	33
Ilustración 7: Ejemplo de columna con secciones según manual de seguridad del maestro, aceros Arequipa. ....	34
Ilustración 8: Ejemplo de columna incluyendo cuarterones.....	35
Ilustración 9: Encofrado de madera para muros.....	41
Ilustración 10: Encofrado de madera para muros con sus respectivas secciones.....	42
Ilustración 11: Encofrado de madera para losa y vigas.....	54
Ilustración 12: Medidas estándar de tableros contrachapados.....	63
Ilustración 13: Ecuaciones para el chequeo de cortante en base a las diferentes luces de apoyo. ....	69
Ilustración 14: Ecuaciones para el chequeo de deflexión en base a las diferentes luces de apoyo. ....	70
Ilustración 15: Ecuaciones para el chequeo de flexión en base a las diferentes luces de apoyo. ....	71
Ilustración 16: Espaciamiento obtenido de tabla No.17 .....	97

Ilustración 17:Espaciamiento obtenido de tabla No.21 .....	99
Ilustración 18:Espaciamiento obtenido de tabla No.30. ....	101
Ilustración 19:Espaciamiento obtenido de tabla No.17 .....	103
Ilustración 20:Espaciamiento obtenido de tabla No.21 .....	104
Ilustración 21:Espaciamiento obtenido de tabla No.21 .....	105
Ilustración 22:Espaciamiento obtenido de tabla No.21 .....	107
Ilustración 23:Espaciamiento obtenido de tabla No.17 .....	108
Ilustración 24:Espaciamiento obtenido de tabla No.21 .....	110
Ilustración 25:Carga admisible en puntales obtenido de tabla No.39 .....	111
Ilustración 26: Calculo mediante hoja de cálculo desarrollada por Rodrigo Hidrobo. ....	114

## **1. Introducción**

### **1.1 Antecedentes.**

El continuo desarrollo de la economía y tecnología global mantiene una relación directa con el progreso en la industria de la construcción. Específicamente, desde el siglo XXI, la industria de la construcción se ha convertido en la industria líder en la economía mundial (Xiao, 2021). Dentro de la gigante industria de la construcción no solo se consideran rubros importantes a los materiales y la gestión del proyecto, sino también a los procesos constructivos. El encofrado de una obra civil tiene un gran impacto, no solo en velocidad de construcción, seguridad, acabados del elemento de hormigón, sino también en su gran influencia económica dentro de la obra.

El encofrado se define como una estructura temporal la cual tiene como fin contener y brindar apoyo al concreto fresco hasta que se pueda mantener por sí mismo. Esta estructura, que, en muchos casos, es de madera, moldea al concreto en una forma y tamaño determinado (Pawar & Atterde, 2014).

El encofrado a su vez representa un valor significativo en el presupuesto total de la obra. Es así como en el informe de Awad S Hanna en 1999, se destaca cómo tanto la mano de obra para encofrados y los materiales necesarios para su elaboración conllevan más de la mitad del coste total de la construcción tanto para los ejemplos de losa y muro ejecutados in situ.

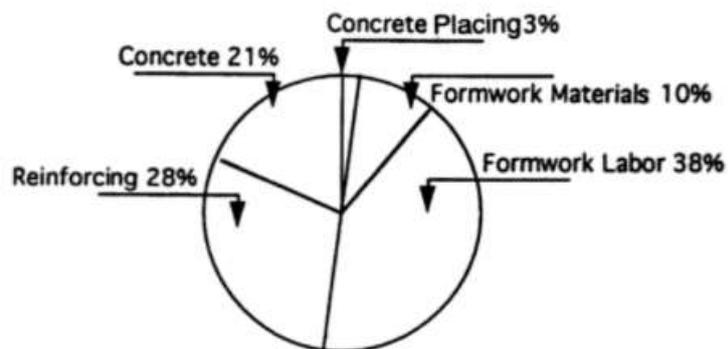


Ilustración 1: Distribución de costos en un elemento de losa en obra ejecutada in situ.

Fuente: (Hanna, 1999)

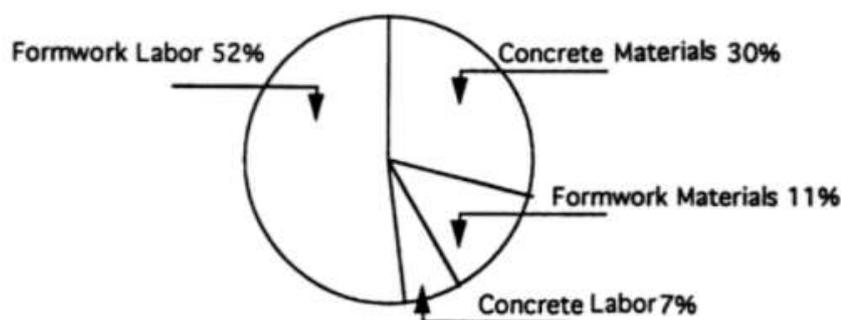


Ilustración 2: Distribución de costos en un elemento de pared en obra ejecutada in situ.

Fuente: (Hanna, 1999)

Es importante mencionar que, el proceso de encofrado en madera brinda una ventaja económica en la gestión de construcción (Xiao, 2021). Debido a que el costo de utilización de esta materia prima para montar encofrados permite un ahorro en el costo total como resultado en la disminución de costos por la mano de obra que se requiere y también en su facilidad de traslado. De manera que, el uso de la madera en el proceso de encofrado resulta viable para la realidad ecuatoriana.

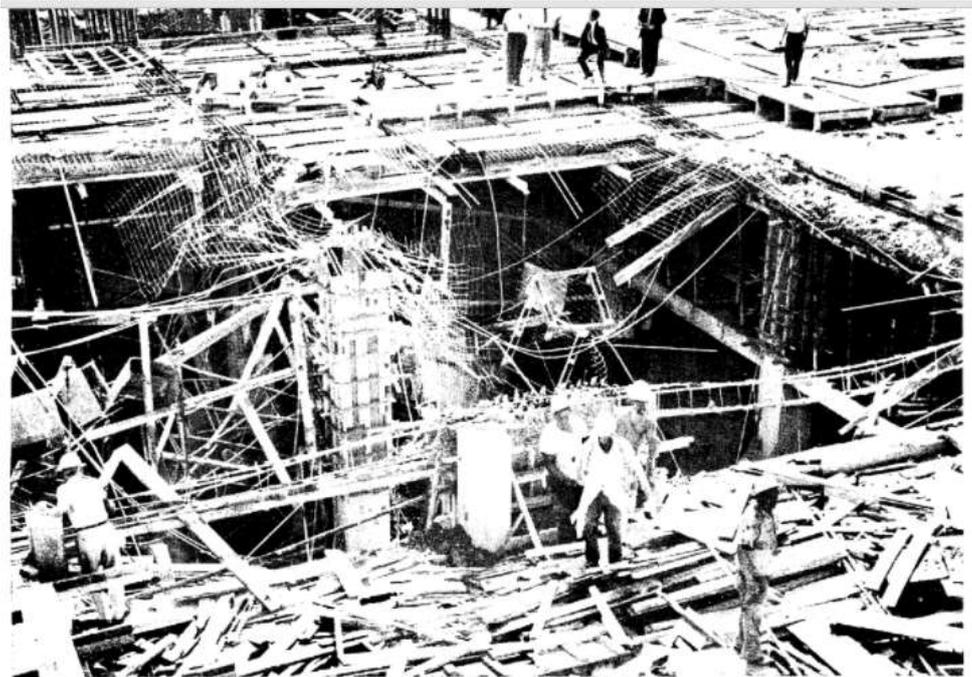
A escala local la guía práctica del instituto ecuatoriano de normalización, GPE-016, desarrollada en 1978, expone el diseño y construcción de encofrados en Ecuador. Sin embargo, a más de que la vigencia de la guía, no la hace muy fiable, esta no contiene una guía de diseño de encofrados de madera en específico, sino recomendaciones y montajes generales.

## 1.2 Justificación.

Existe una relación directamente proporcional entre el paso del tiempo y el aumento de obras civiles, específicamente residenciales alrededor del mundo. Según la Organización de Naciones Unidas, se proyecta que, en los próximos 30 años, cerca del 2050, la población aumente cerca de los 9.700 millones de personas (Organización de las Naciones Unidas, 2021). En el ámbito civil, esto implica tomar las obras civiles como un requerimiento para un desarrollo óptimo de la población. Como un ejemplo de este crecimiento a escala nacional, se puede tomar en cuenta que el crecimiento de la población urbana durante la última década del siglo XX fue 4 veces mayor que la rural (INEC, 2005). El crecimiento poblacional es una constante en el paso del tiempo y por ende del crecimiento urbano.

La calidad estructural de las obras civiles depende de varios factores. La calidad y rendimiento del encofrado puede comprometer el correcto desempeño de la estructura. Otro de los factores fundamentales en los cuales recae la capacidad de la estructura recae en el personal constructivo y administrativo. En Quito, el 60% de viviendas son informales (CAMICON, 2017), esto implica que la construcción informal trae consigo métodos basados en la experiencia del personal constructivo, la cual muchas veces no es óptima. Al hablar de métodos constructivos los cuales perjudican la calidad de los materiales en la construcción, es imprescindible mencionar el encofrado de madera.

La calidad del encofrado influye directamente el desempeño del hormigón como material estructural. Tanto el tamaño, la forma, y el alineamiento de vigas, losas y otros elementos estructurales de concreto dependen de un correcto proceso de encofrado. Las dimensiones deben ser las adecuadas para brindar suficiente rigidez al elemento para mantener la forma deseada en el hormigón durante el fraguado (Hurd, 2005). Un proceso de encofrado empírico muchas veces no solo resulta en deficiencias estructurales, si no también, en costos económicos extra e incluso accidentes importantes dentro de la obra civil.



*Ilustración 3: Ejemplo de fallo de encofrado de una estructura.*

Fuente: (Hurd, 2005)

Por otro lado, el encofrado de madera ejecutado de manera correcta puede tener varias ventajas en la construcción, como seguridad y reducción de costos en la obra civil (Hanna, 1999). La importancia de un buen encofrado recae en uno de los aspectos más importante de la construcción, la seguridad del personal. Y por el lado económico, un encofrado correcto evita gastos extraordinarios los cuales pueden limitar el progreso de la obra.

Por estas razones expuestas es de suma importancia la incorporación de una guía para el diseño de encofrados de madera en la construcción ecuatoriana. En esta guía se podrá calcular la geometría de los elementos de encofrado y a su vez una detallada explicación de su armado. El fin de esta guía es limitar las prácticas empíricas entorno al armado de encofrados de madera el cual es fundamental para el desarrollo de la construcción en nuestro país.

### **1.3 Objetivos.**

En esta sección se presentan los objetivos de la investigación. Tanto generales como específicos para la resolución de la investigación.

El objetivo general del proyecto es:

- a) Desarrollar una Guía de diseño de encofrados de madera para la construcción ecuatoriana.

Como objetivos específicos se plantearon los siguientes:

- a) Revisar la normativa para el diseño de encofrados y diseño estructural en madera.
- b) Elaborar herramientas de diseño de encofrados de madera para columnas, muros, puntales y tableros.
- c) Aplicación de las herramientas mediante ejemplos de columna, muro y losa de entrepiso.

### **1.4 Actividades.**

Las actividades para realizarse para el desarrollo del proyecto son:

- a) Estudiar normativa para el diseño de encofrados.
- b) Estudiar normativa para el diseño estructural en madera.
- c) Desarrollar herramientas de diseño de columnas y muros.
- d) Desarrollar herramientas de diseño de losas de entrepiso.
- e) Elaborar ejemplos de aplicación de las herramientas de diseño.

### **1.5 Resultados esperados.**

Los resultados esperados para este trabajo son los presentados a continuación:

- a) Revisión del procedimiento del diseño de encofrados

- b) Revisión de la normativa para el diseño estructural en madera.
- c) Herramientas de diseño de encofrados de columnas, muros y losas.
- d) Ejemplos de aplicación de las herramientas de diseño.

### 1.6 Definiciones.

- $C_{CPmax}$ : Presión máxima ejercida por el hormigón fresco [ $\frac{lb^2}{ft}$ ]
- R: Tasa de colocación del hormigón [ $\frac{ft}{h}$ ]
- w: Peso del hormigón [ $\frac{lb}{ft^3}$ ]
- h: Altura del elemento de hormigón [ft]
- T: Temperatura de colocación [°F]
- $C_C$ : Coeficiente químico
- $C_w$ : Coeficiente del peso específico
- $\rho$ : Densidad del hormigón [ $\frac{kg}{m^3}$ ]
- g: Gravedad [ $\frac{m}{s^2}$ ]

## 2. Desarrollo del tema

### 2.1 Revisión literaria.

#### 2.1.1 *Propiedades del hormigón fresco.*

El concreto se muestra como un material compuesto el cual está formado por cemento, agregados, aditivos y agua en diferentes cantidades. Las diferentes variaciones en la mezcla del concreto ofrecen algunos beneficios como aceleración o retardado en el curado, control del contenido de aire, reducción de agua, plasticidad y trabajabilidad (Ramachandran, 1996). En un inicio, la mezcla de los diferentes compuestos da como resultado una mezcla líquida la cual posteriormente se endurecerá para formar el hormigón fraguado. Esta mezcla anteriormente mencionada se define como hormigón fresco, el cual a su vez se caracteriza por contener los diferentes materiales mezclados, pero aún no ha sido colocado sin sobrepasar 2 horas en temperaturas promedio y 1 hora en temperaturas altas desde el comienzo del mezclado (Sanhueza, 2017). Las propiedades del hormigón, tanto fresco como curado, definen la calidad estructural del material. Tal y como explica Ramachandran, la calidad del concreto fresco está determinada por la homogeneidad con la cual el hormigón puede ser mezclado, transportado, compactado y acabado (Ramachandran, 1996). Por esta razón, es fundamental considerar las siguientes propiedades del hormigón fresco durante su colocación en obra.

Asentamiento del hormigón:

La prueba de asentamiento del hormigón fresco es la medición de la cantidad de deformación total en el concreto por su propio peso (Murata, 1984). El asentamiento en el hormigón fresco se muestra como una medida de consistencia como índice de

trabajabilidad en la obra. El método más común está descrito por la ASTM C143. Se usa un cono tronco de 30 milímetros de altura para posteriormente llenarlo de concreto fresco y retirar el cono suavemente. La diferencia entre alturas entre el cono y el hormigón asentándose muestra la consistencia de este (Ramachandran, 1996). Se recomienda un rango de 75-100 milímetros de asentamiento para concreto estructural previo a su aplicación en el encofrado.

### Temperatura

La temperatura se muestra como una variable condicionante al hablar del rendimiento del hormigón fresco y su trabajabilidad. El Instituto Americano del Concreto, recomienda protección en el concreto después de su posicionamiento en el encofrado si existen vientos fuertes, neblina, lluvia u otros factores climáticos. Si existe una exposición a clima frío se deben tomar en cuenta las consideraciones mínimas de la sección 4.2.2.7 del ACI 301-99. De igual manera para temperaturas altas, el concreto no debe exceder los 90 grados Fahrenheit o 32.2 grados Celsius a menos que sea permitido. Variaciones de temperatura pueden causar pérdidas en la consistencia, curado temprano o juntas frías en el hormigón (American Concrete Institute, 1999).

### Densidad

La densidad del hormigón fresco o de cualquier material depende de la masa y el volumen, el cual ocupa el material a una temperatura definida. Sin embargo, esta relación entre masa, volumen y temperatura es uno de los factores más importantes para determinar la porosidad, durabilidad y resistencia de la pasta de cemento dentro del concreto (Ramachandran, 1996). Al hablar de volumen y masa en el hormigón es imprescindible mencionar los encofrados los cuales están diseñados para ocupar el concreto fresco. La importancia de la densidad radica en su influencia en la presión la cual siente el encofrado (Kovler & Roussel, 2011). McGraw-Hill, en su enciclopedia de

ciencia y tecnología, define la densidad del hormigón de la siguiente manera. ‘‘El volumen generalmente asumido para la densidad del concreto es de  $150 \frac{lb}{ft^3}$ ’’. Lo cual resulta en un valor de  $2400 \frac{kg}{m^3}$  en unidades del SI.

### ***2.1.2 Presión lateral del hormigón fresco.***

Durante la colocación del hormigón fresco, este se comporta como un fluido el cual ejerce presión en el encofrado conforme este se llena (Kovler & Roussel, 2011) . Es decir, la presión la cual siente el encofrado como resultado del hormigón fresco tiene una relación directamente proporcional con respecto a la altura y cantidad de hormigón colocado específicamente para encofrados verticales como columnas y muros. Tal y como menciona Rodney, en su investigación sobre la presión en el encofrado de concreto, a más de la altura y cantidad de hormigón colocado existen diferentes factores, los cuales influyen la presión lateral producida por el hormigón. Entre los más comunes se encuentran, la velocidad de llenado, el método de colocación del concreto, la consistencia y porciones de la mezcla y la temperatura del concreto (Rodin, 2015).

Durante la colocación del hormigón, es fundamental tomar en cuenta un correcto proceso de colocación tomando en cuenta métodos de compactación. La presión lateral ejercida en el encofrado depende de las características y el método de compactación usado al colocar el concreto. Comúnmente se utilizan los métodos de vibrado externo e interno (American Concrete Institute , 2014).

Comúnmente la presión lateral en el encofrado de concreto se puede definir como en la siguiente ilustración:

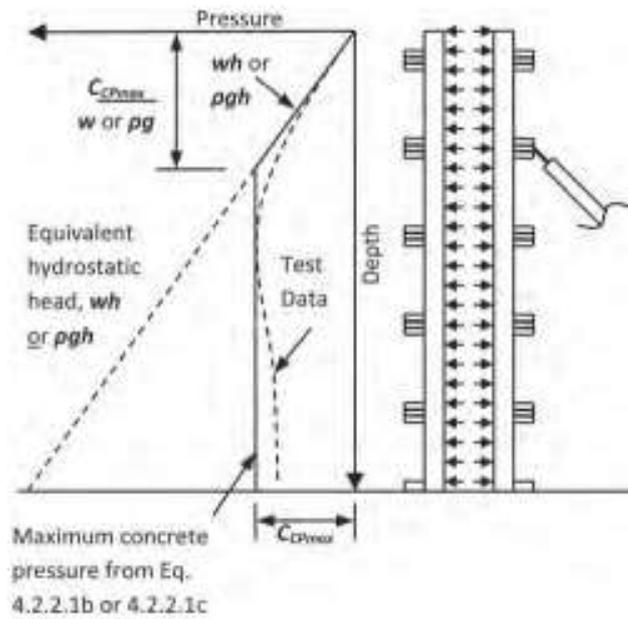


Fig. 4.2.2—Concrete lateral pressure distribution.

*Ilustración 4: Distribución de presión lateral del concreto fresco*

Fuente: (American Concrete Institute , 2014)

Comúnmente, si se cumplen los requerimientos de la sección 4.2.2 del ACI 347R-14, se asume que la presión que ejerce el hormigón es igual a la presión hidrostática del concreto. Sin embargo, es fundamental analizar el siguiente ejemplo en el cual se presentan diferentes presiones para diferentes profundidades de colocación de concreto fresco tomando en cuenta que se usa el método de vibración (1 metro de profundidad) para compactar el hormigón fresco.

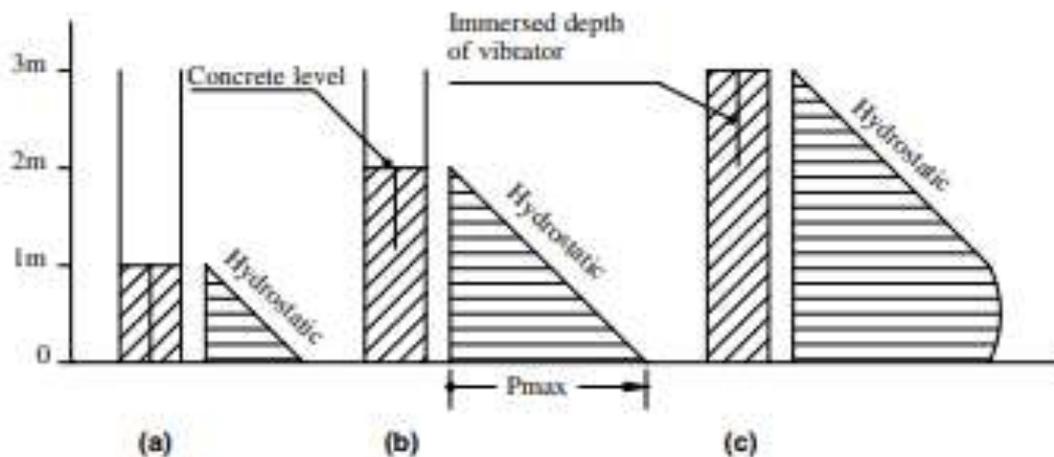


Fig. 1. Development of lateral pressure envelope.

*Ilustración 5: Desarrollo de pendiente de presión lateral en elementos a, b y c.*

Fuente: (Arslan, 2004)

Se puede denotar que en los dos primeros casos se tiene una presión lateral en el encofrado igual a la presión hidrostática como resultado de la fluidización del hormigón mediante el vibrador el cual ha sido introducido 1 metro. Mientras que, para el caso © se tiene que la presión en el encofrado resulta ser hidrostática en la parte superior, mientras que, en la parte inferior, donde el efecto del vibrador es nulo, el hormigón fresco resulta desarrollando esfuerzos de corte, asentamiento vertical y fricción con la superficie del encofrado.

La presión lateral ejercida por parte del hormigón determina el diseño a presión lateral del encofrado, asumiendo un correcto proceso de colocación del hormigón se puede calcular la presión lateral del hormigón de la siguiente manera:

**Ecuaciones para el cálculo de la presión lateral en el hormigón sistema inglés:**

El ACI 347R-14 y en el ACI se proponen las siguientes ecuaciones:

$$C_{CP} = w * h \quad (1)$$

$$C_{CPmax} = C_c * C_w * (150 + \frac{900R}{T}) \quad (2)$$

$$C_{CPmax} = C_c * C_w * (150 + \frac{43400}{T} + \frac{2800R}{T}) \quad (3)$$

Donde:

$C_{CPmax}$ : Presión máxima ejercida por el hormigón fresco [ $\frac{lb^2}{ft}$ ]

R: Tasa de colocación del hormigón [ $\frac{ft}{h}$ ]

w: Densidad del hormigón [ $\frac{lb}{ft^3}$ ]

h: Altura del elemento de hormigón [ft]

T: Temperatura de colocación [°F]

$C_c$ : Coeficiente químico

$C_w$ : Coeficiente del peso específico

Para la correcta aplicación de estas fórmulas mencionadas anteriormente es fundamental tomar en cuenta las tablas expuestas a continuación:

*Tabla 1: Requisitos para aplicabilidad de fórmulas para el cálculo de la presión ejercida por el concreto.*

Asentamiento	Profundidad de Vibración Interna	Elemento	Tasa de colocación	Ecuación de presión
> 7 [in]	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	(1)
≤ 7[in]	> 4 [ft]	Cualquiera	Cualquiera	(1)
≤ 7[in]	≤ 4 [ft]	Columna	Cualquiera	(2)
		Muro ≤ 14 [ft] altura	< 7[ft/h]	(2)
		Muro >14 [ft] altura	< 7[ft/h]	(3)
		Muro	7 a 15 [ft/h]	(3)
>15 [ft/h]	(1)			

Fuente: (Johnston, 2014)

**Nota:** El asentamiento tomado para determinar la presión lateral debe ser posterior a agregar aditivos. Las columnas no deben exceder 6.5ft de ninguna dimensión. Los muros se definen como elementos verticales tomando en cuenta que por lo menos 1 plano de dimensión que exceda 6.5ft.

De igual manera como expone el ACI, es fundamental tomar en cuenta la siguiente tabla donde se determina el coeficiente químico. Para el uso de esta tabla es necesario conocer el tipo de cemento usado para la mezcla, el porcentaje de ceniza volante, el porcentaje de escoria del concreto, y si se usaron retardantes en la mezcla.

*Tabla 2: Obtención de coeficiente químico en función del tipo de cemento, porcentaje de escoria de cemento, ceniza volante y uso de retardantes.*

Tipo de Cemento	Escoria de cemento	Ceniza volante	Retardantes	Cc
I, II o III.	Ninguno	Ninguno	Ninguno	1.0
			Incluido	1.2
Cualquiera	< 70%	< 40%	Ninguno	1.2
			Incluido	1.4
	≥ 70%	≥ 40%	Ninguno	1.4
			Incluido	1.5

Fuente: (Johnston, 2014)

Como parte final, se necesita obtener el coeficiente de peso unitario. Este se calcula mediante la siguiente tabla:

*Tabla 3: Coeficientes de peso unitario.*

Densidad del hormigón [lb/ft <sup>3</sup> ]	C <sub>w</sub>
w < 140	0.5 [1+(w/141)] pero no menos de 0.80
140 ≤ w ≤ 150	1.0
w > 150	w/145

Fuente: (Johnston, 2014)

Al referirnos a las ecuaciones y tablas del ACI presentadas anteriormente es preciso mencionar que estas están aplicadas y especificadas en unidades del sistema inglés, al tomar en cuenta la aplicación de estas ecuaciones a la construcción ecuatoriana es fundamental tomar en cuenta la investigación de Sebastián Beltrán en el 2020 donde se presentan las ecuaciones transcritas al sistema internacional.

### **Ecuaciones para el cálculo de la presión lateral en el hormigón sistema internacional:**

Al igual que en la sección a) presentada anteriormente, se presentan las mismas ecuaciones traducidas al sistema internacional en la investigación de Sebastián Beltrán en el año 2020.

$$C_{CP} = \rho * g * h \quad (4)$$

$$C_{CPmax} = C_c * C_w * (150 + \frac{900R}{T}) \quad (5)$$

$$C_{CPmax} = C_c * C_w * (150 + \frac{43400}{T} + \frac{2800R}{T}) \quad (6)$$

**Fuente:** (Béltran, 2020)

Donde:

$C_{CPmax}$ : Presión máxima ejercida por el hormigón fresco [ $\frac{lb^2}{ft}$ ]

R: Tasa de colocación del hormigón [ $\frac{ft}{h}$ ]

w: Densidad del hormigón [ $\frac{lb}{ft^3}$ ]

h: Altura del elemento de hormigón [ft]

$\rho$ : Densidad del hormigón [ $\frac{kg}{m^3}$ ]

g: Gravedad [ $\frac{m}{s^2}$ ]

T: Temperatura de colocación [°F]

$C_C$ : Coeficiente químico

$C_w$ : Coeficiente del peso específico

Así mismo, se tomó en cuenta las diferentes tablas de aplicabilidad de fórmulas, coeficiente químico y el coeficiente de peso unitario en el sistema internacional.

Estas, se presentan a continuación:

*Tabla 4: Requisitos para aplicabilidad de fórmulas para el cálculo de la presión ejercida por el concreto en unidades del Sistema Internacional.*

Asentamiento	Profundidad de Vibración Interna	Elemento	Tasa de colocación	Ecuación de presión
> que 175 [mm]	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	(4)
≤ a 175 [mm]	> que 1.20 [m]	Cualquiera	Cualquiera	(4)
≤ a 175 [mm]	≤ a 1.20 [m]	Columna	Cualquiera	(5)
		Muro ≤ 4.20 [m] de altura	< que 2.1 [m/h]	(5)
		Muro > 4.20 [m] de altura	< que 2.1 [m/h]	(6)
		Muro	2.1 a 4.5 [m/h] > 4.5 [m/h]	(6) (5)

Tabla 5: Obtención de coeficiente químico en función del tipo de cemento, porcentaje de escoria de cemento, ceniza volante y uso de retardantes, en unidades del Sistema Internacional.

Tipo de Cemento	Escoria de cemento	Ceniza volante	Retardantes	Cc
I, II o III.	Ninguno	Ninguno	Ninguno	1.0
			Incluido	1.2
Cualquiera	< 70%	< 40%	Ninguno	1.2
			Incluido	1.4
	≥ 70%	≥ 40%	Ninguno	1.4
			Incluido	1.5

Fuente: (Béltran, 2020)

Al hablar del coeficiente de peso unitario, dentro del ACI 347R-14, la tabla 4.2.2.1a la cual expone el coeficiente de peso unitario nos brinda la alternativa en unidades del SI como podemos ver a continuación:

Tabla 6: Coeficientes de peso unitario en unidades del ACI en inglés.

SI version	
Density of concrete, kg/m <sup>3</sup>	C <sub>w</sub>
$\rho < 2240$	$0.5[1 + (w/2320 \text{ kg/m}^3)]$ but not less than 0.80
$2240 \leq \rho \leq 2400$	1.0
$\rho > 2400$	$w/2320 \text{ kg/m}^3$

**Fuente:** (American Concrete Institute , 2014)

De igual manera, se toma en cuenta la versión traducida de esta tabla:

*Tabla 7: Coeficientes de peso unitario en unidades del Sistema Internacional.*

Sistema Internacional SI Units	
Densidad del hormigón kg/m <sup>3</sup>	Coficiente Densidad C <sub>w</sub>
$\rho < 2240$	$0.5[1+(w/2320(\text{kg/m}^3))]$ pero no menor que 0.80
$2240 \leq \rho \leq 2400$	1.0
$\rho > 2400$	$w/2320(\text{kg/m}^3)$

**Fuente:** (Béltran, 2020)

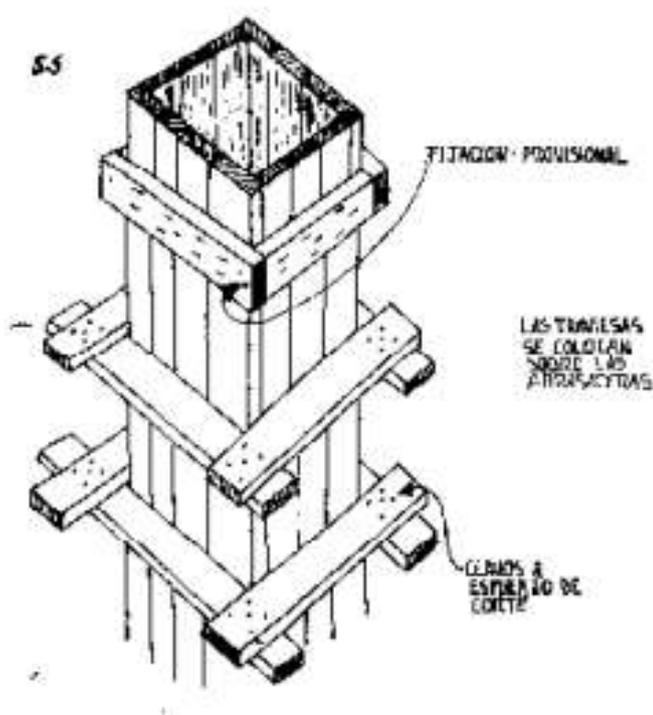
### **2.1.3 Diseño de encofrados.**

La elección del sistema de encofrado incluye el proceso de selección de sistemas de encofrado para diferentes elementos estructurales. También incluye el proceso de selección de accesorios, arriostramiento y liberación del encofrado (Hanna, 1999). De igual manera, la calidad de los encofrados debe estar asegurada durante su proceso de construcción y montaje.

Elementos Verticales.

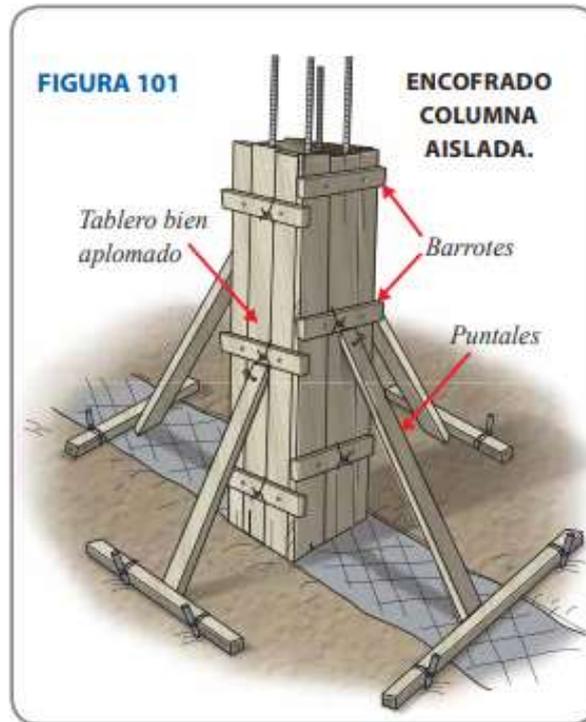
## I. Sistema de Encofrado para Columnas

Dentro de los elementos verticales de una estructura, encontramos las columnas, las cuales tienen una relevancia muy grande dentro de la estructura. Las columnas comúnmente soportan el peso de los pisos superiores por lo cual resulta sumamente importante no perjudicar su calidad durante el encofrado. A más de los diferentes factores mencionados, los cuales condicionan el desarrollo del hormigón fresco dentro del encofrado, es fundamental recalcar que una óptima construcción y armado del encofrado son imprescindibles en obra. Para esto, es fundamental conocer los diferentes elementos y secciones para desarrollar el encofrado de madera óptimo para elementos de columna.



*Ilustración 6: Ejemplo de columna con secciones según INEN.*

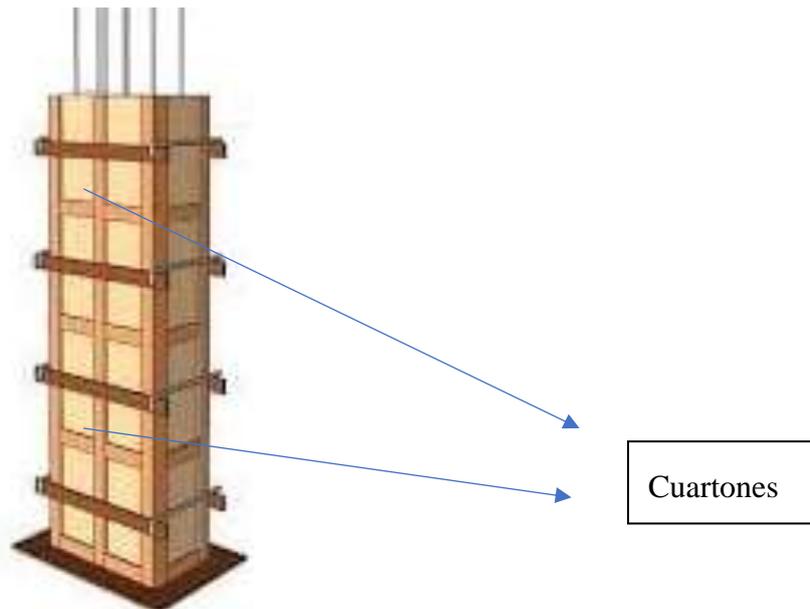
**Fuente:** (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1976)



*Ilustración 7: Ejemplo de columna con secciones según manual de seguridad del maestro, aceros Arequipa.*

Fuente: (Corporación de Aceros Arequipa, 2010)

Cabe recalcar que, de la figura 6 podemos tomar en cuenta que los barros son comúnmente denominados trabillas en Ecuador. Se toma en cuenta que como refuerzos longitudinales común incluir cuarterones, como se expresa a continuación:



*Ilustración 8: Ejemplo de columna incluyendo cuarterones.*

Fuente: (Gharpedia, 2022)

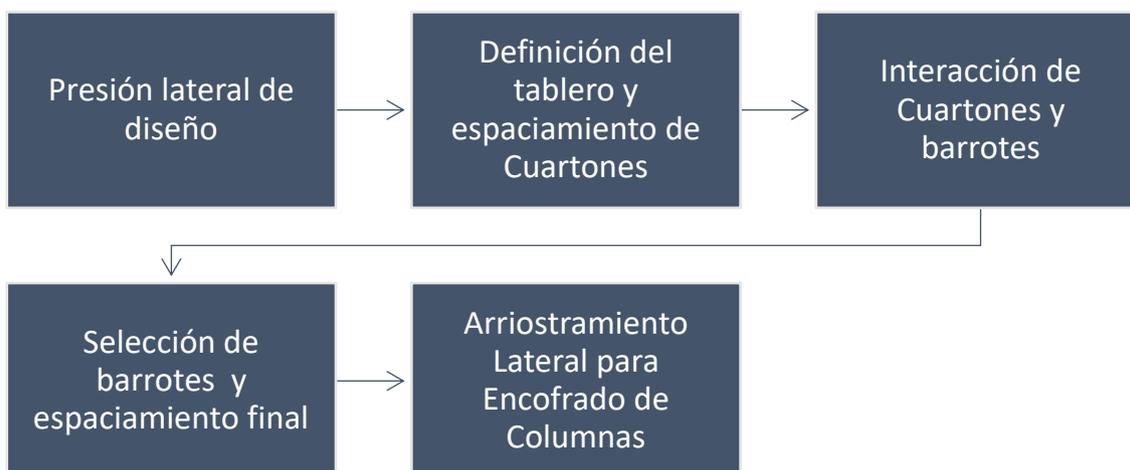
Para un mejor entendimiento de las diferentes secciones de madera en un encofrado es preciso tomar en cuenta que las secciones se definen por sus dimensiones y geometría. Tejado en el 2021, presenta una clasificación de los diferentes elementos, la cual es útil para tomar en cuenta las dimensiones y tamaños de los elementos de madera.

- **“Cuarterón:** elemento de madera, frecuentemente de 60 x 40 x 2500 mm utilizado para armar encofrados y hacer tableros.” (Tejado, 2015)
- **“Tabla:** elemento de madera decorativa o rústica, con anchos entre 100 y 300 mm y un grueso de 10 a 30 mm. Se distingue entre tablas rústicas, que pueden presentar irregularidades en la superficie y se destinan a armar encofrados; y tablas tratadas que tienen un uso decorativo.” (Tejado, 2015)
- **“Tablón:** piezas parecidas a las anteriores, con sección rectangular generalmente gruesos de 50 a 120 mm, anchos entre 100 y 300 mm y aristas vivas con longitudes variables entre 2 y 10 metros. Como las tablas, tienen

posible destino decorativo si han sido tratadas o para el armado de encofrados si son rústicas.” (Tejado, 2015)

Por otro lado, a los barrotes presentados en la figura No. 6 también se les suele referir como traviesas.

Una vez definidas las diferentes partes de un encofrado de columnas, es fundamental tomar en cuenta la siguiente serie de pasos los cuales deben ser seguidos de manera secuencial y ordenada.



Cada uno de los pasos presentados en el cuadro anterior posee su importancia dentro del diseño de encofrados. A continuación, se definirá a profundidad cada uno de los pasos.

1. **Cálculo de la presión lateral de diseño:** Como se expuso anteriormente, se debe estimar la máxima presión ejercida por el hormigón fresco hacia el encofrado.

2. **Definición del tablero y espaciamento de cuartones:** En base a la presión de diseño y cálculos se selecciona el espesor del tablero y también la ubicación de los cuartones los cuales aportan rigidez al tablero.
3. **Interacción de cuartones con barrotos:** En esta sección se debe diseñar la madera para que esta cumpla con diferentes chequeos de resistencia. Entre estos se toma en cuenta diseño por flexión, por cortante y por deflexión.

Para realizar estos cálculos se tomaron en cuenta las siguientes ecuaciones del ACI SP-4:

La siguiente ecuación para el cálculo de la carga distribuida:

$$w = C_{CPmax} * s$$

En donde las variables son:

w: carga distribuida en el encofrado [ $\frac{kN}{m}$ ]

S: espaciamento de cuartones [m]

$C_{CPmax}$ : Presión máxima ejercida por el hormigón fresco [ $\frac{lb^2}{ft}$ ]

La siguiente ecuación donde se calcula el módulo de sección requerido:

$$S_x = \frac{b * d^2}{6}$$

Donde las variables son:

Sx: Modulo de sección requerido [ $m^3$ ]

b: Ancho del cuartón [m]

h: Espesor del cuartón [m]

La siguiente ecuación expresa la longitud permitida del tramo por flexión :

$$l = 3.16 * \sqrt{\frac{F'b * Sx}{w}}$$

Donde:

l= Longitud máxima permitida del tramo [m]

Fm= Valor de diseño por flexión admisible [MPa]

Sx: Modulo de sección requerido [ $m^3$ ]

w: carga distribuida en el encofrado [ $\frac{kN}{m}$ ]

Por otro lado, es necesario obtener la inercia del cuartón la cual se representa por:

$$I = \frac{bh^3}{12}$$

Donde:

I: Inercia del cuartón [ $m^4$ ]

b: Ancho del cuartón [m]

h: Espesor del cuartón [m]

Una vez obtenida la inercia, se puede obtener la longitud máxima permitida en el tramo por deflexión:

$$l = 0.738 * \sqrt[3]{\frac{EI}{w}}$$

l: Longitud máxima permitida del tramo [m]

E: Modulo de elasticidad [MPa]

I: Inercia del cuartón [  $m^4$  ]

w: carga distribuida en el encofrado [  $\frac{kN}{m}$  ]

Finalmente, se puede obtener el valor de la longitud máxima permitida del tramo por cortante:

$$l = \frac{Fv * b * d}{0.9 * w} + 1.67 * d + 0.83 * lb$$

Donde:

l= Longitud máxima permitida del tramo [m]

Fv: Valor de Diseño por cortante por madera admisible [MPa]

b: Ancho barrotes o trabillas [m]

d: Espesor de los barrotes o trabillas [m]

lb: Longitud de contacto de soportes [m]

4. **Selección de barrotes y espaciamiento final:** Se debe tomar en cuenta los cálculos de la sección 3 para flexión, deflexión y cortante. Dentro de estos se obtuvo un valor de longitud permitida del tramo para los diferentes chequeos, se procede a seleccionar el menor valor dentro de estos.
5. **Arriostramiento lateral para encofrado de columnas [Puntales o pies derechos]:** En su mayoría la instalación y calidad de los puntales dependen de la obra civil. Sobre todo, de su presupuesto y materiales disponibles. En su mayoría los puntales se instalan en base al conocimiento del personal constructivo, sin embargo, es necesario comprobar la esbeltez de los puntales en

base a su geometría para comprobar que estos soporten la estructura de manera correcta.

Se toma en cuenta la siguiente ecuación para el cálculo de la fuerza de reacción en el puntal:

$$P = z * H * (0.55 * h) * \left( \frac{L}{x * y} \right)$$

Donde:

P: Fuerza de reacción en el puntal [kN]

z= separación asumida entre puntales a lo largo del elemento.

H: Carga de Viento mínima por el ACI-SP4 [kN/m]

h: Altura del muro [m]

L: Longitud del puntal [m]

x: Distancia horizontal del puntal [m]

y: Distancia Vertical del puntal [m]

## II. Sistema de Encofrado para muros

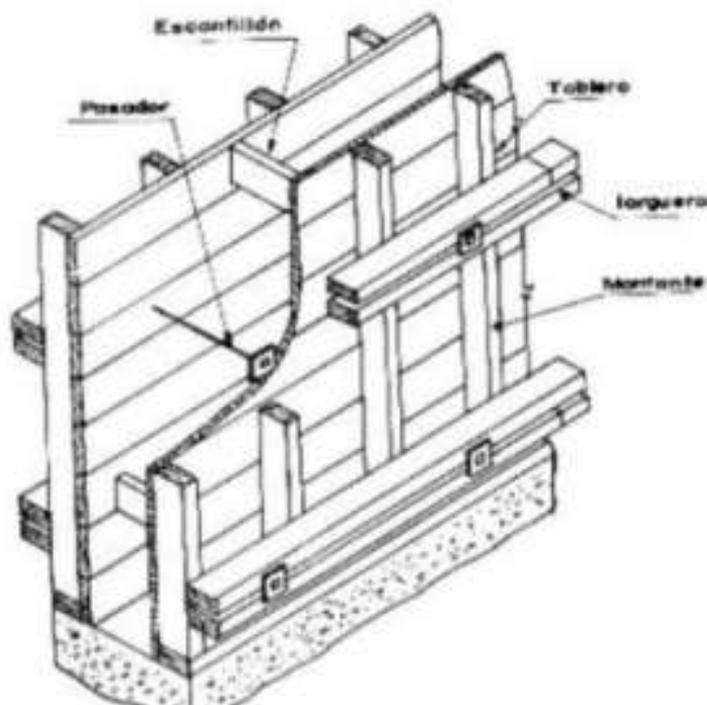
El encofrado en muros también se debe diseñar para que los miembros tengan dimensiones, formas, alineamientos, elevaciones y posiciones correctas con su respectivo alineamiento (American Concrete Institute , 2014).



*Ilustración 9: Encofrado de madera para muros.*

Fuente: (Machnikowski, 2011)

Al igual que en el encofrado de columnas, como parte fundamental, se necesita definir los diferentes elementos del encofrado de muros y representarlos para posteriormente entender de mejor manera los pasos para calcular el encofrado. En la siguiente ilustración podemos ver el encofrado de madera de muro y sus respectivos elementos en base a la investigación de Beltrán en el 2020.

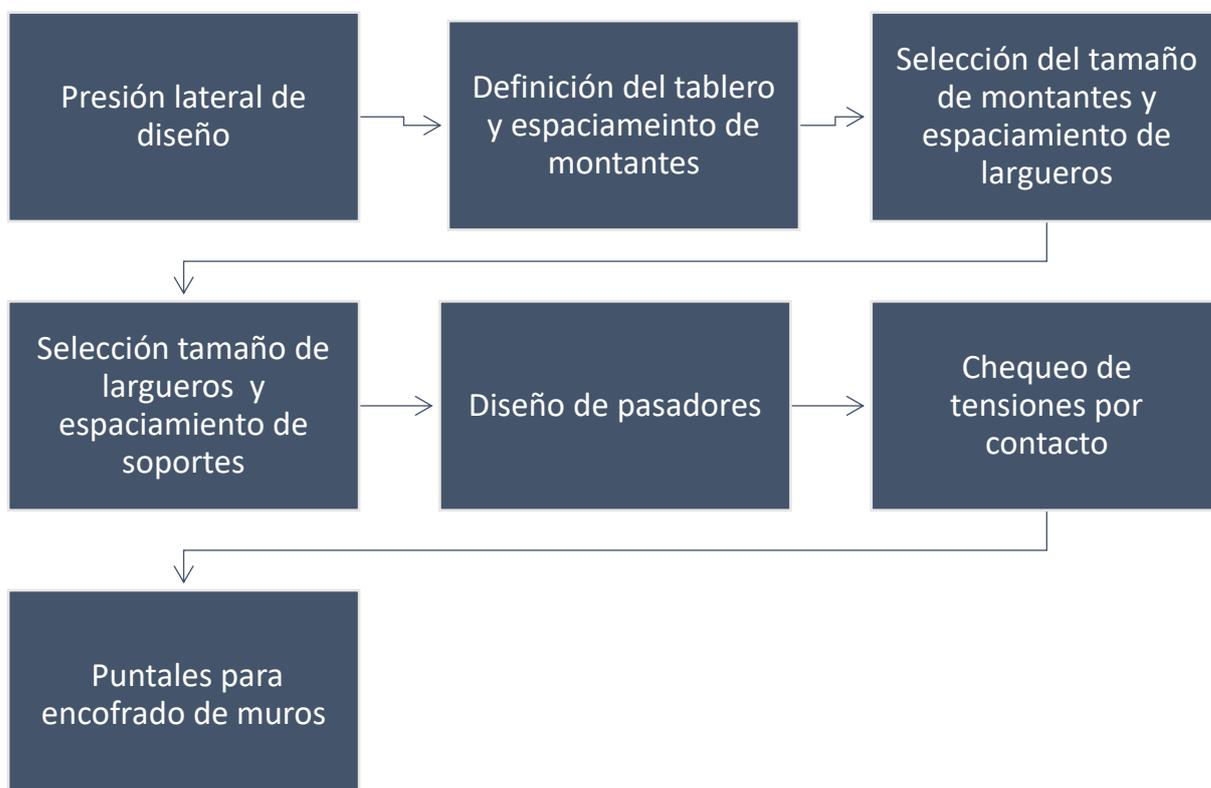


*Ilustración 10:Encofrado de madera para muros con sus respectivas secciones.*

**Fuente:** (Béltran, 2020)

De la ilustración No.8 Se puede definir que el montante actúa paralelo al llenado del hormigón y el larguero perpendicular al llenado del hormigón. Ambos elementos rigidizan el tablero para soportar la presión ejercida por el hormigón fresco. Previo al diseño, es preciso definir los largueros y montantes los cuales se exponen en las figuras 8 y 9. “Los largueros se definen como una viga de acero, hormigón o madera la cual está encargada de soportar cargas concentradas en puntos aislados a lo largo de su longitud.” (Diccionario de Arquitectura y Construcción, 2022) La misma fuente define montantes de la siguiente manera, “soporte vertical empleado para alinear o reforzar los largueros o carreras.” (Diccionario de Arquitectura y Construcción, 2022)

Al igual que en el encofrado de columnas, el siguiente diagrama expresa los respectivos pasos para completar un diseño de encofrado de muros de manera ordenada.



1. **Presión lateral de diseño:** La presión máxima ejercida por el hormigón fresco se calcula con las fórmulas presentadas en las secciones anteriores.
2. **Espesor de tablero y espaciamiento de montantes:** Al igual que en el encofrado de columnas se debe diseñar el encofrado para cumplir con esfuerzos de flexión, cortante y chequeos de deflexión. Como se mencionó anteriormente, los montantes aportan rigidez al tablero. Y el tablero se constituye de la unión de tablas definidas en la sección anterior.  
  
Para los cálculos en esta sección se tomaron en cuenta las siguientes ecuaciones del ACI SP-4, empezando por la carga distribuida.

$$w = C_{CPmax} * s$$

En donde las variables son:

w: carga distribuida en el encofrado [ $\frac{kN}{m}$ ]

S: espaciamiento asumido de montantes [m]

$C_{CPmax}$ : Presión máxima ejercida por el hormigón fresco [kPa]

También se definió la longitud permitida del tramo por flexión:

$$l = 3.16 \sqrt{\frac{F'm * KS}{w}}$$

Donde:

l: longitud máxima permitida del tramo [m]

F'm: Valor ajustado de diseño por flexión [MPa]

KS: Modulo de sección requerido  $m^3$

También la longitud máxima permitida por deflexión,

$$l = 0.738 * \sqrt[3]{\frac{EI}{w}}$$

l: Longitud máxima permitida del tramo [m]

E: Modulo de elasticidad [MPa]

I: Inercia del montante [  $m^4$  ]

w: carga distribuida en el encofrado [  $\frac{kN}{m}$  ]

De igual manera, la longitud máxima permitida por corte:

$$l = \frac{Frs * (Cc)}{0.6w}$$

Donde:

l= Longitud máxima permitida del tramo [m]

Frs: Valor ajustado de diseño de cortante por madera [MPa]

w: carga distribuida [kN/m]

Cc: Constante de corte [m<sup>2</sup>]

### 3. Selección del tamaño de montantes y espaciamiento de largueros:

Al igual que los montantes, los largueros actúan como soportes del tablero, en este caso, estos resultan ser transversales al llenado del hormigón, actúan como “vigas” en el tablero.

Los largueros al igual que en la sección anterior, en esta, deben cumplir con sus respectivos chequeos de flexión, deflexión y cortante. Los cálculos para esta sección se realizaron mediante las siguientes ecuaciones:

Se calculó la carga distribuida para los montantes:

$$w = C_{CPmax} * s$$

Donde:

w: carga distribuida para los montantes [ $\frac{kN}{m}$ ]

S: espaciamiento de montantes [m]

$C_{CPmax}$ : Presión máxima ejercida por el hormigón fresco [kPa]

Se calculó la inercia de los montantes:

$$I = \frac{bh^3}{12}$$

Donde:

I: Inercia del montante  $m^4$ ]

b: Ancho del montante [m]

h: Espesor del montante [m]

De igual manera se calculó el módulo de sección requerido para montantes:

$$Sx = \frac{b * d^2}{6}$$

Donde las variables son:

Sx: Modulo de sección requerido [ $m^3$ ]

b: Ancho del montante [m]

h: Espesor del montante [m]

Por otro lado, se calculó, La longitud máxima permitida del tramo por flexión:

$$l = 3.16 * \sqrt{\frac{F' b * Sx}{w}}$$

Donde:

l= Longitud máxima permitida del tramo [m]

Fm= Valor de diseño por flexión admisible [MPa]

Sx: Modulo de sección requerido [ $m^3$ ]

w: carga distribuida en el encofrado [ $\frac{kN}{m}$ ]

De igual manera, la longitud máxima permitida del tramo por deflexiones:

$$l = 0.738 * \sqrt[3]{\frac{EI}{w}}$$

l: Longitud máxima permitida del tramo [m]

E: Modulo de elasticidad [MPa]

I: Inercia [ $m^4$ ]

w: carga distribuida en el encofrado [ $\frac{kN}{m}$ ]

Finalmente, se puede obtener el el valor de la longitud máxima permitida del tramo por cortante:

$$l = \frac{Fv * b * d}{0.9 * w} + 1.67 * d + 0.83 * lb$$

Donde:

$l$ = Longitud máxima permitida del tramo [m]

$F_v$ : Valor de Diseño por cortante por madera admisible [MPa]

$b$ : Ancho del larguero [m]

$d$ : Espesor del larguero [m]

$l_b$ : Longitud de contacto de soportes [m]

#### 4. Selección Tamaño de largueros y espaciamiento de soportes:

Al igual que en secciones anteriores, se deben comprobar la longitud máxima permitida del tramo para el diseño por comprobación de deflexiones y cortante. Se tomaron en cuenta las siguientes ecuaciones para esta sección:

Se calculó la carga distribuida:

$$w = C_{CPmax} * s$$

$w$ : carga distribuida para los largueros [ $\frac{kN}{m}$ ]

$S$ : espaciamiento de largueros [m]

$C_{CPmax}$ : Presión máxima ejercida por el hormigón fresco [kPa]

Igual que en secciones anteriores, se calcula el módulo de sección:

Se calculó el módulo de sección requerido para montantes:

$$S_x = \frac{b * d^2}{6}$$

Donde las variables son:

$S_x$ : Modulo de sección requerido [ $m^3$ ]

b: Ancho del larguero [m]

h: Espesor del larguero [m]

Así mismo, se calcula el módulo de sección mínimo:

$$S_{xmin} = \frac{w * l^2}{10 * F'b}$$

Donde:

Sxmin: Modulo de sección mínimo[m<sup>3</sup>]

w: Carga distribuida [ $\frac{kN}{m}$ ]

l: Longitud máxima permitida del tramo [m]

F'b: Valor de Diseño por flexión admisible [MPa]

Finalmente, se calcula la longitud permitida el tramo:

$$l = \frac{Fv * b * d}{0.9 * w} + 1.67 * d + 0.83 * lb$$

Donde:

l= Longitud máxima permitida del tramo [m]

Fv: Valor de Diseño por cortante por madera admisible [MPa]

b: Ancho del larguero [m]

d: Espesor del larguero [m]

w: Carga Distribuida [ $\frac{kN}{m}$ ]

lb: Longitud de contacto de soportes [m]

## 5. Diseño del pasador:

Como parte principal, se comprueba la longitud de tramo asumida para comprobar que el diseño del pasador sea el correcto. La función del pasador es juntar dos largueros para que estos no dejen de aportar su rigidez. Para el diseño y capacidad del pasador se tomaron en cuenta las siguientes ecuaciones:

Se calculó la carga distribuida en el larguero:

$$w = C_{CPmax} * s$$

w: carga distribuida para los largueros [ $\frac{kN}{m}$ ]

S: espaciamiento de largueros [m]

$C_{CPmax}$ : Presión máxima ejercida por el hormigón fresco [kPa]

Se tomó en cuenta también el área de la varilla calculada mediante la siguiente ecuación:

$$A = \frac{\pi * D^2}{4}$$

Donde:

A: Área de la varilla de refuerzo [ $m^2$ ]

D: Diámetro de la varilla de refuerzo [m]

De igual manera se calcula la capacidad del pasador, la cual se define por:

$$F_u = F_y * A$$

Donde

$F_u$ : Capacidad permisible del pasador o sujetador [kN]

$F_y$ : Esfuerzo de Fluencia del material del pasador [MPa]

A: Area de la varilla de refuerzo [ $m^2$ ]

Finalmente, el espaciamiento del pasador se define mediante la siguiente ecuación:

$$S_{pasador} = \frac{F_u}{w * 1.1}$$

Donde:

$S_{pasador}$ : Espaciamiento de los pasadores [m]

$F_u$ : Capacidad permisible del pasador o sujetador [kN]

w: carga distribuida para los largueros [ $\frac{kN}{m}$ ]

## 6. Comprobación de tensiones por contacto:

Al hablar de deformaciones por contacto es imprescindible mencionar las tensiones como resultado del contacto. En muchos casos, las tensiones suelen ser localizadas y no afectan el comportamiento de la pieza en contacto, en otros casos las tensiones son dominantes y afectan significativamente a los parámetros fundamentales del problema (Doblare, 1989). Este es el caso de elementos de unión como los pasadores y unión entre montantes y largueros en el encofrado de madera.

Para el cálculo de estos, se tomaron en cuenta las siguientes ecuaciones:

distribuida en el larguero:

$$w = C_{CPmax} * s$$

w: carga distribuida para los largueros [ $\frac{kN}{m}$ ]

S: espaciamiento de largueros [m]

$C_{CPmax}$ : Presión máxima ejercida por el hormigón fresco [kPa]

Así mismo, se calculó la reacción de la carga la cual se transmite del montante al larguero:

Los puntales o pies derechos deben calcularse a base de una carga total de 4 500 kg/cm<sup>2</sup> (párrafo 2.3.d) y estar sujetos a pandeo (doblamiento por esbeltez). Donde:

P: Reacción de la carga transmitida del montante al larguero [kN]

l: Espaciamiento de largueros [m]

Se calcula de igual manera el área de contacto del larguero:

$$Area_{contacto} = b_{placa} * \#largueros * b_{largueros}$$

$Area_{contacto}$ : Área de contacto [m<sup>2</sup>]

$b_{placa}$ : Ancho de placa de sujetadores [m]

$b_{largueros}$ : Ancho del larguero [m]

También se procede a calcular el esfuerzo de compresión perpendicular como resultado de la reacción de la carga transmitida al montante sobre el área de contacto del larguero.

$$fp = \frac{P}{Area_{contacto}}$$

Fp= Esfuerzo de compresión perpendicular [MPa]

P: Reacción de la carga transmitida del montante al larguero [kN]

$Area_{contacto}$ : Área de contacto [m<sup>2</sup>]

### 7.Arriostramineto Lateral para encofrados de muros

En su mayoría la instalación y calidad de los puntales dependen de la obra civil. Sobre todo, de su presupuesto y materiales disponibles. Los puntales o pies derechos se definen como, ‘‘pieza estructural empleado para resistir compresiones longitudinales; también llamado pie derecho, poste.’’ (Diccionario de Arquitectura y Construcción, 2022) En la INEN GPE-016, se estipula lo siguiente: ‘‘Los puntales o pies derechos deben calcularse a base de una carga total de 4 500 kg/cm<sup>2</sup> (párrafo 2.3.d) y estar sujetos a pandeo (doblamiento por esbeltez).’’ (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1976) A más de tomar en cuenta la esbeltez del apoyo vertical u horizontal, dado que está sometido a cargas axiales, es necesario considerar una carga horizontal la cual hace referencia al viento.

Para esta sección, se tomaron en cuenta las siguientes ecuaciones:

Como primera parte, se tomó en cuenta la carga horizontal:

$$F_w = H * h$$

F<sub>w</sub>: Fuerza del viento [kN]

H: Carga del viento mínima definida por el ACI SP-4 [kN/m]

h: Altura del muro

También, se toma en cuenta obtener una carga de viento mínima a una distancia de 0.55h que se muestra como:

$$H' = 0.55h$$

H': Carga del viento a una distancia de 0.55h [m]

h: Altura del muro [m]

Se calcula la fuerza dentro del puntal como la reacción en este elemento:

$$P = z * H * (0.55h) \left( \frac{L}{x * y} \right)$$

Donde:

P: Reacción del puntal [kN]

z: Separación asumida entre puntales [m]

H: Carga de Viento mínima por el ACI SP-4 [kN/m]

h: Altura del muro [m]

L: Longitud de puntal [m]

x: Distancia horizontal de puntal [m]

y: Distancia vertical de puntal [m]

Elementos horizontales.

#### I. Elementos de viga y losa

Los elementos de viga y losa comúnmente se suelen encofrar y desencofrar a la par.

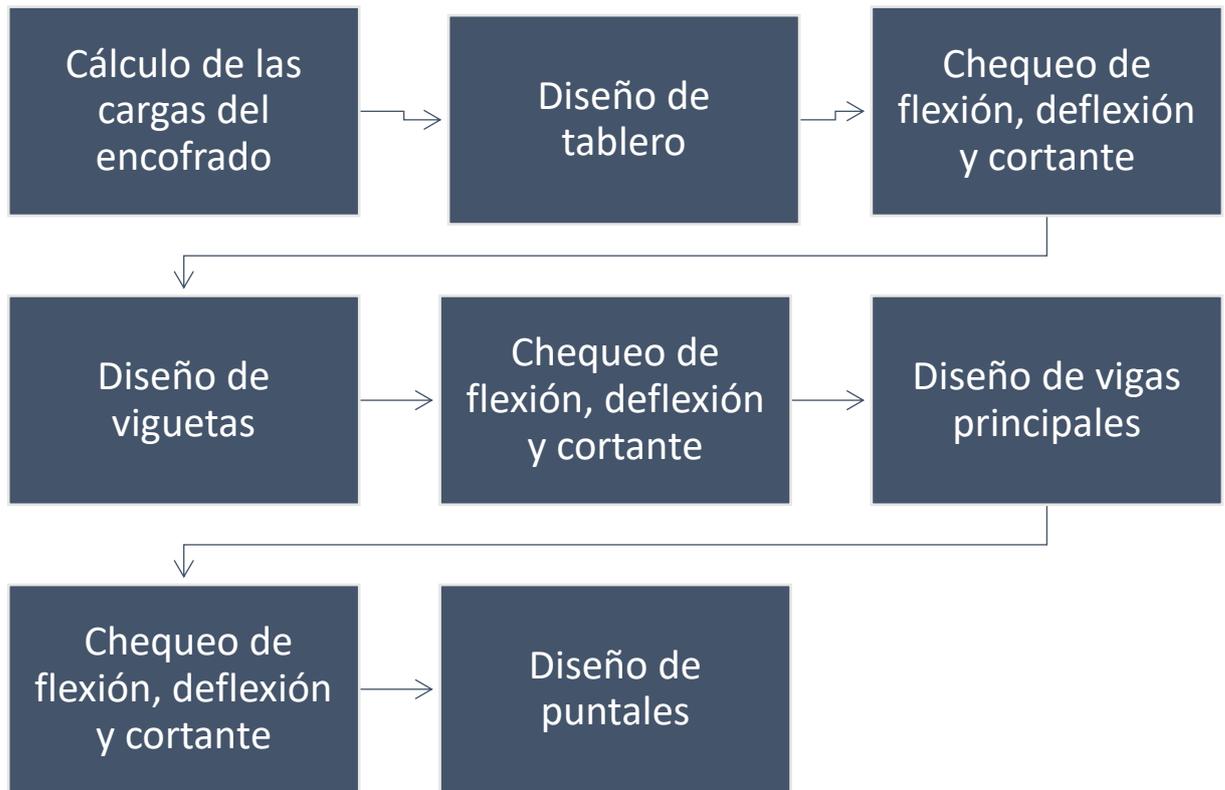
Se tomó como consideración que el encofrado inferior para una losa tiene que soportar las vigas junto con la losa. El encofrado de vigas y losas se arma como en la siguiente ilustración:



*Ilustración 11: Encofrado de madera para losa y vigas.*

Fuente: (DEHORMIGON, 2021)

Para el diseño de este encofrado se tomaron en cuenta los siguientes pasos:



#### ***2.1.4 Propiedades de la madera.***

El sistema tradicional de encofrados es uno de los sistemas de encofrados más usados en el mundo de la construcción (Al-ashwal, Abdullah, & Zakaria, 2017). La construcción tradicional de encofrados para la construcción en hormigón recae sobre el uso de la madera como material principal como refleja Al-ashwal et al en la siguiente cita:

“ El sistema de encofrado convencional (tradicional) generalmente consta de paneles de madera contrachapada estándares atados junto con marco de madera sobre sus espaldas con miembros horizontales llamados muros para resistir el peso y fuerza horizontal del concreto húmedo” (Al-ashwal, Abdullah, & Zakaria, 2017)

Se recalca en el uso de la madera como material estructural sometido a cargas para determinar un buen encofrado. Sin embargo, tal y como en la cita se menciona el encofrado no se basa en un solo tipo de madera. La madera presenta una gran variedad de propiedades físicas y mecánicas incluso para una misma especie, estas son resultado de la calidad del suelo, características del clima, procedencia, densidad básica y de los defectos que puede tener una pieza determinada (Norma Ecuatoriana de la Construcción , 2015). Cada tipo de madera posee sus diferentes propiedades físicas las cuales condicionan su utilidad como encofrado. Es preciso mencionar los diferentes tipos de madera.

En la guía para el diseño de estructuras de madera en conformidad con la norma ecuatoriana de la construcción expone la siguiente tabla para reconocer los grupos de maderas estudiadas en el PADT-REFORT de madera estructural en Ecuador.

Tabla 8: Clasificación del tipo de madera en función de su especie

Pais	Grupo	Nombre Común	Nombre Científico
Ecuador	A	Caimitillo	<i>Chrysophyllum cainito</i>
		Guayacán Pechiche	<i>Minquartia guianensis</i>
	B	Chanul	<i>Humiriastrum procerum</i>
		Moral fino	<i>Chlorophora tinctoria</i>
		Pituca	<i>Clarisia rasemosa</i>
	C	Fernansánchez	<i>Triplaris guayaquilensis</i>
		Mascarey	<i>Hieronyma chocoensis</i>
		Sande	<i>Brosimum utile</i>

Fuente: (Guía práctica para el diseño de estructuras de madera , 2016)

De igual manera, se tomó en cuenta la investigación de Beltrán en el 2020 para la clasificación de los diferentes tipos de maderas ecuatorianas.

Tabla 9: Clasificación del tipo de madera en función de su nombre científico, densidad y grupo.

Maderas Típicas para la Conformación de Encofrados			
Nombre	Nombre Científico	Densidad Básica (g/cm <sup>3</sup> )	Grupo
Guayacán	<i>Minquartia (Pechiche)</i>	0.76	A
Moral Fino	<i>Chlorophore</i>	0.71	A
Chanul	<i>Humiriastrum</i>	0.66	B
Moral Bobo	<i>Clarisie Rasemose</i>	0.61	B
Mascarey	<i>Hieronyma</i>	0.58	B
Romerillo Fino	<i>Podocarpus</i>	0.57	B
Eucalipto	<i>Eucalyptus</i>	0.56	B
Pacora	<i>Cespedezia</i>	0.54	C
Fernán Sánchez	<i>Triplaris</i>	0.53	C
Pituca	<i>Clarisie</i>	0.51	C
Sande	<i>Brosimum Utile</i>	0.4	C
Pino Insigne	<i>Pinus Radiata</i>	0.4	C
Laurel	<i>Cordia Alliodora</i>	0.4	C
Seique	<i>Cedrelinga</i>	0.39	D
Jíbaro	<i>Pichecellobium</i>	0.36	D
Balsa	<i>Ochroma Pyramidale</i>	0.13	D

Fuente: (Béltran, 2020)

También, se tomó en cuenta la siguiente clasificación presentada por Hidrobo en su herramienta de cálculo de encofrados verticales en el 2021. En la siguiente tabla, se presentan los tipos de madera, con su respectivo nombre, densidad y el grupo al cual corresponden.

Tabla 10: Clasificación del tipo de madera en función de su nombre científico, densidad y grupo

Maderas Típicas para la Conformación de Encofrados en el Ecuador y sus Densidades Básicas		
Nombre de la Madera	Clase de Uso	Densidad [g/cm <sup>3</sup> ]
Guayacán	Tipo A	0.76
Moral Fino	Tipo A	0.71
MDP	Tipo A	0.77 ~ 0.71
MDF	Tipo A	0.77
MDP	Tipo B	0.70 ~ 0.60
Ceibo	Tipo B	0.70 ~ 0.55
Colorado	Tipo B	0.70 ~ 0.55
Tamburo	Tipo B	0.70 ~ 0.55
Zapote	Tipo B	0.70 ~ 0.55
Chanul	Tipo B	0.66
Tríplex Marino	Tipo B	0.61 ~ 0.56
Moral Bobo	Tipo B	0.61
Mascarey	Tipo B	0.58
Romerillo Fino	Tipo B	0.57
Dura Tríplex	Tipo B	0.57
Eucalipto	Tipo B	0.56
Tríplex Marino	Tipo C	0.55 ~ 0.48
Pacora	Tipo C	0.54

Tríplex Corriente	Tipo C	0.53 ~ 0.40
Fernán Sánchez	Tipo C	0.53
Pituca	Tipo C	0.51
Sande	Tipo C	0.4
Pino Insigne	Tipo C	0.4
Laurel	Tipo C	0.4
Tríplex Corriente	Tipo D	0.39 ~ 0.34
Seique	Tipo D	0.39
Jíbaro	Tipo D	0.36
Balsa	Tipo D	0.13

Fuente: (Hidrobo, 2020)

Tipo y nombre:

Tipo A: En base a la densidad de las tablas posteriores y la investigación de Hidrobo, las maderas tipo A muestran como las más resistentes. A su vez, poseen el módulo de elasticidad más significativo en comparación a los otros tipos de madera. En su mayoría se muestran como la madera de mayor calidad, con pocos defectos visibles y superficiales. Se usan para elementos estructurales importantes como columnas, vigas, puntales, viguetas, elementos de construcción de puentes, pisos, y diferentes muebles (Hidrobo, 2020).

Tipo B: Este tipo de madera se muestra mecánicamente inferior a la madera tipo A, pero de igual manera posee propiedades como densidad y módulo de elasticidad destacables. Comúnmente se utilizan para elementos como tablonés, tablas, paneles de encofrado, ventanas y puertas. Este tipo de maderas al someterse a diferentes

tratamientos para mejorar su desempeño estructural pueden ser utilizadas como elementos estructurales también. Este tipo de madera también posee varias imperfecciones físicas y mecánicas (Hidrobo, 2020).

Tipo C: La madera tipo C, por sus propiedades mecánicas es inferior en calidad y desempeño estructural que las dos categorías anteriores. Sin embargo, esta presenta características destacables como la cualidad de ser liviana. Comúnmente este tipo de madera es la más usada para encofrados. También es común su utilización en cerchas, diafragmas, contrachapados, listones y cielos rasos. Al ser de menor calidad, este tipo de madera posee defectos visuales y mecánicos más considerables (Hidrobo, 2020).

Tipo D: Este tipo de maderas no cumplen los requisitos para tomarse en cuenta como madera estructural. Estas maderas resultan sumamente livianas, en su mayoría, su uso estructural es temporal. Este tipo de madera posee varios tipos de imperfecciones físicas y mecánicas las cuales comprometen el desarrollo correcto del material. Sin embargo, por temas de costos suelen utilizarse de manera temporal en ciertos elementos de encofrado. También suele tener aplicaciones de cajonería o aislantes acústicos (Hidrobo, 2020).

### Densidad

La NEC, en el 2015, categoriza las maderas ecuatorianas en diferentes aspectos, como por su densidad, por sus esfuerzos admisibles e incluso por su módulo de elasticidad. En la sección 5.3 de la NEC, clasifica la madera en 3 diferentes tipos en función a su densidad como se puede ver en la siguiente tabla:

Tabla 11: Clasificación del tipo de madera en función de su densidad básica.

Tipo de Madera	Rango de Densidad Básica [ $\frac{g}{cm^3}$ ]	
A	0.9	0.71
B	0.7	0.26
C	0.55	0.4

Fuente: (Norma Ecuatoriana de la Construcción , 2015)

Se considera también, que si su densidad es inferior a 0.40 la madera se clasifica como tipo D (No estructural). En la NEC, se especifica que la densidad es una de las características más importantes para determinar la resistencia de la madera. Las maderas de mayor densidad requieren de un mayor tiempo para secarse y llegar a su contenido de humedad de equilibrio, la densidad de la madera posee una relación directamente proporcional con la resistencia de esta (Norma Ecuatoriana de la Construcción , 2015).

#### Propiedades mecánicas (Resistencias y módulo de elasticidad)

Al tomar en cuenta los diferentes tipos de maderas ecuatorianas, se deben tener en cuenta las diferentes propiedades mecánicas de la madera en función de su clasificación. Las propiedades ingenieriles de la madera se remontan a las diferentes características específicas de cada material, como lo son su resistencia a la flexión, compresión, corte la cuales están definidas por el módulo de elasticidad del material. El diseño de los encofrados debe efectuarse tomando en cuenta las variables mencionadas con anterioridad al igual que el diseño de estructural de madera. En el caso del diseño estructural en madera, se considera, al igual que en el hormigón, un diseño por esfuerzos admisibles, donde se calcula la capacidad del elemento y la carga a la cual se le va a someter. Por obvias razones, se busca que el esfuerzo admisible sea mayor al esfuerzo aplicado en encofrados y estructuras de madera.

En la siguiente tabla obtenida de la NEC se presentan los diferentes esfuerzos admisibles en la madera para los 3 grupos de madera mencionado anteriormente.

*Tabla 12: Esfuerzos admisibles en la madera*

Esfuerzos admisibles [MPa]					
Grupo	Flexión [ $F_m$ ]	Tracción paralela [ $F_t$ ]	Compresión paralela [ $F_c$ ]	Compresión perpendicular [ $F_{cp}$ ]	Corte paralelo [ $F_v$ ]
A	21	14.5	14.5	4	1.5
B	15	10.5	11	2.8	1.2
C	10	7.5	8	1.5	0.8

Fuente: (Norma Ecuatoriana de la Construcción , 2015)

Por otro lado, en la NEC, también se especifica los diferentes valores para el módulo de elasticidad o módulo de Young, dependiendo del tipo de madera.

*Tabla 13: Módulo de elasticidad*

Módulo de elasticidad [MPa]		
	$E_{min}$	$E_{promedio}$
A	9500	13000
B	7500	10000
C	5500	9000

Fuente: (Norma Ecuatoriana de la Construcción , 2015)

#### Maderas para tableros de encofrado

Es importante mencionar que, para el diseño de tableros, se utilizan categorías específicas las cuales dependen del proveedor. Dentro de las más significativas en la construcción ecuatoriana expuestas en la tabla No. 8, se pueden encontrar a las

categorías MDP, MDF y triplex. Las características de estas muchas veces dependen del fabricante o proveedor. En base a la norma ecuatoriana de la construcción, se obtuvo la siguiente tabla para la representación de los tableros en Ecuador.

*Tabla 14: Tableros de encofrado en Ecuador.*

Tableros de Encofrados			
Nombre	Proveedor	Densidad básica [ $g/cm^3$ ]	Grupo
MDP	Novopan	0.77-0.60	A-B
MDF	Edimca	0.77	A
Dura Triplex	Edimca	0.57	B
Triplex Marino	Edimca	0.61-0.48	B-C
Triplex Corriente	Edimca	0.53-0.34	C-D

Fuente: (Norma Ecuatoriana de la Construcción , 2015)

Cabe recalcar que, en base a la Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2366:2005, se pueden determinar las dimensiones estándar de madera contrachapada en Ecuador. Las cuales se pueden notar en la siguiente ilustración:

**3.1.1 Longitud (en mm):** 2440 2440 2140 2140 Tolerancia  $\pm 2,0$  mm

**3.1.2 Anchura (en mm):** 1220 920 1220 920 Tolerancia  $\pm 2,0$  mm

*Ilustración 12: Medidas estándar de tableros contrachapados.*

Fuente: (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 2012)

Por otro lado, al hablar de las propiedades mecánicas de los tableros ecuatorianos cabe recalcar que, al no poseer suficientes datos de los mismos, se procedió a realizar una transformación del ACI-SP4(14), de los valores de diseño de tableros de encofrados clase B los cuales fueron realizados por Sebastián Beltrán en el año 2020. Cabe recalcar que las propiedades de los tableros dependen totalmente de su distribuidor o fabricante en el país. En las siguientes tablas se presentan las propiedades mecánicas de los tableros y también sus propiedades geométricas asumiendo 30cm de ancho.

Tabla 15: Propiedades Mecánicas de Tableros de encofrado en Ecuador.

Valores de Diseño para Tableros Clase B						
	Factor de Fraguado del Hormigón $C_9=C_e \cdot C_d$			Valor Ajustado		
	Valor Referencia de Diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	Factor de Experiencia $C_e=1.3$	Coefficiente de Duración $C_d$	$C_d=1.0$	$C_d=1.25$	
Flexión $F'_m$	$F'_m$ 83.5	1.3	x $C_d$	108.6	135.7	
Cortante $F'_{rs}$	$F'_{rs}$ 3.1	1.3	x $C_d$	4.0	5.0	
Contacto en cara $F'_{cl}$	$F'_{cl}$ 14.7	1.3	x $C_d$	19.1	23.9	
Módulo de Elasticidad(Solo deflexión por flexión) $E'$	$E$ 105460	-	-	105460	105460	
Módulo de Elasticidad(Solo deflexión por cortante) $E'$	$E$ 105460	-	-	105460	105460	
Módulo de Elasticidad(Deflexión cortante y flexión) $E'$	$E$ 116000	-	-	116000	116000	

Fuente: (Johnston, 2014)

Tabla 16: Propiedades Geométricas de Tableros de encofrado en Ecuador.

Propiedades de Sección Efectiva para Tableros Clase B						
Espesor	30(cm) de ancho usada con fibra frontal paralela al vano			30(cm) de ancho usada con fibra frontal perpendicular al vano		
	Momento de Inercia	Módulo Sección Efectiva	Constante de Corte	Momento de Inercia	Módulo Sección Efectiva	Constante de Corte
(mm)	I (cm <sup>4</sup> )	KS (cm <sup>3</sup> )	lb/Q (cm <sup>2</sup> )	I (cm <sup>4</sup> )	KS (cm <sup>3</sup> )	lb/Q (cm <sup>2</sup> )
12	2.747	3.67	30.60	0.749	1.753	15.61
15	4.786	5.489	35.08	1.207	2.392	18.28
17	6.826	6.702	39.84	1.83	2.998	22.74
18	7.492	7.046	45.22	2.996	4.047	24.5
19	8.283	7.275	46.37	3.829	5.014	26.21
22	12.32	9.57	55.19	6.285	6.915	38.89
25	17.77	12.08	60.48	11.24	10.39	45.25
28	23.06	13.91	67.29	16.57	13.09	54.32

Fuente: (Johnston, 2014)

### ***2.1.5 Herramientas de cálculo existentes.***

Para el cálculo de las diferentes dimensiones y capacidades del encofrado de madera se tomaron en cuenta 2 fuentes importantes. El trabajo de Rodrigo Hidrobo en 2020, el cual presenta una herramienta de cálculo para elementos verticales de encofrado, lo cual hace referencia a encofrados de columnas y muros. Por otro lado, el uso del ACI SP-4 en el cual se habla del encofrado de estructuras de concreto.

En el informe de Hidrobo en el 2020, se desarrolla una herramienta de cálculo en 3 hojas de cálculo en el cual se calculan los diferentes elementos del encofrado vertical. En el trabajo de Hidrobo se introducen datos de entrada tanto para el cálculo de la presión lateral en el hormigón como para el diseño de encofrados como son el tipo de madera a usar, sus dimensiones y sus propiedades mecánicas. Estos diferentes datos se introducen en el programa para calcular, en orden; la presión lateral ejercida por el hormigón fresco, el diseño del tablero y espaciamiento de montantes para elementos de muro, el diseño de montantes y espaciamiento de largueros, el tamaño de largueros y espaciamiento de sujetadores, el diseño de sujetadores y el diseño de puntales. De igual manera para los elementos de encofrados de columna, se calculó la selección de tablero, los espaciamientos de cuarterones, la interacción entre los cuarterones y trabillas y finalmente el diseño de puntales. En resumen, esta herramienta de cálculo permite fácilmente obtener las dimensiones de los elementos los cuales componen el encofrado vertical de muros y columnas en base a las cargas aplicadas al encofrado y las propiedades mecánicas de la madera.

Por otro lado, en el ACI SP4, en el capítulo 7 se exponen los principios básicos de diseño para elementos de columna, losa, muro, y viga. Este capítulo se basa en tomar en cuenta las diferentes cargas las cuales afectan al encofrado y diseñar el encofrado para que este tenga la capacidad suficiente para resistir estas cargas. Para el diseño, se

presentan las diferentes ecuaciones expuestas anteriormente para cada de elemento de encofrado. Sin embargo, en el capítulo 9 del ACI SP-4, se muestran diferentes tablas de diseño de encofrados las cuales se han desarrollado en base a las fórmulas presentadas y analizadas en el capítulo 7 y 8. En estas tablas se muestra como el tamaño y el espaciamiento de muchos elementos de encofrado puede ser determinado sin cálculos extensivos. El proceso de diseño toma en cuenta diferentes tablas, las cuales toman en cuenta cargas aplicadas a los diferentes elementos y los posibles espaciamientos y medidas de los elementos de encofrado.

## **2.2 Elaboración de guías de diseño.**

Para la elaboración de las guías de diseño se tomó en cuenta el método de diseño del capítulo 9 del ACI SP4(14), el cual expone el uso de tablas basadas en las ecuaciones de diseño de encofrado expuestas anteriormente para seleccionar las diferentes dimensiones de los elementos de encofrado y su espaciamiento respectivo de manera más sencilla y rápida. Dado que la guía de diseño de diferentes elementos de encofrado se basa en varias consideraciones y cálculos es preciso primero exponer las tablas y su uso antes del diseño de encofrado con las mismas.

Las tablas de diseño se basan en el uso de las ecuaciones del capítulo 7 del ACI SP-4(14). En donde los diferentes elementos del encofrado son chequeados por flexión, deflexión y corte. En la misma sección 9 el Instituto de Concreto Americano incluye una tabla resumen de las diferentes expresiones usadas para el cálculo las posteriores tablas. Estas tablas corresponden a la tabla 9. 1<sup>a</sup> del ACI y 9.1b las cuales exponen las ecuaciones de cálculo utilizadas en libras sobre pulgadas y también en libras sobre pies respectivamente. A continuación, se presenta la tabla 9.1b la cual se utiliza en gran mayoría para los cálculos de las tablas posteriores. Por una parte, a pesar de que las formulas poseen unidades del sistema inglés se procedió a realizar los cálculos en unidades inglesas para posteriormente transformarlas a unidades del sistema internacional y comprobar su correcto uso. De igual manera se exponen los factores involucrados en las expresiones de la tabla 13 con su respectiva nomenclatura

Tabla 17: Expresiones para el cálculo de espaciamiento seguro en elementos de encofrado.

Table 9.1a: Expressions for calculating safe support spacing for uniformly loaded wood and plywood, where  $w$  is load expressed in lb/in.

Criterion	Single-span beam	Two-span beam	Three-span beam
$\Delta_{max} = \frac{\ell}{400}$	$\ell = 0.577 \sqrt{\frac{E'I}{w}}$	$\ell = 0.774 \sqrt{\frac{E'I}{w}}$	$\ell = 0.713 \sqrt{\frac{E'I}{w}}$
$\Delta_{max} = \frac{\ell}{360}$	$\ell = 0.598 \sqrt{\frac{E'I}{w}}$	$\ell = 0.801 \sqrt{\frac{E'I}{w}}$	$\ell = 0.739 \sqrt{\frac{E'I}{w}}$
$\Delta_{max} = \frac{\ell}{240}$	$\ell = 0.684 \sqrt{\frac{E'I}{w}}$	$\ell = 0.917 \sqrt{\frac{E'I}{w}}$	$\ell = 0.846 \sqrt{\frac{E'I}{w}}$
$\Delta_{max} = 1/16$ in.	$\ell = 1.48 \sqrt{\frac{E'I(\text{in.})}{w}}$	$\ell = 1.84 \sqrt{\frac{E'I(\text{in.})}{w}}$	$\ell = 1.74 \sqrt{\frac{E'I(\text{in.})}{w}}$
$\Delta_{max} = 1/8$ in.	$\ell = 1.76 \sqrt{\frac{E'I(\text{in.})}{w}}$	$\ell = 2.19 \sqrt{\frac{E'I(\text{in.})}{w}}$	$\ell = 2.06 \sqrt{\frac{E'I(\text{in.})}{w}}$
$\Delta_{max} = 1/4$ in.	$\ell = 2.09 \sqrt{\frac{E'I(\text{in.})}{w}}$	$\ell = 2.61 \sqrt{\frac{E'I(\text{in.})}{w}}$	$\ell = 2.45 \sqrt{\frac{E'I(\text{in.})}{w}}$
Bending	$\ell = 2.83 \sqrt{\frac{F_b' S}{w}}$	$\ell = 2.83 \sqrt{\frac{F_b' S}{w}}$	$\ell = 3.16 \sqrt{\frac{F_b' S}{w}}$
Horizontal shear	$\ell = \frac{1.33 F_v' b d}{w} + 2d + \ell_b$	$\ell = \frac{1.07 F_v' b d}{w} + 1.6d + 0.8 \ell_b$	$\ell = \frac{1.11 F_v' b d}{w} + 1.67d + 0.83 \ell_b$
Rolling shear, plywood only	$\ell = \frac{2 F_{rs}' [lb/Q]}{w} + \ell_b$	$\ell = \frac{1.6 F_{rs}' [lb/Q]}{w} + \ell_b$	$\ell = \frac{1.67 F_{rs}' [lb/Q]}{w} + \ell_b$

Note:  $\ell$  is spacing of supports, in.;  $I$  is moment of inertia, in.<sup>4</sup>;  $b$  is width of section, in.;  $d$  is depth of section, in.;  $w$  is uniform load, lb/in.;  $S$  is section modulus, in.<sup>3</sup>;  $lb/Q$  is rolling shear constant, in.<sup>2</sup>;  $\ell_b$  is bearing length, in.;  $E'$  is modulus of elasticity, psi;  $F_b'$  is allowable bending stress, psi;  $F_v'$  is allowable shear stress, psi; and  $F_{rs}'$  is allowable rolling shear stress, psi.

Fuente: (Johnston, 2014)

Tabla 18.: Expresiones para el cálculo de espaciamiento seguro en elementos de encofrado.

Factor	Definición
$l$	Espaciamiento entre apoyos
$I$	Momento de inercia
$b$	Ancho de la seccion
$d$	Espesor de la seccion
$w$	Carga uniforme aplicada
$S$	Modulo de seccion
$lb/Q$	Constante de corte rodante
$l_b$	Longitud de rodamiento
$E'$	Modulo de elasticidad
$F_b'$	Esfuerzo de flexion permitido
$F_v'$	Esfuerzo de corte permitido
$F_{rs}'$	Esfuerzo de corte rodante permitido

**Fuente:** (Johnston, 2014)

Por otra parte, dentro del capítulo 7 se deducen estas fórmulas para cualquier tipo de unidades y estas se presentaron anteriormente. Como una segunda parte, se programó una hoja de cálculo con las unidades del sistema internacional y se corroboró con los resultados arrojados por el uso de las ecuaciones de la tabla No 14. En resumen, las diferentes ecuaciones se presentan a continuación, tanto para el chequeo por control, como para el chequeo por deflexión y finalmente el chequeo por flexión.

$$\text{Single span } \ell = \frac{F_v'bd}{0.75w} + 2d + \ell_b \quad (7.11a)$$

$$\text{Two-span } \ell = \frac{F_v'bd}{0.94w} + 1.6d + 0.8\ell_b \quad (7.11b)$$

$$\text{Three-span } \ell = \frac{F_v'bd}{0.9w} + 1.67d + 0.83\ell_b \quad (7.11c)$$

*Ilustración 13: Ecuaciones para el chequeo de cortante en base a las diferentes luces de apoyo.*

**Fuente:** (Johnston, 2014)

$$\ell = \sqrt[3]{\frac{145E'I}{360w}}$$

$$\ell = 0.738 \sqrt[3]{\frac{E'I}{w}}$$

Similarly, for a simply supported single-span beam and again setting  $\Delta_{max}$  equal to  $\ell/360$ , the maximum span length is determined using

$$\frac{\ell}{360} = \frac{5w\ell^4}{384E'I}$$

which reduces to

$$\ell = 0.597 \sqrt[3]{\frac{E'I}{w}}$$

If a limiting deflection of 1/16 in. or 1/8 in. has been set, a check using Eq. (7.4a), (7.4b) or (7.4c) can be made to see if that limit has been exceeded.

For two spans:

$$\ell = 0.801 \sqrt[3]{\frac{E'I}{w}}$$

*Ilustración 14: Ecuaciones para el chequeo de deflexión en base a las diferentes luces de apoyo.*

Fuente: (Johnston, 2014)

$$F_b'S = \frac{w\ell^2}{8}$$

$$\ell = \sqrt{\frac{8F_b'S}{w}}$$

$$\ell = 2.83\sqrt{\frac{F_b'S}{w}}$$

And similarly, for the three-span uniformly loaded continuous beam

$$\ell = 3.16\sqrt{\frac{F_b'S}{w}}$$

*Ilustración 15: Ecuaciones para el chequeo de flexión en base a las diferentes luces de apoyo.*

Fuente: (Johnston, 2014)

Una vez definidas las tablas y ecuaciones anteriores es preciso tomar en cuenta que las tablas presentadas por el ACI, se dividen en cuatro grupos:

- Diseño de tableros
- Diseño de montantes y largueros u otros componentes de viga de encofrado donde se usa un solo miembro de encuadre.
- Largueros u otros componentes de encofrado donde se usen miembros dobles de encuadre.
- Chequeos de carga en puntales.

Es preciso mencionar que la aplicación de las tablas resulta importante al trasladarlas a la industria ecuatoriana mediante unidades del sistema internacional y dimensiones, las cuales se encuentran en la construcción ecuatoriana. También se tomó en cuenta los tipos de madera y tableros locales para los elementos de encofrado. Al hablar de tipos de madera, se tomaron en cuenta los 3 tipos de madera estructural expuestos en las secciones anteriores, como son A, B y C con sus respectivas propiedades mecánicas. A

su vez, se tomó en cuenta la investigación de Rodríguez en el 2020 para obtener medidas comerciales de los diferentes elementos de encofrado como montantes y largueros. En su investigación, Rodríguez consigue las medidas comunes para las diferentes partes del encofrado en aserraderos en la ciudad de Quito. En la siguiente tabla se presentan las medidas comerciales obtenidas por Rodríguez en el 2020.

*Tabla 19: Materiales y medidas para largueros y montantes.*

Nombre	Dimensiones			Madera	Costo [\$]	Costo por m
	Cara [cm]	Canto [cm]	Largo [cm]			
Montantes y largueros	5	4	240	Tamburo Zapote Ceibo	2.00	0.83 [\$ /m]
	6	5	240		1.90	0.79 [\$ /m]
	10	5	240	Colorado	6	2.50 [\$ /m]

Fuente: (Rodríguez, 2020)

Para los cálculos de la primera tabla, la cual se basa en las propiedades mecánicas y dimensiones del tablero, y brinda como resultado el espaciamiento seguro entre montantes o piezas que actúan como vigas soportando al tablero. Para el cálculo de esta tabla, se tomaron en cuenta cuatro dimensiones de tableros comunes para el encofrado. Se consideraron tableros de 12, 16, 18 y 25 milímetros para los cálculos. Al igual que tableros de un módulo de elasticidad aproximado de 1 500 000 libras por pulgada cuadrada o 13555 Megapascales. Se tomaron en cuenta las propiedades mecánicas y dimensiones del tablero para someter a un rango de presiones de 4 [kPa] hasta 143 [kPa] aproximadamente, a los diferentes tableros para conocer el espaciamiento de los montantes, cuarterones o diferentes elementos de viga los cuales soporten al tablero de madera. El rango de presiones tomado hace referencia al rango presentado por el ACI

SP-4, de 75 a 3000 libras sobre pie al cuadrado. En base a las ecuaciones presentadas anteriormente, se puede calcular el espaciamiento libre al tener todas las variables las cuales se encuentran dentro de las diferentes ecuaciones. La selección del espesor del tablero determina el espaciamiento seguro junto con la carga aplicada, la cual proviene del análisis de presión del hormigón. De esta manera, se obtuvo el espaciamiento seguro para tableros apoyados para tres o más luces, para dos luces y para una luz. Las tablas se presentan a continuación:

### Soporte de tablero, separación elementos de viga (Montantes, Cuartones)

Tabla 20: Espaciamiento seguro para soporte de tableros clase B para tres o más luces.

Espaciamiento seguro para Tableros clase B								
3 luces								
Presion total aproximada [kPa]	Cara paralela a la fibra principal Espesor [mm]				Cara perpendicular a la fibra principal Espesor [mm]			
	12mm	16mm	18mm	25mm	12mm	16mm	18mm	25mm
4	50	58	66	78	38	43	53	71
5	48	53	61	74	38	43	53	66
6	45	51	58	69	36	41	51	61
7	43	48	56	66	33	38	48	58
8	40	48	53	64	30	36	46	56
10	40	46	51	61	28	33	43	56
14	36	41	46	56	25	33	43	51
19	30	36	41	51	23	28	38	46
24	28	33	38	46	20	25	33	43
29	25	30	33	43	18	23	30	41
33	23	28	30	41	18	20	28	36
38	48	25	28	38	15	20	25	36
43	20	25	28	36	15	18	20	30
48	20	23	25	33	13	15	20	28
53	20	23	25	30	13	15	18	25
57	18	20	23	30	10	13	18	25
62	18	20	23	28	10	13	15	23
67	15	18	23	28	10	13	15	20
72	15	18	20	25	10	10	13	20
77	15	15	20	25	10	10	13	18
81	15	15	18	23	10	10	13	18
86	13	15	18	23	8	10	13	18
91	13	15	18	20	8	10	10	18
96	13	13	15	20	8	8	10	15
105	13	13	15	18	8	8	10	15
115	10	13	15	18	8	8	10	13
124	10	10	13	15	8	8	8	13
134	10	10	13	15	8	8	8	13
143	10	10	13	15	8	8	8	13

De igual manera, se obtuvieron las tablas para dos y una sola luz.

Tabla 21: Espaciamiento seguro para soporte de tableros clase B para tres o más luces.

Espaciamiento seguro para Tableros clase B									
1 luz									
Presion total arproximada [kPa]	Cara paralela a la fibra principal Espesor [cm]				Cara perpendicular a la fibra principal Espesor [mm]				
	12mm	16mm	18mm	25mm	12mm	16mm	18mm	25mm	
4	43	51	56	66	30	36	46	61	
5	41	46	51	64	28	33	43	56	
6	38	43	48	58	25	30	41	53	
7	36	43	46	56	25	28	38	51	
8	36	41	46	53	23	28	36	48	
10	33	38	43	53	23	25	36	46	
14	28	36	38	48	20	23	30	43	
19	25	30	36	43	18	20	28	41	
24	25	28	33	41	18	20	25	38	
29	23	28	30	38	15	18	25	36	
33	20	25	28	36	15	18	23	33	
38	20	23	25	33	13	15	20	30	
43	18	23	25	30	13	15	20	28	
48	18	20	23	30	13	15	20	28	
53	18	20	23	28	13	13	18	25	
57	15	18	20	28	10	13	18	25	
62	15	18	20	25	10	13	15	23	
67	15	18	20	25	10	13	15	23	
72	15	18	18	25	10	10	13	23	
77	15	15	18	23	10	10	13	20	
81	13	15	18	23	8	10	13	20	
86	13	15	18	23	8	10	13	18	
91	13	15	18	20	8	10	10	18	
96	13	15	15	20	8	8	10	18	
105	13	13	15	20	8	8	10	15	
115	10	13	15	18	8	8	10	15	
124	10	13	13	18	8	8	8	13	
134	10	10	13	15	5	8	8	13	
143	10	10	13	15	5	8	8	13	

Tabla 22: Espaciamiento seguro para soporte de tableros clase B para una sola luz.

Espaciamiento seguro para Tableros clase B								
2 luces								
Presion total arproximada [kPa]	Cara paralela a la fibra principal Espesor [cm]				Cara perpendicular a la fibra principal Espesor [mm]			
	12mm	16mm	18mm	25mm	12mm	16mm	18mm	25mm
4	53	61	69	84	41	46	56	74
5	50	58	64	79	38	43	53	69
6	48	56	61	74	36	41	51	66
7	45	53	58	71	33	38	48	64
8	43	48	56	69	30	26	46	61
10	40	46	53	66	28	33	43	58
14	33	38	43	53	23	25	34	51
19	28	33	38	46	20	23	30	43
24	25	30	33	43	18	20	28	38
29	23	28	30	38	15	18	25	36
33	20	25	28	36	15	18	23	33
38	20	23	25	33	13	15	20	30
43	18	23	25	30	13	15	18	28
48	18	20	23	30	13	13	18	28
53	18	20	23	28	13	13	15	25
57	15	18	20	28	10	13	15	23
62	15	18	20	25	10	10	13	23
67	15	18	20	25	10	10	13	20
72	15	15	18	25	10	10	13	20
77	15	15	18	23	10	10	13	18
81	13	15	18	23	8	10	10	18
86	13	15	18	20	8	10	10	18
91	13	13	15	20	8	8	10	15
96	13	13	15	20	8	8	10	15
105	10	13	15	18	8	8	10	15
115	10	10	13	18	8	8	10	13
124	10	10	13	15	8	8	8	13
134	10	10	13	15	8	8	8	13
143	10	10	10	13	5	8	8	10

Se toma en cuenta que, en la presentación de los datos en las tablas, cada uno de los colores dentro de los datos de espaciamiento representa el tipo de control el cual rige el resultado de espaciamiento para esa combinación de datos determinada. En la siguiente tabla se puede aclarar la leyenda de las casillas de la tabla.

Tabla 23: Leyenda del control de espaciamiento seguro

Tipo de control	
	Delfexión
	Flexión
	Corte

Una vez obtenidas las tablas de selección de tablero y espaciamiento de montantes, cuarterones o elementos de viga. Se puede proceder con las siguientes tablas. En las siguientes tablas se expone el espaciamiento seguro entre largueros o elementos de madera los cuales soportan a los montantes. Para el uso de estas 3 tablas se toma en cuenta la selección de una sección transversal de montantes para conocer el espaciamiento seguro del soporte de los montantes. Para esta tabla, como se mencionó anteriormente, se toman en cuenta las medidas comerciales obtenidas por Rodríguez en el 2020, las cuales son comunes en los aserraderos en la ciudad de Quito. Para el desarrollo de estas tablas se tomó en cuenta un rango de carga entre 1.45 y 72.9 [kN] aproximadamente. Cabe recalcar, que, al buscar desarrollar tablas como en el capítulo 9 del ACI SP-4, es necesario tomar en cuenta los tipos de maderas estructurales en el país. Por esta razón, en esta tabla se exponen los componentes mecánicos de los diferentes tipos de madera estructural, A, B y C para relacionarlos con el rango de carga y obtener el espaciamiento seguro en función de cada sección tomada de elementos de viga los cuales soportan al tablero como montantes. Al igual que en las tablas de espaciamiento para elementos de viga los cuales soportan al tablero en base a la selección de espesor de tablero, estas tablas toman en cuenta si los montantes se apoyarían en más de 3, dos o una sola viga continua. El desarrollo de las siguientes tablas se muestra a continuación.

#### **Soporte de elementos de viga, separación elementos de soporte secundarios (Largueros)**

##### **Para elementos de 3 o más luces.**

*Tabla 24: Espaciamiento seguro para soporte de montantes de madera Tipo A de tres o más luces.*

Espaciamiento seguro para elementos de soporte de montantes de 3 o más luces				
Carga [kN/m]	Madera Tipo A			
	E'		9500	
	F'v		15	
	Mpa		Mpa	
	Seccion [cmxcm]	Seccion [cmxcm]	Seccion [cmxcm]	Seccion [cmxcm]
4	5	5	6	
F'b				
25 [Mpa]				
1.5	100	125	185	
2.9	81	105	155	
4.4	71.00	92.00	140.00	
5.8	60.00	83.00	131.00	
7.3	60.00	77.00	124.00	
8.8	55.00	73.00	118.00	
10.2	50.00	69.00	114.00	
11.7	51.00	66.00	110.00	
13.1	49.00	64.00	106.00	
14.6	48.00	61.00	102.00	
16.1	45.00	60	99.00	
17.5	42.00	58.00	96.00	
19.0	42.00	56.00	94.00	
20.4	41.00	55.00	91.00	
21.9	40.00	53.00	89.00	
23.4	38.00	51.00	86.00	
24.8	37.00	50.00	83.00	
26.3	36.00	48.00	81.00	
27.7	35.00	47.00	79.00	
29.2	34.00	46.00	77.00	
30.6	33.00	45.00	75.00	
32.1	33.00	44.00	73.00	
33.6	32.00	43.00	72.00	
35.0	31.00	42.00	70.00	
36.5	31.00	41.00	69.00	
37.9	30.00	40.00	67.00	
39.4	29.00	40.00	66.00	
40.9	29.00	39.00	65.00	
42.3	28.00	38.00	64.00	
43.8	28.00	37.00	63.00	
46.7	27.00	36.00	61.00	
49.6	26.00	35.00	59.00	
52.5	25.00	34.00	57.00	
55.5	25.00	33.00	56.00	
58.4	24.00	32.00	54.00	
65.7	23.00	31.00	51.00	
73.0	21.00	29.00	48.00	

Tabla 25: Espaciamiento seguro para soporte de montantes de madera Tipo B de tres o más luces.

Espaciamiento seguro para elementos de soporte de montantes de 3 o más luces						
Carga [kN/m]	Madera Tipo B					
	E'		7500		Mpa	
	F'v		1.2		Mpa	
	Seccion [cmxcm]		Seccion [cmxcm]		Seccion [cmxcm]	
	4	5	5	6	5	10
	F'b 15 [Mpa]					
1.5	95		119		175	
2.9	75		97		147	
4.4	66.00		85.00		138.00	
5.8	60.00		77.00		123.00	
7.3	51.00		71.00		116.00	
8.8	45.00		64.00		100.00	
10.2	41.00		57.00		90.00	
11.7	37.00		52.00		82.00	
13.1	35.00		48.00		75.00	
14.6	33.00		45.00		70.00	
16.1	31.00		43		66.00	
17.5	30.00		41.00		63.00	
19.0	29.00		39.00		60.00	
20.4	28.00		37.00		57.00	
21.9	27.00		36.00		55.00	
23.4	26.00		35.00		53.00	
24.8	25.00		34.00		51.00	
26.3	25.00		33.00		50.00	
27.7	24.00		32.00		49.00	
29.2	24.00		32.00		47.00	
30.6	23.00		31.00		46.00	
32.1	23.00		30.00		45.00	
33.6	22.00		30.00		44.00	
35.0	22.00		29.00		44.00	
36.5	22.00		29.00		43.00	
37.9	22.00		28.00		42.00	
39.4	21.00		28.00		41.00	
40.9	21.00		28.00		41.00	
42.3	21.00		27.00		40.00	
43.8	21.00		27.00		40.00	
46.7	20.00		26.00		39.00	
49.6	20.00		26.00		38.00	
52.5	20.00		25.00		37.00	
55.5	19.00		25.00		37.00	
58.4	19.00		25.00		36.00	
65.7	19.00		24.00		35.00	
73.0	18.00		23.00		34.00	

Tabla 26: Espaciamiento seguro para soporte de montantes de madera Tipo C de tres o más luces.

Espaciamiento seguro para elementos de soporte de montantes de 3 o más luces						
Carga [kN/m]	Madera Tipo C					
	E'			5500		
	F'v			0.8		
	Seccion [cmxcm]		Seccion [cmxcm]		Seccion [cmxcm]	
4   5		5   6		5   10		
F*b 10 [Mpa]						
1.5	85		92		160	
2.9	68		73		135	
4.4	55.00		64.00		122.00	
5.8	45.00		54.00		101.00	
7.3	39.00		47.00		86.00	
8.8	35.00		42.00		75.00	
10.2	32.00		38.00		68.00	
11.7	30.00		35.00		63.00	
13.1	28.00		33.00		58.00	
14.6	27.00		31.00		55.00	
16.1	26.00		30		52.00	
17.5	25.00		29.00		50.00	
19.0	24.00		28.00		48.00	
20.4	23.00		27.00		46.00	
21.9	23.00		26.00		45.00	
23.4	22.00		26.00		44.00	
24.8	22.00		25.00		42.00	
26.3	21.00		25.00		41.00	
27.7	21.00		24.00		41.00	
29.2	21.00		24.00		40.00	
30.6	20.00		23.00		39.00	
32.1	20.00		23.00		38.00	
33.6	20.00		23.00		38.00	
35.0	20.00		23.00		37.00	
36.5	19.00		22.00		37.00	
37.9	19.00		22.00		36.00	
39.4	19.00		22.00		36.00	
40.9	19.00		22.00		35.00	
42.3	19.00		21.00		35.00	
43.8	19.00		21.00		35.00	
46.7	18.00		21.00		34.00	
49.6	18.00		20.00		34.00	
52.5	17.00		19.00		33.00	
55.5	17.00		19.00		33.00	
58.4	16.00		18.00		32.00	
65.7	15.00		17.00		31.00	
73.0	15.00		16.00		31.00	

De igual manera se realizó el mismo proceso para elementos de soporte de montantes o cuartones los cuales estén apoyados en dos y una sola viga continúa.

**Para elementos de dos luces.**

Tabla 27: Espaciamiento seguro para soporte de montantes de madera Tipo A de dos luces.

Espaciamiento seguro para elementos de soporte de montantes de 2 luces						
Carga [kN/m]	Madera Tipo A					
	E'			9500		
	F'v			15		
	Seccion [cmxcm]		Seccion [cmxcm]		Seccion [cmxcm]	
4   5		5   6		5   10		
F'b 25 [Mpa]						
1.5	111		144		238	
2.9	89		114		189	
4.4	77		100		166	
5.8	69		91		151	
7.3	62		83		139	
8.8	57		76		127	
10.2	52		70		117	
11.7	49		66		110	
13.1	46		62		103	
14.6	44		59		98	
16.1	42		56		93	
17.5	40		54		89	
19.0	38		52		86	
20.4	37		50		83	
21.9	36		48		80	
23.4	35		46		77	
24.8	34		45		75	
26.3	33		44		73	
27.7	32		43		71	
29.2	31		42		69	
30.6	30		41		68	
32.1	30		40		66	
33.6	29		39		65	
35.0	28		38		63	
36.5	28		37		62	
37.9	27		36		61	
39.4	27		36		60	
40.9	26		35		59	
42.3	26		35		58	
43.8	25		34		57	
46.7	24		33		55	
49.6	24		32		53	
52.5	23		31		52	
55.5	22		30		50	
58.4	22		29		49	
65.7	21		28		46	
73.0	20		26		44	

Tabla 28: Espaciamiento seguro para soporte de montantes de madera Tipo B de dos luces.

Espaciamiento seguro para elementos de soporte de montantes de 2 luces							
Carga [kN/m]	Madera Tipo B						
	E'			7500			Mpa
	F'v			1.2			Mpa
	Seccion [cmxcm]		Seccion [cmxcm]		Seccion [cmxcm]		
	4	5	5	6	5	10	
F'b							
15 [Mpa]							
1.5	103		133		220		
2.9	82		106		175		
4.4	68		91		151		
5.8	55		79		130		
7.3	47		67		108		
8.8	41		58		94		
10.2	37		52		83		
11.7	33		47		75		
13.1	31		43		69		
14.6	29		40		64		
16.1	27		38		60		
17.5	26		36		57		
19.0	25		34		54		
20.4	24		33		52		
21.9	23		32		50		
23.4	22		30		48		
24.8	22		29		46		
26.3	21		29		45		
27.7	21		28		44		
29.2	20		27		43		
30.6	20		27		42		
32.1	20		26		41		
33.6	19		25		40		
35.0	19		25		39		
36.5	19		25		38		
37.9	18		24		38		
39.4	18		24		37		
40.9	18		23		36		
42.3	18		23		36		
43.8	17		23		35		
46.7	17		22		34		
49.6	17		22		34		
52.5	16		21		33		
55.5	16		21		32		
58.4	16		21		32		
65.7	15		20		30		
73.0	15		19		29		

Tabla 29: Espaciamiento seguro para soporte de montantes de madera Tipo C de dos luces.

Espaciamiento seguro para elementos de soporte de montantes de 2 luces						
Carga [kN/m]	Madera Tipo C					
	E'			5500		
	F'v			0.8		
	Seccion [cmxcm]		Seccion [cmxcm]		Seccion [cmxcm]	
	4	5	5	6	5	10
F'b						
10 [Mpa]						
1.5	93		120		199	
2.9	68		91		151	
4.4	50		72		118	
5.8	41		58		94	
7.3	35		49		79	
8.8	31		43		69	
10.2	28		39		62	
11.7	26		36		57	
13.1	25		33		53	
14.6	23		32		50	
16.1	22		30		47	
17.5	21		29		45	
19.0	21		27		43	
20.4	20		27		42	
21.9	19		26		40	
23.4	19		25		39	
24.8	18		24		38	
26.3	18		24		37	
27.7	18		23		36	
29.2	17		23		35	
30.6	17		22		35	
32.1	17		22		34	
33.6	17		22		33	
35.0	16		21		33	
36.5	16		21		32	
37.9	16		21		32	
39.4	16		20		31	
40.9	16		20		31	
42.3	16		20		31	
43.8	15		20		30	
46.7	15		19		30	
49.6	15		19		29	
52.5	15		19		29	
55.5	15		19		28	
58.4	14		18		28	
65.7	14		18		27	
73.0	14		18		27	

Para elementos de una luz.

Tabla 30: Espaciamiento seguro para soporte de montantes de madera Tipo A de una luz.

Espaciamiento seguro para elementos de soporte de montantes de 1 luz					
Carga [kN/m]	Madera Tipo A				
	E'		9500		Mpa
	F'v		15		Mpa
	Seccion [cmxcm]		Seccion [cmxcm]		Seccion [cmxcm]
	4	5	5	6	5
	F'b 25 [Mpa]				
1.5	83		107		178
2.9	66		85		141
4.4	58		75		124
5.8	53		68		112
7.3	49		63		104
8.8	46		59		98
10.2	44		56		94
11.7	42		54		89
13.1	40		52		86
14.6	39		50		83
16.1	38		49		81
17.5	37		47		78
19.0	36		46		76
20.4	35		45		74
21.9	34		44		73
23.4	33		43		71
24.8	33		42		70
26.3	32		41		68
27.7	31		41		67
29.2	31		40		66
30.6	30		39		65
32.1	30		39		64
33.6	29		38		63
35.0	28		38		62
36.5	28		37		61
37.9	27		36		61
39.4	27		36		60
40.9	26		35		59
42.3	26		35		58
43.8	25		34		57
46.7	24		33		55
49.6	24		32		53
52.5	23		31		52
55.5	22		30		50
58.4	22		29		49
65.7	21		28		46
73.0	20		26		44

Tabla 31: Espaciamiento seguro para soporte de montantes de madera Tipo B de una luz

Espaciamiento seguro para elementos de soporte de montantes de 1 luz						
Carga [kN/m]	Madera Tipo B					
	E'			7500		
	F'v			1.2		
	Seccion [cmxcm]		Seccion [cmxcm]		Seccion [cmxcm]	
	4	5	5	6	5	10
F'b						
15 [Mpa]						
1.5	77		99		165	
2.9	61		79		131	
4.4	54		69		114	
5.8	49		63		104	
7.3	45		58		97	
8.8	43		55		91	
10.2	40		52		86	
11.7	39		50		83	
13.1	37		48		80	
14.6	36		46		77	
16.1	34		45		75	
17.5	32		44		71	
19.0	31		42		67	
20.4	30		40		64	
21.9	29		39		62	
23.4	28		38		59	
24.8	27		36		57	
26.3	26		35		55	
27.7	26		34		54	
29.2	25		33		52	
30.6	24		33		51	
32.1	24		32		50	
33.6	24		31		49	
35.0	23		31		48	
36.5	23		30		47	
37.9	22		30		46	
39.4	22		29		45	
40.9	22		29		45	
42.3	22		28		44	
43.8	21		28		43	
46.7	21		27		42	
49.6	20		27		41	
52.5	20		26		40	
55.5	19		25		39	
58.4	19		25		39	
65.7	17		23		37	
73.0	17		22		36	

Tabla 32: Espaciamiento seguro para soporte de montantes de madera Tipo C de una luz.

Espaciamiento seguro para elementos de soporte de montantes de 1 luz					
Carga [kN/m]	Madera Tipo C				
	E'		5500		Mpa
	F'v		0.8		Mpa
	Seccion [cmxcm]		Seccion [cmxcm]		Seccion [cmxcm]
	4	5	5	6	5
F'b					
10 [Mpa]					
1.5	69		90		149
2.9	55		71		118
4.4	48		62		103
5.8	44		57		94
7.3	41		53		87
8.8	38		50		82
10.2	35		47		77
11.7	32		44		71
13.1	30		41		66
14.6	29		39		62
16.1	27		37		58
17.5	26		35		55
19.0	25		34		53
20.4	24		33		51
21.9	24		32		49
23.4	23		31		48
24.8	23		30		46
26.3	22		29		45
27.7	22		29		44
29.2	21		28		43
30.6	21		27		42
32.1	20		27		42
33.6	20		27		41
35.0	20		26		40
36.5	19		26		40
37.9	19		25		39
39.4	18		25		39
40.9	18		24		38
42.3	18		24		38
43.8	17		23		37
46.7	17		23		36
49.6	16		22		36
52.5	16		21		35
55.5	16		21		35
58.4	15		20		34
65.7	14		19		32
73.0	14		18		30

### Pasadores o soporte de largueros, Espaciamiento seguro para soporte elementos de double wales.

Una vez obtenida la dimensión de los largueros o elementos los cuales soportan a los elementos principales de viga de las tablas anteriores es necesario tomar en cuenta los pasadores. Se toma en cuenta que el pasador se muestra como un apoyo para los largueros o elementos de soporte de las vigas principales de madera. En las siguientes tablas se expone el espaciamiento seguro para los pasadores para elementos de 3 o más luces, 2 luces y una sola luz.\

#### Para elementos de 3 o más luces.

Tabla 33: Espaciamiento seguro para soporte elementos de double wales de madera tipo A para 3 luces.

Carga [kN/m]	Madera Tipo A				
	E'		9500		
	F'v		15		
	Mpa		Mpa		
Seccion [cmxcm]		Seccion [cmxcm]		Seccion [cmxcm]	
4	5	5	6	5	10
F'b					
25 [Mpa]					
1.5	129		166		276
2.9	103		132		220
4.4	90		116		192
5.8	82		105		175
7.3	76		98		162
8.8	71		92		153
10.2	68		88		145
11.7	65		84		139
13.1	63		81		134
14.6	60		78		129
16.1	59		75		125
17.5	57		73		122
19.0	55		71		118
20.4	54		70		116
21.9	53		68		113
23.4	52		67		111
24.8	51		65		108
26.3	50		64		106
27.7	49		63		104
29.2	48		62		103
30.6	47		61		101
32.1	47		60		100
33.6	46		59		98
35.0	45		58		97
36.5	44		58		95
37.9	43		57		94
39.4	42		56		93
40.9	41		55		92
42.3	41		55		91
43.8	40		54		89
46.7	39		52		87
49.6	38		50		84
52.5	36		49		82
55.5	36		48		79
58.4	35		46		77
65.7	33		44		73
73.0	31		42		69

Tabla 34: Espaciamiento seguro para soporte elementos de double wales de madera tipo B para 3 luces.

Carga [kN/m]	Madera Tipo B					
	E'		7500		Mpa	
	F'v		1.2		Mpa	
	Seccion [cmxcm]		Seccion [cmxcm]		Seccion [cmxcm]	
	4	5	5	6	5	10
F'b						
15 [Mpa]						
1.5	119		154		255	
2.9	95		123		203	
4.4	73		106		173	
5.8	57		83		135	
7.3	48		69		112	
8.8	42		60		97	
10.2	38		53		86	
11.7	35		48		78	
13.1	32		45		72	
14.6	30		42		67	
16.1	28		39		62	
17.5	27		37		59	
19.0	26		35		56	
20.4	25		34		53	
21.9	24		32		51	
23.4	23		31		49	
24.8	22		30		48	
26.3	22		29		46	
27.7	21		29		45	
29.2	21		28		44	
30.6	20		27		43	
32.1	20		27		42	
33.6	20		26		41	
35.0	19		26		40	
36.5	19		25		39	
37.9	19		25		38	
39.4	18		24		38	
40.9	18		24		37	
42.3	18		24		37	
43.8	18		23		36	
46.7	17		23		35	
49.6	17		22		34	
52.5	17		22		34	
55.5	16		21		33	
58.4	16		21		32	
65.7	16		20		31	
73.0	15		20		30	

Tabla 35: Espaciamiento seguro para soporte elementos de double wales de madera tipo C para 3 luces.

Carga [kN/m]	Madera Tipo C					
	E'		5500		Mpa	
	F'v		0.8		Mpa	
	Seccion [cmxcm]		Seccion [cmxcm]		Seccion [cmxcm]	
	4	5	5	6	5	10
F'b 10 [Mpa]						
1.5	108		139		230	
2.9	73		90		173	
4.4	52		65		122	
5.8	42		52		97	
7.3	36		45		82	
8.8	32		40		72	
10.2	29		36		64	
11.7	27		33		59	
13.1	25		31		55	
14.6	24		29		51	
16.1	23		28		49	
17.5	22		27		46	
19.0	21		26		44	
20.4	20		25		43	
21.9	20		24		41	
23.4	19		24		40	
24.8	19		23		39	
26.3	18		23		38	
27.7	18		22		37	
29.2	18		22		36	
30.6	17		21		35	
32.1	17		21		35	
33.6	17		21		34	
35.0	17		21		34	
36.5	17		20		33	
37.9	16		20		33	
39.4	16		20		32	
40.9	16		20		32	
42.3	16		19		31	
43.8	16		19		31	
46.7	15		19		30	
49.6	15		19		30	
52.5	15		18		29	
55.5	15		18		29	
58.4	15		18		28	
65.7	14		18		28	
73.0	14		17		27	

Para elementos de 2 luces

Tabla 36: Espaciamiento seguro para soporte elementos de double wales de madera tipo A para 2 luces.

Carga [kN/m]	Madera Tipo A					
	E'		9500		Mpa	
	F'v		15		Mpa	
	Seccion [cmxcm]		Seccion [cmxcm]		Seccion [cmxcm]	
	4	5	5	6	5	10
	F'b 25 [Mpa]					
1.5	140		181		300	
2.9	111		144		238	
4.4	97		126		208	
5.8	89		114		189	
7.3	82		106		176	
8.8	77		100		166	
10.2	74		95		157	
11.7	69		91		151	
13.1	65		87		145	
14.6	62		83		139	
16.1	59		79		132	
17.5	57		76		127	
19.0	54		73		122	
20.4	52		70		117	
21.9	51		68		113	
23.4	49		66		110	
24.8	48		64		106	
26.3	46		62		103	
27.7	45		60		101	
29.2	44		59		98	
30.6	43		57		96	
32.1	42		56		93	
33.6	41		55		91	
35.0	40		54		89	
36.5	39		53		88	
37.9	38		52		86	
39.4	38		51		84	
40.9	37		50		83	
42.3	36		49		81	
43.8	36		48		80	
46.7	35		46		77	
49.6	34		45		75	
52.5	33		44		73	
55.5	32		43		71	
58.4	31		42		69	
65.7	29		39		65	
73.0	28		37		62	

Tabla 37: Espaciamiento seguro para soporte elementos de double wales de madera tipo B para 2 luces.

Carga [kN/m]	Madera Tipo B					
	E'			7500		
	F'v			1.2		
	Seccion [cmxcm]		Seccion [cmxcm]		Seccion [cmxcm]	
	4	5	5	6	5	10
F'b						
15 [Mpa]						
1.5	130		167		277	
2.9	99		133		220	
4.4	70		101		166	
5.8	55		79		129	
7.3	46		66		107	
8.8	40		57		93	
10.2	36		51		82	
11.7	33		46		75	
13.1	31		43		69	
14.6	29		40		64	
16.1	27		37		60	
17.5	26		35		56	
19.0	25		34		54	
20.4	24		32		51	
21.9	23		31		49	
23.4	22		30		47	
24.8	21		29		46	
26.3	21		28		44	
27.7	20		27		43	
29.2	20		27		42	
30.6	20		26		41	
32.1	19		26		40	
33.6	19		25		39	
35.0	18		25		38	
36.5	18		24		37	
37.9	18		24		37	
39.4	18		23		36	
40.9	17		23		36	
42.3	17		23		35	
43.8	17		22		35	
46.7	17		22		34	
49.6	16		21		33	
52.5	16		21		32	
55.5	16		21		32	
58.4	16		20		31	
65.7	15		19		30	
73.0	15		19		29	

Tabla 38: Espaciamiento seguro para soporte elementos de double wales de madera tipo C para 2 luces.

Carga [kN/m]	Madera Tipo C					
	E'		5500		Mpa	
	F'v		0.8		Mpa	
	Seccion [cmxcm]		Seccion [cmxcm]		Seccion [cmxcm]	
	4	5	5	6	5	10
F'b 10 [Mpa]						
1.5	117		151		250	
2.9	70		101		166	
4.4	50		72		117	
5.8	40		57		93	
7.3	35		49		78	
8.8	31		43		69	
10.2	28		39		62	
11.7	26		35		56	
13.1	24		33		52	
14.6	23		31		49	
16.1	22		30		47	
17.5	21		28		44	
19.0	20		27		42	
20.4	20		26		41	
21.9	19		25		39	
23.4	18		25		38	
24.8	18		24		37	
26.3	18		23		36	
27.7	17		23		35	
29.2	17		22		35	
30.6	17		22		34	
32.1	17		22		33	
33.6	16		21		33	
35.0	16		21		32	
36.5	16		21		32	
37.9	16		20		31	
39.4	16		20		31	
40.9	15		20		30	
42.3	15		20		30	
43.8	15		19		30	
46.7	15		19		29	
49.6	15		19		29	
52.5	14		18		28	
55.5	14		18		28	
58.4	14		18		27	
65.7	14		17		26	
73.0	14		17		26	

## Elementos de 1 luz.

Tabla 39: Espaciamiento seguro para soporte elementos de double wales de madera tipo A para 1 luz.

Carga [kN/m]	Madera Tipo A					
	E'		9500		Mpa	
	F'v		15		Mpa	
	Seccion [cmxcm]		Seccion [cmxcm]		Seccion [cmxcm]	
	4	5	5	6	5	10
	F'b 25 [Mpa]					
1.5	104		135		223	
2.9	83		107		178	
4.4	73		94		155	
5.8	66		85		141	
7.3	61		79		131	
8.8	58		75		124	
10.2	55		71		118	
11.7	53		68		112	
13.1	51		65		108	
14.6	49		63		104	
16.1	47		61		101	
17.5	46		59		98	
19.0	45		58		96	
20.4	44		56		94	
21.9	43		55		91	
23.4	42		54		89	
24.8	41		53		88	
26.3	40		52		86	
27.7	40		51		85	
29.2	39		50		83	
30.6	38		49		82	
32.1	38		49		81	
33.6	37		48		79	
35.0	37		47		78	
36.5	36		47		77	
37.9	36		46		76	
39.4	35		45		75	
40.9	35		45		74	
42.3	34		44		74	
43.8	34		44		73	
46.7	33		43		71	
49.6	33		42		70	
52.5	32		41		68	
55.5	31		41		67	
58.4	31		40		66	
65.7	29		38		64	
73.0	28		37		61	

Tabla 40: Espaciamiento seguro para soporte elementos de double wales de madera tipo B para 1 luz.

Carga [kN/m]	Madera Tipo B					
	E'		7500		Mpa	
	F'v		1.2		Mpa	
	Seccion [cmxcm]		Seccion [cmxcm]		Seccion [cmxcm]	
	4	5	5	6	5	10
F'b 15 [Mpa]						
1.5	97		125		207	
2.9	77		99		164	
4.4	67		87		144	
5.8	61		79		131	
7.3	57		73		121	
8.8	51		69		114	
10.2	45		64		103	
11.7	41		58		94	
13.1	38		54		86	
14.6	36		50		80	
16.1	34		47		75	
17.5	32		44		71	
19.0	31		42		67	
20.4	30		40		64	
21.9	29		39		62	
23.4	28		38		59	
24.8	27		36		57	
26.3	26		35		55	
27.7	26		34		54	
29.2	25		33		52	
30.6	24		33		51	
32.1	24		32		50	
33.6	24		31		49	
35.0	23		31		48	
36.5	23		30		47	
37.9	22		30		46	
39.4	22		29		45	
40.9	22		29		45	
42.3	22		28		44	
43.8	21		28		43	
46.7	21		27		42	
49.6	20		27		41	
52.5	20		26		40	
55.5	20		26		39	
58.4	19		25		39	
65.7	19		24		37	
73.0	18		24		36	

Tabla 41: Espaciamiento seguro para soporte elementos de double wales de madera tipo C para 1 luz.

Carga [kN/m]	Madera Tipo C					
	E'		5500		Mpa	
	F'v		0.8		Mpa	
	Seccion [cmxcm]		Seccion [cmxcm]		Seccion [cmxcm]	
	4	5	5	6	5	10
F'b 10 [Mpa]						
1.5	87		112		187	
2.9	69		89		148	
4.4	61		78		130	
5.8	51		71		116	
7.3	43		61		98	
8.8	38		54		86	
10.2	35		48		77	
11.7	32		44		71	
13.1	30		41		66	
14.6	29		39		62	
16.1	27		37		58	
17.5	26		35		55	
19.0	25		34		53	
20.4	24		33		51	
21.9	24		32		49	
23.4	23		31		48	
24.8	23		30		46	
26.3	22		29		45	
27.7	22		29		44	
29.2	21		28		43	
30.6	21		27		42	
32.1	21		27		42	
33.6	20		27		41	
35.0	20		26		40	
36.5	20		26		40	
37.9	20		25		39	
39.4	19		25		39	
40.9	19		25		38	
42.3	19		25		38	
43.8	19		24		37	
46.7	19		24		36	
49.6	18		23		36	
52.5	18		23		35	
55.5	18		23		35	
58.4	18		22		34	
65.7	17		22		33	
73.0	17		21		32	

## Puntales

Dentro de las tablas de diseño es fundamental tomar en cuenta una tabla para el diseño de puntales como soporte del encofrado. Dentro del capítulo 9 del ACI SP-4, se encuentra las tablas 9.12.1 y 9.12.2 en las cuales se expone la carga axial permitida para diferentes secciones transversales de puntales de madera junto con su altura efectiva. También se toma en cuenta los diferentes tipos de madera americana para la consideración de las propiedades mecánicas de dichos puntales. La carga axial admisible en esta tabla está en función de las medidas comerciales de puntales de madera en EE. UU. Dentro de la construcción ecuatoriana no se tienen datos o información suficiente sobre distribuidoras o aserraderos los cuales realicen puntales de madera de secciones cuadradas o rectangulares de altura variable como en los Estados Unidos. Al hablar de los diferentes puntales en la construcción ecuatoriana, la gran mayoría de puntales dentro de la construcción resultan ser metálicos. A su vez, estos puntales metálicos poseen una altura regulable característica por la cual se denominan puntales telescópicos. Para asemejar una tabla de diseño de puntales telescópicos se tomaron en cuenta las tablas 9.12.1 y 9.12.2 del ACI SP-4 En la siguiente tabla se presentan las diferentes cargas axiales admisibles en puntales telescópicos en base al informe de Guerrero en el 2018.

*Tabla 42: Cargas axiales admisibles en puntales metálicos telescópicos.*

Capacidad de carga de puntales telescopicos [kN]		
Altura [m]	Rango	
	1.75-3.10[m]	2.10-3.50[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	12.7
3.1	8.5	11
3.2	-	10.36
3.3	-	9.72
3.4	-	9.08
3.5	-	8.44

Fuente: (Guerrero, 2018)

En la tabla anterior se presentan dos rangos de alturas de puntales para los cuales se presenta la variación en su carga axial admisible en función de la longitud de estos. Es importante tomar en cuenta que mientras el puntal telescópico se encuentra más extendido este posee una menor resistencia como resultado del pandeo el cual depende de la longitud del elemento.

## 2.3 Ejemplos de aplicación.

### *Elemento de muro*

Usando las tablas presentadas en la sección anterior, determinar el espaciamiento en elementos de encofrado de muro. Tomando en cuenta que los elementos se van a desarrollar con madera tipo A. Con un tablero clase B de 25 milímetros de espesor. Se debe diseñar un muro con una altura de 3 metros el cual ejerce una presión máxima de 29 [kPa].

- 1) En base a las especificaciones del tablero: Separación de montantes

En base a las especificaciones brindadas por el ejemplo, se puede proceder con el uso de la tabla No. 18. Se asume que el tablero se usa con la cara perpendicular a la fibra principal. En base a la tabla No.17 se puede obtener lo siguiente:

Espaciamiento seguro para Tableros clase B								
3 luces								
Presion total arroximada [kPa]	Cara paralela a la fibra principal Espesor [mm]				Cara perpendicular a la fibra principal Espesor [mm]			
	12mm	16mm	18mm	25mm	12mm	16mm	18mm	25mm
4	50	58	66	78	38	43	53	71
5	48	53	61	74	38	43	53	66
6	45	51	58	69	36	41	51	61
7	43	48	56	66	33	38	48	58
8	40	48	53	64	30	36	46	56
10	40	46	51	61	28	33	43	56
14	36	41	46	56	25	33	43	51
19	30	36	41	51	23	28	38	46
24	28	33	38	46	20	25	33	43
29	25	30	33	43	18	23	30	41
33	23	28	30	41	18	20	28	36
38	48	25	28	38	15	20	25	36
43	20	25	28	36	15	18	20	30
48	20	23	25	33	13	15	20	28
53	20	23	25	30	13	15	18	25
57	18	20	23	30	10	13	18	25
62	18	20	23	28	10	13	15	23
67	15	18	23	28	10	13	15	20
72	15	18	20	25	10	10	13	20
77	15	15	20	25	10	10	13	18
81	15	15	18	23	10	10	13	18
86	13	15	18	23	8	10	13	18
91	13	15	18	20	8	10	10	18
96	13	13	15	20	8	8	10	15
105	13	13	15	18	8	8	10	15
115	10	13	15	18	8	8	10	13
124	10	10	13	15	8	8	8	13
134	10	10	13	15	8	8	8	13
143	10	10	13	15	8	8	8	13

Ilustración 16: Espaciamiento obtenido de tabla No.17

En la figura anterior, se puede ver como en base a una presión aproximada y a una selección de tablero se puede obtener el espaciamiento de montantes. En este caso el espaciamiento resultaría de 41 centímetros los cuales se pueden aproximar a 30 centímetros para tener un espaciamiento uniforme dentro de los montantes del muro incluyendo soporte por parte de los montantes en los bordes del tablero.

2) En base a las especificaciones de montantes: Espaciamiento de largueros.

Tomando en cuenta que los montantes se cuentan separados 30 centímetros, y la presión ejercida igual a 29 [kPa] lo cual es igual a [kN/m<sup>2</sup>], se puede obtener que:

$$w = 29 \text{ [kPa]} * 0.30 \text{ [m]} = 8.7 \text{ kN/m}$$

Una vez obtenida la carga en los montantes, se asume que la dimensión de montantes con los cuales se quiere diseñar el encofrado es de 5x10 centímetros. De igual manera se asume que los montantes son continuos por más de 3 luces. Una vez expuesto esto, se puede utilizar la tabla No.21 de la siguiente manera:

Espaciamiento seguro para elementos de soporte de montantes de 3 o más luces			
Carga [kN/m]	Madera Tipo A		
	E'	9500	Mpa
	F'v	15	Mpa
	Seccion [cmxcm]	Seccion [cmxcm]	Seccion [cmxcm]
	4	5	6
			5
			10
F'b			
25 [Mpa]			
1.5	100	125	185
2.9	81	105	155
4.4	71.00	92.00	140.00
5.8	60.00	83.00	131.00
7.3	60.00	77.00	124.00
8.8	55.00	73.00	118.00
10.2	50.00	69.00	114.00
11.7	51.00	66.00	110.00
13.1	49.00	64.00	106.00
14.6	48.00	61.00	102.00
16.1	45.00	60	99.00
17.5	42.00	58.00	96.00
19.0	42.00	56.00	94.00
20.4	41.00	55.00	91.00
21.9	40.00	53.00	89.00
23.4	38.00	51.00	86.00
24.8	37.00	50.00	83.00
26.3	36.00	48.00	81.00
27.7	35.00	47.00	79.00
29.2	34.00	46.00	77.00
30.6	33.00	45.00	75.00
32.1	33.00	44.00	73.00
33.6	32.00	43.00	72.00
35.0	31.00	42.00	70.00
36.5	31.00	41.00	69.00
37.9	30.00	40.00	67.00
39.4	29.00	40.00	66.00
40.9	29.00	39.00	65.00
42.3	28.00	38.00	64.00
43.8	28.00	37.00	63.00
46.7	27.00	36.00	61.00
49.6	26.00	35.00	59.00
52.5	25.00	34.00	57.00
55.5	25.00	33.00	56.00
58.4	24.00	32.00	54.00
65.7	23.00	31.00	51.00
73.0	21.00	29.00	48.00

Ilustración 17: Espaciamiento obtenido de tabla No.21

La tabla No. 21, brinda como resultado un espaciamiento de 118 centímetros para los largueros o secciones dobles los cuales soportan a los montantes. Esto implica apoyar los soportes de montantes a 118 centímetros como máximo entre ellos. En base a seleccionar espaciamiento conservador se procede a seleccionar 4 elementos de soporte de montantes o largueros los cuales siguen la siguiente distribución. Los dos elementos más externos al encofrado poseen una separación de 15 centímetros del tanto del borde superior como del inferior. Y los largueros o elementos de soporte de los montantes poseen una separación de 90 centímetros.

- 3) En base a las especificaciones de doble soporte de montantes: Espaciamiento de pasadores.

Se considera que se debe estimar la carga uniforme por metro en los elementos de doble soporte o largueros. Para esto se toma en cuenta, el espaciamiento entre los elementos de doble soporte o largueros el cual es de 90 centímetros y se procede a calcular de la siguiente manera:

$$w = 29 [kPa] * 0.9[m] = 26.1 kN/m$$

Una vez obtenida la carga, se asume una continuidad de 3 luces en los elementos analizados.

Se procede a utilizar la tabla No.30:

Carga [kN/m]	Madera Tipo A			
	E'	9500		
	F'v	15		
	Seccion [cmxcm]	Seccion [cmxcm]	Seccion [cmxcm]	
	4	5	5	6
	F'b			
	25 [Mpa]			
1.5	129	166		276
2.9	103	132		220
4.4	90	116		192
5.8	82	105		175
7.3	76	98		162
8.8	71	92		153
10.2	68	88		145
11.7	65	84		139
13.1	63	81		134
14.6	60	78		129
16.1	59	75		125
17.5	57	73		122
19.0	55	71		118
20.4	54	70		116
21.9	53	68		113
23.4	52	67		111
24.8	51	65		108
26.3	50	64		106
27.7	49	63		104
29.2	48	62		103
30.6	47	61		101
32.1	47	60		100
33.6	46	59		98
35.0	45	58		97
36.5	44	58		95
37.9	43	57		94
39.4	42	56		93
40.9	41	55		92
42.3	41	55		91
43.8	40	54		89
46.7	39	52		87
49.6	38	50		84
52.5	36	49		82
55.5	36	48		79
58.4	35	46		77
65.7	33	44		73
73.0	31	42		69

*Ilustración 18:Espaciamiento obtenido de tabla No.30.*

En base a la tabla se puede obtener que la separación para los dobles elementos o largueros debe ser como máximo de 103 centímetros.

Un chequeo en la capacidad de carga de los pasadores puede ayudar a comprobar la selección de elementos dobles de apoyo de montantes (wales) o largueros. Para esto se realiza el siguiente proceso:

$$R = R_b = R_b = 1.1wl$$

$$R = (1.03m) * (0.90m) * 1.1 * 29[kPa]$$

$$R = (1.03m) * (0.90m) * 1.1 * 29[kPa]$$

$$R = 29.57 [kN]$$

Se debe tener un pasador el cual soporte por lo menos 29.57 [kN]

### *Elemento de columna*

Usando las tablas de la sección anterior. Se debe determinar una base para el espaciamiento de elementos de encofrado de columna. Se toma en cuenta que se quiere diseñar el encofrado de una columna de 3.65 metros de alto donde la máxima presión esperada es de 86 [kPa] en la base de la columna y la misma disminuye en función de la altura, llegando a ser 0 en la altura máxima de la columna. Se planea usar cuartones verticales de 5x10 centímetros (tipo A) en su dirección fuerte. Los montantes estarían soportando un tablero clase B de 18 milímetros con la cara principal orientada paralela a la fibra principal. Se debe encontrar el espaciamiento entre cuartones y también entre barrotes los cuales soporten a los cuartones.

En base a los datos anteriores, se puede encontrar el espaciamiento entre cuartones tomando en cuenta que el tablero es continuo por 3 o más luces. Para esto, se utiliza la tabla No.17 donde se puede obtener lo siguiente:

Espaciamiento seguro para Tableros clase B								
3 luces								
Presion total arroximada [kPa]	Cara paralela a la fibra principal Espesor [mm]				Cara perpendicular a la fibra principal Espesor [mm]			
	12mm	16mm	18mm	25mm	12mm	16mm	18mm	25mm
4	50	58	66	78	38	43	53	71
5	48	53	61	74	38	43	53	66
6	45	51	58	69	36	41	51	61
7	43	48	56	66	33	38	48	58
8	40	48	53	64	30	36	46	56
10	40	46	51	61	28	33	43	56
14	36	41	46	56	25	33	43	51
19	30	36	41	51	23	28	38	46
24	28	33	38	46	20	25	33	43
29	25	30	33	43	18	23	30	41
33	23	28	30	41	18	20	28	36
38	48	25	28	38	15	20	25	36
43	20	25	28	36	15	18	20	30
48	20	23	25	33	13	15	20	28
53	20	23	25	30	13	15	18	25
57	18	20	23	30	10	13	18	25
62	18	20	23	28	10	13	15	23
67	15	18	23	28	10	13	15	20
72	15	18	20	25	10	10	13	20
77	15	15	20	25	10	10	13	18
81	15	15	18	23	10	10	13	18
86	13	15	18	23	8	10	13	18
91	13	15	18	20	8	10	10	18
96	13	13	15	20	8	8	10	15
105	13	13	15	18	8	8	10	15
115	10	13	15	18	8	8	10	13
124	10	10	13	15	8	8	8	13
134	10	10	13	15	8	8	8	13
143	10	10	13	15	8	8	8	13

*Ilustración 19: Espaciamiento obtenido de tabla No.17*

Al entrar con un valor de 86 [kPa] de presión y un espesor de 18 milímetros del tablero clase B, se tiene un resultado de 18 centímetros de espaciamento entre cuartones.

Las abrazaderas o trabillas de columna y su espaciamento se determinan desde la base de la columna hacia arriba. Se asume que la presión es uniforme entre las trabillas y que la magnitud de la intensidad es igual a la de la sección de trabilla anterior. De igual manera, se asume por la altura de la columna que la primera trabilla se pondrá a 10 centímetros de la base de la columna. Para la ubicación de la primera trabilla es necesario encontrar la presión lateral ejercida en este punto la cual sería igual a:

$$C_{cp} = 86 [kPa] - (0.10[m] * 23.56 \left[ \frac{kN}{m^3} \right])$$

$$C_{cp} = 83.6 [kPa]$$

Esto implica que la carga en cada cuartón vertical de 5x10 centímetros sería igual a la presión obtenida multiplicada por el espaciamento de los cuartones:

$$w = 83.6 [kPa] * 0.18 [m]$$

$$w = 14.99 = 15 \left[ \frac{kN}{m} \right]$$

En base a lo expuesto anteriormente se puede proceder al uso de las tablas al conocer la carga aplicada y el tipo de montante. Se asume que los montantes soportan más de tres luces. Se toma en cuenta la siguiente tabla:

Espaciamiento seguro para elementos de soporte de montantes de 3 o más luces			
Carga [kN/m]	Madera Tipo A		
	E'	9500	Mpa
	F'v	15	Mpa
	Seccion [cmxcm]	Seccion [cmxcm]	Seccion [cmxcm]
	4	5	6
			5
			10
F'b			
25 [Mpa]			
1.5	100	125	185
2.9	81	105	155
4.4	71.00	92.00	140.00
5.8	60.00	83.00	131.00
7.3	60.00	77.00	124.00
8.8	55.00	73.00	118.00
10.2	50.00	69.00	114.00
11.7	51.00	66.00	110.00
13.1	49.00	64.00	106.00
14.6	48.00	61.00	102.00
16.1	45.00	60	99.00
17.5	42.00	58.00	96.00
19.0	42.00	56.00	94.00
20.4	41.00	55.00	91.00
21.9	40.00	53.00	89.00
23.4	38.00	51.00	86.00
24.8	37.00	50.00	83.00
26.3	36.00	48.00	81.00
27.7	35.00	47.00	79.00
29.2	34.00	46.00	77.00
30.6	33.00	45.00	75.00
32.1	33.00	44.00	73.00
33.6	32.00	43.00	72.00
35.0	31.00	42.00	70.00
36.5	31.00	41.00	69.00
37.9	30.00	40.00	67.00
39.4	29.00	40.00	66.00
40.9	29.00	39.00	65.00
42.3	28.00	38.00	64.00
43.8	28.00	37.00	63.00
46.7	27.00	36.00	61.00
49.6	26.00	35.00	59.00
52.5	25.00	34.00	57.00
55.5	25.00	33.00	56.00
58.4	24.00	32.00	54.00
65.7	23.00	31.00	51.00
73.0	21.00	29.00	48.00

Ilustración 20: Espaciamiento obtenido de tabla No.21

En base a la tabla se obtiene un espaciamiento máximo de 99 centímetros para el soporte de cuarterones. De manera conservadora y sencilla de ejecutar se asume el espaciamiento como 90 centímetros. En base a esta distancia se puede ubicar la siguiente trabilla, la cual quedaría a:  $10 \text{ cm} + 90 \text{ cm} = 100 \text{ cm}$  de espaciamiento. Al igual que en el proceso anterior, se procede a calcular la presión en este nivel mediante:

$$C_{cp} = 86 \text{ [kPa]} - (1 \text{ [m]} * 23.56 \left[ \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \right])$$

$$C_{cp} = 62.44 \text{ [kPa]}$$

Por ende, el elemento vertical de 5x10 centímetros en el nivel 2 de trabilla siente una carga de:

$$w = 62.44[kPa] * 0.18[m]$$

$$w = 11.23 \left[ \frac{kN}{m} \right]$$

Con esta carga se puede entrar en la tabla No. 21 con este valor de carga para un elemento de trabilla de 5x10 se obtiene lo siguiente:

Espaciamiento seguro para elementos de soporte de montantes de 3 o más luces				
Carga [kN/m]	Madera Tipo A			
	E'	9500		
	F'v	15		
	Mpa			
Seccion [cmxcm]	Seccion [cmxcm]	Seccion [cmxcm]		
	4	5	6	10
F'b				
25 [Mpa]				
1.5	100	125	185	
2.9	81	105	155	
4.4	71.00	92.00	140.00	
5.8	60.00	83.00	131.00	
7.3	60.00	77.00	124.00	
8.8	55.00	73.00	118.00	
10.2	50.00	69.00	114.00	
11.7	51.00	66.00	110.00	
13.1	43.00	64.00	106.00	
14.6	48.00	61.00	102.00	
16.1	45.00	60	99.00	
17.5	42.00	58.00	96.00	
19.0	42.00	56.00	94.00	
20.4	41.00	55.00	91.00	
21.9	40.00	53.00	89.00	
23.4	38.00	51.00	86.00	
24.8	37.00	50.00	83.00	
26.3	36.00	48.00	81.00	
27.7	35.00	47.00	79.00	
29.2	34.00	46.00	77.00	
30.6	33.00	45.00	75.00	
32.1	33.00	44.00	73.00	
33.6	32.00	43.00	72.00	
35.0	31.00	42.00	70.00	
36.5	31.00	41.00	69.00	
37.9	30.00	40.00	67.00	
39.4	29.00	40.00	66.00	
40.9	29.00	39.00	65.00	
42.3	28.00	38.00	64.00	
43.8	28.00	37.00	63.00	
46.7	27.00	36.00	61.00	
49.6	26.00	35.00	59.00	
52.5	25.00	34.00	57.00	
55.5	25.00	33.00	56.00	
58.4	24.00	32.00	54.00	
65.7	23.00	31.00	51.00	
73.0	21.00	29.00	48.00	

Ilustración 21: Espaciamiento obtenido de tabla No.21

De esta manera se obtiene que la tercera trabilla seria ubicada a 110 centímetros de la segunda trabilla. De manera conservadora se asume esta distancia como 90 centímetros y

esto daría como resultado una distancia de  $10\text{cm} + 90\text{cm} + 90\text{cm} = 190\text{cm}$  desde la base. Se procede a determinar la presión lateral en este punto y repetir el proceso hasta satisfacer la altura de la columna. Se debe controlar que la columna esté bien apoyada por sus respectivos puntales.

### *Elemento de losa*

En base a las tablas expuestas anteriormente, se puede realizar el diseño preliminar para los tableros, los montantes (viguetas), largueros (vigas) y puntales. Se deben dimensionar las dimensiones para un encofrado de losa donde los elementos mencionados para una suma de carga viva y muerta de  $10\text{ [kPa]}$ . Se toma en cuenta que se tienen puntales los cuales soportan al tablero espaciados  $1.10$  en ambas direcciones. Se tiene una altura libre entre pisos de  $3.20$  metros. Al tratarse de un encofrado de grandes alturas entre piso se toma en cuenta el uso de madera tipo A.

#### 1) Largueros (vigas)

Tomando en cuenta que los puntales se encuentran espaciados  $1.10$  metros en ambas direcciones, esto implica que los largueros o vigas de madera se encuentran espaciadas  $1.10$  metros entre ellas y tienen una luz libre de  $1.20$  metros. Se toma en cuenta que se las diseñará como vigas continuas de 3 o más luces. Con una carga equivalente uniforme igual a la distancia entre las vigas o largueros multiplicada por la presión uniforme en el encofrado:

$$w = 10\text{ [kPa]} * 1.10\text{m} = 11\left[\frac{\text{kN}}{\text{m}}\right]$$

Usando la tabla No.21, en base a la carga obtenida y a que las vigas son continuas por 3 o más luces, se puede obtener que sección cumpliría con el espaciamiento requerido de  $1.20$  metros brindado por los puntales de la siguiente manera:

Espaciamiento seguro para elementos de soporte de montantes de 3 o más luces			
Carga [kN/m]	Madera Tipo A		
	E'	9500	
	F'v	15	
	Seccion [cmxcm]	Seccion [cmxcm]	Seccion [cmxcm]
	4	5	6
	F'b		
	25 [Mpa]		
1.5	100	125	185
2.9	81	105	155
4.4	71.00	92.00	140.00
5.8	60.00	83.00	131.00
7.3	60.00	77.00	124.00
8.8	55.00	73.00	118.00
10.2	50.00	69.00	114.00
11.7	51.00	66.00	110.00
13.1	49.00	64.00	106.00
14.6	48.00	61.00	102.00
16.1	45.00	60	99.00
17.5	42.00	58.00	96.00
19.0	42.00	56.00	94.00
20.4	41.00	55.00	91.00
21.9	40.00	53.00	89.00
23.4	38.00	51.00	86.00
24.8	37.00	50.00	83.00
26.3	36.00	48.00	81.00
27.7	35.00	47.00	79.00
29.2	34.00	46.00	77.00
30.6	33.00	45.00	75.00
32.1	33.00	44.00	73.00
33.6	32.00	43.00	72.00
35.0	31.00	42.00	70.00
36.5	31.00	41.00	69.00
37.9	30.00	40.00	67.00
39.4	29.00	40.00	66.00
40.9	29.00	39.00	65.00
42.3	28.00	38.00	64.00
43.8	28.00	37.00	63.00
46.7	27.00	36.00	61.00
49.6	26.00	35.00	59.00
52.5	25.00	34.00	57.00
55.5	25.00	33.00	56.00
58.4	24.00	32.00	54.00
65.7	23.00	31.00	51.00
73.0	21.00	29.00	48.00

Ilustración 22: Espaciamiento obtenido de tabla No.21

Al entrar en la tabla en función al espaciamiento y carga requeridos se tiene que la única sección que cumple sería la de 5x10 centímetros. Se toma en cuenta que como la relación b/d es menor o igual a 2, esta sección cumple con los requerimientos de pandeo lateral y puede proveer mejor superficie de contacto con los puntales.

## 2) Tablero

El espaciamiento de los puntales de 1.10 metros brinda el espaciamiento de los largueros o vigas y por ende la luz libre entre los montantes o viguetas. El espaciamiento de los montantes depende de los requerimientos del tablero. Para esto se asumió un tablero de 18 milímetros clase en el cual la dirección de la fibra principal es paralela a la luz entre apoyos. Tomando en cuenta que los tableros de losa son continuos por más de 3 luces, se puede

obtener lo siguiente en base a la tabla No. 17 la cual expone el espaciamiento seguro para montantes en base a las condiciones de los tableros:

Espaciamiento seguro para Tableros clase B								
3 luces								
Presion total arproximada [kPa]	Cara paralela a la fibra principal				Cara perpendicular a la fibra principal			
	Espesor [mm]				Espesor [mm]			
	12mm	16mm	18mm	25mm	12mm	16mm	18mm	25mm
4	50	58	66	78	38	43	53	71
5	48	53	61	74	38	43	53	66
6	45	51	58	69	36	41	51	61
7	43	48	56	66	33	38	48	58
8	40	48	53	64	30	36	46	56
10	40	46	51	61	28	33	43	56
14	36	41	46	56	25	33	43	51
19	30	36	41	51	23	28	38	46
24	28	33	38	46	20	25	33	43
29	25	30	33	43	18	23	30	41
33	23	28	30	41	18	20	28	36
38	48	25	28	38	15	20	25	36
43	20	25	28	36	15	18	20	30
48	20	23	25	33	13	15	20	28
53	20	23	25	30	13	15	18	25
57	18	20	23	30	10	13	18	25
62	18	20	23	28	10	13	15	23
67	15	18	23	28	10	13	15	20
72	15	18	20	25	10	10	13	20
77	15	15	20	25	10	10	13	18
81	15	15	18	23	10	10	13	18
86	13	15	18	23	8	10	13	18
91	13	15	18	20	8	10	10	18
96	13	13	15	20	8	8	10	15
105	13	13	15	18	8	8	10	15
115	10	13	15	18	8	8	10	13
124	10	10	13	15	8	8	8	13
134	10	10	13	15	8	8	8	13
143	10	10	13	15	8	8	8	13

Ilustración 23: Espaciamiento obtenido de tabla No.17

De la tabla anterior se obtiene un espaciamiento de 51 centímetros entre montantes o viguetas. Esto implica usar tableros los cuales permitan apoyar viguetas cada 51 centímetros. De esta manera, se pueden usar tableros de 1.20x2.40 metros los cuales permiten el apoyo en el borde de los tableros, se toman en cuenta 5 espacios de 2.40 [metros] /5 espacios iguales= 48 centímetros

### 3) Montantes (Viguetas)

El espaciamiento determinado de 48 centímetros se convierte en el espacio requerido entre elementos los cuales actúan como viguetas (montantes) y su luz entre viguetas es de 1.10 metros. En base a estas condiciones se puede obtener el tamaño requerido de montantes o viguetas en función de la carga en los mismos. La carga se calcula de la siguiente manera:

$$w = 10[kPa] * 0.48[m]$$

$$w = 4.8 \left[ \frac{kN}{m} \right]$$

En base a esta carga se puede proceder a usar la tabla No.21 para obtener la sección requerida de montantes.

<b>Espaciamiento seguro para elementos de soporte de montantes de 3 o más luces</b>			
<b>Carga [kN/m]</b>	<b>Madera Tipo A</b>		
	E' 9500 Mpa		
	F'v 15 Mpa		
	<b>Seccion [cmxcm]</b>	<b>Seccion [cmxcm]</b>	<b>Seccion [cmxcm]</b>
4	5	5	10
<b>F'b 25 [Mpa]</b>			
1.5	100	125	185
2.9	81	105	155
4.4	71.00	92.00	140.00
5.8	60.00	83.00	131.00
7.3	60.00	77.00	124.00
8.8	55.00	73.00	118.00
10.2	50.00	69.00	114.00
11.7	51.00	66.00	110.00
13.1	49.00	64.00	106.00
14.6	48.00	61.00	102.00
16.1	45.00	60	99.00
17.5	42.00	58.00	96.00
19.0	42.00	56.00	94.00
20.4	41.00	55.00	91.00
21.9	40.00	53.00	89.00
23.4	38.00	51.00	86.00
24.8	37.00	50.00	83.00
26.3	36.00	48.00	81.00
27.7	35.00	47.00	79.00
29.2	34.00	46.00	77.00
30.6	33.00	45.00	75.00
32.1	33.00	44.00	73.00
33.6	32.00	43.00	72.00
35.0	31.00	42.00	70.00
36.5	31.00	41.00	69.00
37.9	30.00	40.00	67.00
39.4	29.00	40.00	66.00
40.9	29.00	39.00	65.00
42.3	28.00	38.00	64.00
43.8	28.00	37.00	63.00
46.7	27.00	36.00	61.00
49.6	26.00	35.00	59.00
52.5	25.00	34.00	57.00
55.5	25.00	33.00	56.00
58.4	24.00	32.00	54.00
65.7	23.00	31.00	51.00
73.0	21.00	29.00	48.00

*Ilustración 24: Espaciamiento obtenido de tabla No.21*

Dado que se fijó el espaciamento entre viguetas o montantes como 1.10 metros, es necesario tomar en cuenta las secciones de montantes las cuales satisfacen este espaciamento tomando en cuenta la carga de 4.8. Para esto dentro de la figura No.17 se puede ver cómo solo la sección de 5x10 centímetros cumple con los espaciamentos requeridos para 4.4 [kN/m] y 5.8 [kPa]. A diferencia del ACI SP-4, donde se estipulan una serie de secciones las cuales cumplen con el espaciamento requerido para una carga determinada, en este caso solo la sección de 5x10 centímetros cumple con los requerimientos de carga y espaciamento. En este caso la selección óptima recae sobre la selección de los elementos de 5x10 centímetros.

4) Puntales

La selección de los puntales está en función de la carga la cual soportan los mismos y la altura a la cual estos se ubican. En este caso, Se toma en cuenta que los montantes y largueros tienen una altura de 10 centímetros cada uno, y el tablero un espesor de 1.8 centímetros. Por ende, la altura ocupada por los elementos de encofrado es de aproximadamente 22 centímetros. La carga en el puntal se debe considerar tomando en cuenta la continuidad de las vigas (largueros) en las que se apoya. Dado que el elemento donde se soportan los puntales (largueros) es continuo por más de tres luces, la reacción en estos elementos se define por:

$$R = R_b = R_c = 1.1 * wl = 1.1 * \left( 11 \left[ \frac{kN}{m} \right] * 1.10[m] \right) = 12.1[kN]$$

También, se considera que la altura libre entre pisos es de 3.20 metros a la cual se le resta 22 centímetros y esto daría como resultado una nueva altura libre sería de 2.98 metros aproximadamente. Para la comprobación la carga en puntales telescópicos se toma en cuenta la siguiente tabla:

Capacidad de carga de puntales telescopicos [kN]		
Altura [m]	Rango	
	1.75-3.10[m]	2.10-3.50[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	12.7
3.1	8.5	11
3.2	-	10.36
3.3	-	9.72
3.4	-	9.08
3.5	-	8.44

*Ilustración 25: Carga admisible en puntales obtenido de tabla No.39*

Se toma en cuenta que para un altura de 2.98 se pueden usar puntales telescópicos metálicos de 2.10 metros a 3.50 metros. Donde para 3 metros de extensión se soporta una carga de 12.7 [kN] lo cual cumple en base al diseño de las vigas (largueros).

### *Parte inferior de la viga*

Se toma en cuenta el diseño de una viga de 55 centímetros de ancho la cual soporta una carga total de 7.3 [kN/m]. Para la cual se van a usar tablonces de madera de sección tipo A de 15x 5 centímetros. Es necesario llegar a calcular el espaciamiento requerido entre puntales los cuales soporten a la viga. Si se toman en cuenta tablonces de 15x 5 centímetros se tiene que tomar en cuenta que la carga lineal de 7.3 [kN/m] para cada tablón. Al tomar en cuenta el ancho de 15 centímetros de tablonces se llega tener que se necesitan 4 tableros para satisfacer el ancho de la viga. Por ende, la carga quedaría determinada por:

$$w = \frac{7.3 \left[ \frac{kN}{m} \right]}{4} = 1.83 \left[ \frac{kN}{m} \right]$$

Asumiendo que la parte inferior de la viga va a ser continua por varias luces, se puede obtener lo siguiente. Al no tomar en cuenta el diseño de tablonces dentro de este informe. Se procede a calcular el espaciamiento en los tablonces en función al capítulo 7 del ACI SP-4. Para esto se toman en cuenta las ecuaciones expuestas en el capítulo anterior para el chequeo de deflexión, flexión y corte.

#### **Deflexión:**

3 o más luces

$$l = 0.738 \sqrt[3]{\frac{EI}{w}}$$

2 luces

$$l = 0.804 \sqrt[3]{\frac{EI}{w}}$$

1 luz

$$l = 0.598 \sqrt[3]{\frac{EI}{w}}$$

**Flexión:**

3 luces

$$l = 3.16 * \sqrt{\frac{F'b * Sx}{w}}$$

1 y 2 luces

$$l = 2.83 \sqrt{\frac{F'b * Sx}{w}}$$

**Corte**

3 luces

$$l = \frac{Fv * b * d}{0.9 * w} + 1.67 * d + 0.83 * lb$$

2 luces

$$l = \frac{Fv * b * d}{0.94 * w} + 1.67 * d + 0.83 * lb$$

1 luz

$$l = \frac{Fv * b * d}{0.75 * w} + 1.67 * d + 0.83 * lb$$

Al tomar en cuenta el menor valor de los 3 controles se obtuvo  $l = 1.50$  metros en base al chequeo de deflexión del ACI SP4-14. Para corroborar este valor se tomó en cuenta la herramienta de cálculo de Hidrobo en el 2021. En esta se toma en cuenta también el chequeo de deflexión por parte de la NEC 2015, el cual en este caso brindaría el menor valor posible de 1.371 metros.

Diseño de Montantes		
Parámetro	Valor	Unidad
Presión Lateral ( $C_{OP\ MAX}$ )	52.40	[kPa]
Carga Distribuida ( $w$ )	1.830	[kN/m]
Inercia ( $I$ )	1.563E-06	[m <sup>4</sup> ]
Módulo de Elasticidad Mínimo ( $E_{min}$ )	9500	[MPa]
Módulo de Sección Requerido ( $S_x$ )	6.250E-05	[m <sup>3</sup> ]
Chequeo por Flexión		
Esfuerzo de Flexión Admisible ( $F_m$ )	21	[MPa]
Longitud Máxima Permitida ( $l$ )	2.676	[m]
Chequeo por Deflexión ACI-SP4		
Longitud Máxima Permitida ( $l$ )	1.473	[m]
Chequeo por Deflexión NEC 2015		
Deflexión Máxima Permitida ( $\Delta_{max}$ )	0.003	[m]
Longitud Máxima Permitida ( $l$ )	1.371	[m]
Chequeo por Cortante		
Esfuerzo de Corte Admisible ( $F_v$ )	15	[MPa]
Longitud Máxima Permitida ( $l$ )	68.633	[m]
<small>La longitud definitiva es la menor entre todas las calculadas en los diferentes chequeos. Para facilitar se debe reducir los decimales a 0.</small>		
Longitud Definitiva ( $l_d$ )	1.371	[m]
Longitud Definitiva ( $l_d$ )	0.600	[m]

*Ilustración 26: Cálculo mediante hoja de cálculo desarrollada por Rodrigo Hidrobo.*

Esto brinda como resultado un espaciamiento de 1.37 metros entre puntales. De manera conservadora se puede asumir un espaciamiento de 1.30 metros entre ellos.

### 3. Conclusiones y recomendaciones

El presente proyecto para finalización de carreara culminó y cumplió con los diferentes objetivos propuestos, en el cual se analizó y se elaboró una guía para el diseño de encofrados de madera en base a las tablas de diseño del capítulo 9 del ACI SP-4. En este proyecto se calcularon diferentes tablas las cuales brindan como resultado el espaciamiento seguro entre elementos de encofrado tomando en cuenta las diferentes propiedades mecánicas y dimensiones de los elementos comúnmente usados en la industria de la construcción ecuatoriana.

Se tomó en cuenta que la industria de la construcción ecuatoriana posee un conocimiento nulo o muy reducido sobre el cálculo y diseño de encofrados. Al no poseer una guía específica para el diseño óptimo de encofrados, la regulación de estos se vuelve opcional y varía en base a la discreción del constructor.

Para lograr el desarrollo óptimo de las diferentes tablas de diseño, se exploraron los diferentes tipos de materiales para el encofrado. También se exploraron las diferentes medidas comerciales de los elementos de encofrado comunes en Ecuador para lograr obtener un mejor acercamiento a las tablas analizadas del ACI SP-4(14). Los diferentes datos para el desarrollo del proyecto surgieron del análisis de la norma ecuatoriana de la construcción para madera y de las diferentes guías del ACI como el SP4 o el 347-14.

Por otro lado, se consiguieron desarrollar las tablas de diseño del capítulo 9 del ACI SP-4 (14) adaptándolas a los diferentes tipos de madera disponibles en el país con sus respectivas características comerciales, para un futuro diseño preliminar de los diferentes componentes del encofrado de madera como lo son las columnas, losas, muros y partes inferiores de viga. La herramienta para el cálculo de encofrados resulta ser didáctica y sencilla para un diseño preliminar en el cual no arriesgue la seguridad ni la integridad económica de una obra civil.

Se recomienda para futuros proyectos basarse y guiarse en el ACI SP4 (14) para cualquier diseño o temática relacionada al diseño de encofrados. Es necesario tomar en cuenta las normas internacionales para su aplicación en nuestra región la cual carece de regulación en estas ramas de la ingeniería. Guiar el diseño de encofrados en base a una norma vigente garantiza efectividad y seguridad en la obra, lo cual se puede traducir en evitar rubros económicos extra.

Es fundamental tener varias fuentes de información las cuales puedan discutir y sustentar los diferentes datos de la industria civil al no tener suficientes fuentes las cuales sustenten los datos.

## REFERENCIAS

- Al-ashwal, M., Abdullah, R., & Zakaria, R. (2017). *Traditional formwork system sustainability performance: experts' opinion* . Johor Bahru: IOP Publishing .
- American Concrete Institute . (1999). *Specifications for Structural Concrete*. Farmington Hills: American Concrete Institute .
- American Concrete Institute . (2014). *Guide to Formwork for Concrete: ACI347R-14*. Farmington Hills: American Concrete Institute .
- Arslan, M. (2004). *Effects of formwork surface materials on concrete lateral pressure*. Ankara: ELSEIVER.
- Béltran, S. (2020). *Análisis de los métodos de cálculo de la presión del hormigón fresco* . Quito: Universidad San Francisco de Quito .
- CAMICON. (2017). *Quito desde el sector de la construcción*. Quito: CAMICON.
- Corporacion de Aceros Arequipa. (2010). *Construye Seguro: Manual del Maestro Constructor*. Lima.

DEHORMIGON. (4 de Abril de 2021). *DEHORMIGON*. Obtenido de Que es una losa de concreto armado?: <https://dehormigon.com.ar/hormigon-armado/losa-de-hormigon-armado/>

Diccionario de Arquitectura y Construcción. (05 de Marzo de 2022). *Diccionario de Arquitectura y Construcción*. Obtenido de Definición de larguero y conceptos relacionados : <https://www.parro.com.ar/definicion-de-larguero>

Doblare, M. e. (1989). *DETERMINACION DE TENSIONES DE CONTACTO ENTRE MATERIALES ORTOTROPOS MEDIANDE EL M.E.C*. Zaragoza: Revista Internacionai de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería.

Gharpedia. (26 de 02 de 2022). *Gharpedia*. Obtenido de Things to Check Before Concreting Column: <https://gharpedia.com/blog/things-check-before-concreting-column/>

Guerrero, A. (2018). *ANALISIS COMPARATIVO DE FACTIBILIDAD TECNICA, ECONOMICA Y CONSTRUCTIVA ENTRE*. Quito: PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR.

Guía práctica para el diseño de estructuras de madera . (2016). *Guía práctica para el diseño de estructuras de madera en conformidad a la Norma*. Quito.

Hanna, A. S. (1999). *Concrete Formwork Systems*. New York: Marcel Dekker.

Hidrobo, R. (2020). *Herramienta de Cálculo Para el Diseño de Encofrados de Madera* . Quito: Universidad San Francisco de Quito.

Hurd, M. K. (2005). *Formwork for Concrete* . Farmington Hills: American Concrete Institute.

INEC. (2005). *División político-administrativa de la República del Ecuador*. Quito.

- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1976). *GP-016: Diseño y Contrucción de Encofrados*. Quito: INEN.
- INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. (2012). *Tableros de Madera Contrachapada. Dimensiones*. Quito: INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN.
- Johnston, D. (2014). *An ACI Manual Formwork for Concrete, ACI SP4-14*. Farmington Hills: American Concrete Institute .
- Kovler, K., & Roussel, N. (2011). *Cement and Concrete Research*. Amsterdam: Elseiver.
- Machnikowski, T. (22 de March de 2011). *Home Builing in Vancouver* . Obtenido de Photo Journal of Home Construction : <https://studio-tm.com/constructionblog/?p=2532>
- Murata, J. (1984). *Flow and deformation of fresh concrete*. Tokio: Tokyo Metropolitan University .
- Norma Ecuatoriana de la Construcción . (2015). *Estructuras de Madera*. Quito: NEC.
- Organización de las Naciones Unidas. (2021). *Naciones Unidas*. Obtenido de Desafios globales: Población: <https://www.un.org/es/global-issues/population>
- Pawar, S., & Atterde, P. (2014). *Comparative Anylisis of Formwork In Multistory Building*. Bhusawal: International Journal of Research in Engineering and Technology.
- Ramachandran, V. (1996). *Concrete Admixtures Handbook*. Ottawa: William Andrew Inc.
- Rodin, S. (2015). *Presure of Concrete on Formwork*. London : ICE publishing .

Rodríguez, V. (2020). *Presión Lateral del hormigón fresco: Instrumentación y diseño de*. Quito: UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO.

Sanhueza, M. (23 de 02 de 2017). *Hormigón en Estado Fresco*. Obtenido de <http://www.vialidad.cl/areasdevialidad/laboratorionacional/MaterialCursos/hormigon>

Tejado, I. (26 de Mayo de 2015). *Maderea*. Obtenido de Maderas para Construcción; tablas, vigas, tablones y cuartones: <https://www.maderea.es/maderas-para-construccion-tablas-vigas-tablones-y-cuartones/>

Xiao, Y. (2021). *The importance of formwork methods in the economical execution of concrete structures*. Leipzig: Leipzig University of Applied Sciences.