

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

Análisis de los métodos de cálculo de la presión del hormigón fresco sobre los encofrados

Armando Sebastián Beltrán Álvarez

Ingeniería Civil

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito

para la obtención del título de

INGENIERO CIVIL

Quito, 18 de diciembre de 2020

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

HOJA DE CALIFICACIÓN

DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

**Análisis de los métodos de cálculo de la presión del hormigón fresco sobre
los encofrados**

Armando Sebastián Beltrán Álvarez

Nombre del profesor, Título académico:

Juan José Recalde, Ph.D.

Quito, 18 de diciembre de 2020

© 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: Armando Sebastián Beltrán Álvarez

Código: 00124292

Cédula de identidad: 1718130600

Lugar y fecha: Quito, 18 de diciembre de 2020

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UNPUBLISHED DOCUMENT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

El material más usado en el Ecuador para encofrar hormigones es la madera. En el proceso de fraguado, el hormigón puede llegar a generar presiones considerablemente grandes en función de la altura del elemento. Por este motivo en el presente proyecto de investigación se realizó una revisión de códigos e investigaciones para determinar la cantidad de información existente sobre la presión que ejerce el hormigón fresco. A partir de esa información recabada se presentó un artículo referente a presiones. Posteriormente, se analizó un procedimiento para calcular y diseñar encofrados por medio del método de esfuerzos admisibles (ASD). Dado que son temas que no se encuentran en la NEC (2015) y que por lo general en obra se lo realiza de forma empírica, se propuso un proyecto de código para estimar presiones en unidades del sistema internacional y para diseñar encofrados de muros o columnas con maderas ecuatorianas. Mediante este proyecto de investigación se proporciona información concreta para poder diseñar y construir encofrados de manera segura y eficiente.

Palabras clave: Encofrados, presión, hormigón, esfuerzos admisibles, madera, código, fraguado.

ABSTRACT

The most used material in Ecuador to formwork concrete is wood. In the setting process, concrete can generate considerably high pressures depending on the height of the element. For this reason, in the present research project, a codes review and studies were carried out to determine the amount of available information about pressure exerted by fresh concrete on formwork. Based on this information, an article was presented regarding to pressure. Subsequently, a procedure to calculate and design formwork was analyzed using the allowable stress design (ASD). Given that these topics are not found in NEC (2015) and that are generally done empirically, a code project was proposed to estimate pressures in units of the international system and to design walls or columns formwork with Ecuadorian woods. This research project provides specific information to be able to design and build formwork safely and efficiently.

Key words: Formwork, pressure, concrete, allowable stress, wood, code, setting.

TABLA DE CONTENIDO

1.	Introducción	13
1.1.	Antecedentes	13
1.2.	Justificación.....	14
1.3.	Objetivos	15
1.3.1.	Objetivo general.....	15
1.3.2.	Objetivos específicos.	15
1.4.	Actividades.....	16
1.5.	Resultados esperados.....	16
1.6.	Definiciones	17
2.	Desarrollo del tema	18
2.1.	Revisión de literatura	18
2.1.1.	Fundamentos del hormigón fresco.....	18
2.1.2.	Revisión de códigos.	21
2.1.2.1.	Ecuador.....	21
2.1.2.2.	EE. UU.....	21
2.1.2.2.1.	Guide to formwork for concrete ACI 374 R-14.....	22
2.1.2.3.	Europa.....	23
2.1.2.3.1.	Deutsches Institut für Normung DIN 18218.	23
2.1.3.	Investigaciones.....	26
2.1.3.1.	Modelo de Gardner.	26
2.1.3.2.	Instituto Eduardo Torroja. Doctor Martin Palanca	27
2.1.3.3.	CIRIA Report 108.	29
2.1.3.4.	Modelo de Yu.	30
2.1.3.5.	Gallego et. al.....	31

2.2.	ACI Manual Formwork for Concrete 8 th Edition	33
2.2.1.	Estimación de presiones.....	33
2.2.2.	Diseño de encofrado para muros.....	37
2.2.3.	Diseño de encofrado para columnas.	65
2.2.4.	Ejemplo de diseño de encofrado de columna.	73
2.3.	Adaptacion del método ACI Manual Formwork for Concrete 8th Edition para el caso ecuatoriano.....	83
2.4.	Artículo/ Boletín técnico para revista ecuatoriana	83
3.	Conclusiones y recomendaciones	84
3.1.	Conclusiones	84
3.2.	Recomendaciones.....	85
	Referencias Bibliográficas	86
	Anexo A: Simplificación de Fórmulas de estimación de Presión.....	89
	Anexo B: Desarrollo de un proyecto de Código en base a NEC-SE-MD (2015) y ACI – SP4(14). Cálculo de presiones del hormigón fresco sobre encofrados y diseño de encofrados para muros y columnas	90
	Anexo C: Artículo para revista ecuatoriana. Cálculo de presiones laterales sobre encofrados.	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Consideraciones iniciales DIN 18218.....	24
Tabla 2 Clasificación según su consistencia Fuente: EN 12350-5	24
Tabla 3 Cálculo de presión máxima Fuente: DIN 18218.....	25
Tabla 4 Valores y fórmulas para obtener K1 Fuente: DIN 18218	25
Tabla 5 Clasificación en función del tipo de Cemento Fuente: UNE EN 197-1 (2000).....	29
Tabla 6 Valores para el coeficiente C_f	31
Tabla 7 Hipótesis de estudio para modelo de elemento finitos Fuente: (Gallegos et al, 2006)	31
Tabla 8 Consideraciones de Parámetros de Estudio Fuente: (Gallegos et al, 2006).....	32
Tabla 9 Comparación de presiones en función de la altura del elemento estructural	32
Tabla 10 Aplicabilidad de fórmulas para el cálculo de la presión que ejerce el concreto Fuente: (Johnston, 2014).....	35
Tabla 11 Coeficiente Químico en función del tipo de cemento y uso de retardantes Fuente: (Johnston, 2014).....	36
Tabla 12 Coeficiente C_w para densidad de concreto Fuente: (Johnston, 2014)	36
Tabla 13 Propiedades de sección efectiva Fuente: APA V345V-12	41
Tabla 14 Valores ajustados de diseño Fuente: APA V345V-12.....	41
Tabla 15 Valores Referencia de diseño para diferentes tipos de madera Fuente: AWC NDS- 2012.....	46
Tabla 16 Aplicación de cada factor de corrección Fuente: (Johnston, 2014).	46
Tabla 17 Coeficiente de Duración en función del tipo de carga Fuente: (Johnston, 2014). ...	47
Tabla 18 Coeficiente de humedad Fuente: (Johnston, 2014).....	47
Tabla 19 Coeficiente de corrección por temperatura Fuente: (Johnston, 2014).	48
Tabla 20 Coeficiente de tamaño y planicidad Fuente: (Johnston, 2014).....	48

Tabla 21 Coeficiente de Incisión Fuente: (Johnston, 2014).....	49
Tabla 22 Propiedades geométricas de distintas maderas de Estados Unidos Fuente: (Johnston, 2014).....	50
Tabla 23 Coeficiente de ajuste en función de la longitud de contacto Fuente: (Johnston, 2014).	57
Tabla 24 Separación de cuartones en columnas Fuente: (Johnston, 2014).....	68
Tabla 25 Presión máxima de diseño para una columna de 12 pies.....	73
Tabla 26 Consideraciones para tableros y cuartones	73
Tabla 27 Consideraciones de Cuartones y trabillas	74
Tabla 28 Factor de diseño para esfuerzo admisible por flexión	77
Tabla 29 Factor de diseño para esfuerzo admisible por cortante	77
Tabla 30 Corrección para el módulo de elasticidad.....	77
Tabla 31 Cálculo para trabilla #1	78
Tabla 32 Cálculo para trabilla #2.....	78
Tabla 33 Cálculo para trabilla #3.....	79
Tabla 34 Cálculo para trabilla #4.....	79
Tabla 35 Cálculo para trabilla #5.....	79
Tabla 36 Cálculo para trabilla #6.....	80
Tabla 37 Cálculo para trabilla #7	80
Tabla 38 Cálculo para trabilla #8.....	80
Tabla 39 Primer espaciamiento de trabillas para ejemplo de columna.....	81
Tabla 40 Segundo espaciamiento de trabillas para ejemplo de columna.....	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No. 1 Costos de componentes para construcción estructural de concreto Fuente: (Hurd, 2005).....	14
Figura No. 2 Fallo de encofrado Centro Comercial Paltense ubicado en Loja, Ecuador Fuente: (La Hora, 2017).....	15
Figura No. 3 Esquema de la formación e hidratación del Cemento Portland Fuente: (Portugal Barriga, 2007)	19
Figura No. 4 Velocidades de hidratación en función del tiempo para compuestos en estado puro Fuente: (Neville, 2013).....	20
Figura No. 5 Factores y orden de influencia en la presión que ejerce el hormigón en estado fresco.....	21
Figura No. 6 Distribución lateral de presión del hormigón Fuente: (ACI, 2014).....	22
Figura No. 7 Presión del hormigón sobre el encofrado Fuente: DIN 18218	24
Figura No. 8 Fases y distribución de la presión Fuente: (Palanca,1982).....	27
Figura No. 9 Tipos de Cemento y coeficiente C_m Fuente: (Yu, 2000).....	31
Figura No. 10 Geometría del Modelo (FEM).....	32
Figura No. 11 Esquema de distribución lateral de presión del hormigón. Fuente: (Johnston, 2014).	34
Figura No. 12 Elementos que componen el encofrado de un muro.....	37
Figura No. 13 Pasos de cálculo para el diseño de encofrados de muro	38
Figura No. 14 Dirección de las fibras y resistencia Fuente: (Johnston, 2014).	39
Figura No. 15 Cortante, reacciones, momentos y deflexiones de vanos con carga uniforme Fuente: (Johnston, 2014).....	40
Figura No. 16 Tablero de encofrado soportado por elementos verticales Fuente: (Johnston, 2014).	44

Figura No. 17 Elementos verticales y horizontales de encofrado de muro Fuente: (Johnston, 2014).	52
Figura No. 18 Distribución de largueros en función de longitud de tramo permitida Fuente: (Johnston, 2014).	53
Figura No. 19 Área de contacto entre pasador y largueros Fuente: (Johnston, 2014).	57
Figura No. 20 Área de contacto entre largueros y montantes Fuente: (Johnston, 2014).	58
Figura No. 21 Funciones del diseño del puntal	59
Figura No. 22 Fuerza lateral aplicada en el tope del elemento estructural Fuente: (Johnston, 2014).	60
Figura No. 23 Arriostramiento lateral.....	61
Figura No. 24 Chequeo de pandeo según área transversal Fuente: (Johnston, 2014).	63
Figura No. 25 Radio de esbeltez en una sección 3x4 pulgadas Fuente: (Johnston, 2014).	63
Figura No. 26 Esquema del puntal Vista lateral y Vista frontal Fuente: (Johnston, 2014). ...	64
Figura No. 27 Elementos del Encofrado de Columna Fuente: (Johnston, 2014).	65
Figura No. 28 Tipos de encofrados para columnas Fuente: (Johnston, 2014).	65
Figura No. 29 Pasos de cálculo para el diseño de encofrado de Columnas.....	66
Figura No. 30 Esquema del tablero y cuartones para encofrado de columna Fuente: (Johnston, 2014).	67
Figura No. 31 Separación de trabillas en columnas Fuente: (Johnston, 2014).	72
Figura No. 32 Columna ejemplo de altura 12 pies	73
Figura No. 33 Valores cuartones y trabillas escogidas Fuente: (Johnston, 2014).	74
Figura No. 34 Valores escogidos de espaciamiento para cuartones Fuente: (Johnston, 2014).	75
Figura No. 35 Primer espaciamiento de trabillas para ejemplo de columna	81
Figura No. 36 Segundo espaciamiento de trabillas para ejemplo de columna	82

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Actualmente, el hormigón es el material más usado para las construcciones, así como es la segunda sustancia (en estado líquido) más abundante después del agua en el planeta Tierra. Toda obra de infraestructura civil requiere de encofrados para que contengan el hormigón en estado fresco hasta que este endurezca y pueda sostenerse por sí mismo, en ese caso el encofrado se lo retira cumpliendo su objetivo. En el Ecuador el material de encofrado más utilizado es la madera y no se utiliza un método de estimación de presión ni tampoco hay un diseño de este. Se conoce que el 60% de viviendas en Quito son de tipo informales, es decir, que no han sido aprobadas con planos (CAMICON, 2017). Se puede referenciar que en el Ecuador se carece de buenas prácticas constructivas. Generalmente, el encofrado se lo realiza de forma empírica en base a la experiencia del constructor o tomando en cuenta una rutina de prueba-error donde se asume una funcionabilidad correcta. En el momento que el hormigón está fraguando, su comportamiento se asimila al de un líquido por lo que ejerce presiones laterales considerables que, en casos de columnas y muros altos, pueden llegar a ser de gran magnitud (Tapia & Recalde, 2018).

A pesar de que no es un tema que se analice o proponga en las normas técnicas de construcción de cada país, por medio de la Figura No. 1 se puede comprobar como una mala práctica incurriría en gastos excesivos. A lo que se adiciona con esa misma importancia, la vida de los trabajadores y la contaminación que se genera al desechar una mezcla de hormigón. Por otro lado, dentro del proceso de encofrado donde el hormigón empieza el fraguado hay factores directos que influyen en la presión del hormigón fresco, por ejemplo: la profundidad con la que se inserta los vibradores hace que la presión aumente si el concreto se encuentra en estado fresco, pero podría también causar segregación si el vibrador se lo mantiene mucho tiempo

dentro del encofrado causando finalmente una pérdida de resistencia en el elemento estructural endurecido.

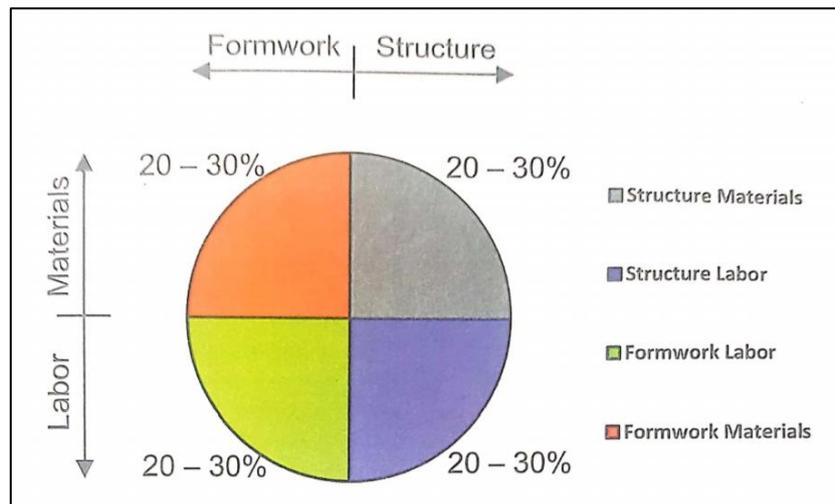


Figura No. 1 Costos de componentes para construcción estructural de concreto Fuente: (Hurd, 2005)

1.2. Justificación

La importancia de los encofrados establece que: (Hurd, 2005) “El uso de encofrado en estructuras de hormigón puede llegar a costar entre el 40 y 60% de su costo”. Es necesario analizar en primera instancia a nivel global la información que se dispone para poder estimar la presión que ejerce el hormigón en estado fresco sobre los encofrados. Con el primer análisis se puede establecer el nivel de investigación que se le ha dedicado a este tema en específico y las similitudes o diferencias entre los métodos encontrados. Por consiguiente, Ecuador que se rige por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2015) no dispone de una guía para poder estimar este parámetro por lo que resulta imperioso proponer una metodología clara que permita al profesional en ejercicio construir de manera segura, eficiente y responsable. De esta manera se evitará problemas como en la Figura No. 2 en la que se puede observar cómo debido a un mal encofrado de losa se desperdicia material y se modifican los cronogramas establecidos inicialmente. Esta metodología propuesta será una pauta para poder estimar la presión que ejerce el hormigón y diseñar el encofrado con fórmulas adaptadas al caso ecuatoriano.



Figura No. 2 Fallo de encofrado Centro Comercial Paltense ubicado en Loja, Ecuador

Fuente: (La Hora, 2017)

1.3. Objetivos

Los objetivos planteados para el presente trabajo de titulación se muestran a continuación:

1.3.1. Objetivo general.

- Analizar los métodos de cálculo de la presión del hormigón fresco sobre el encofrado.

1.3.2. Objetivos específicos.

- Realizar una revisión de literatura de las metodologías existentes para estimar la presión del hormigón fresco sobre el encofrado.
- Proponer una metodología de análisis para el caso ecuatoriano.
- Redactar un artículo tipo revista de la estimación de la presión del hormigón fresco sobre el encofrado.

1.4. Actividades

Las actividades para realizarse son las siguientes:

- 1) Realizar una revisión de literatura de los fundamentos e investigaciones experimentales.
- 2) Realizar una revisión de los códigos existentes sobre la presión del hormigón fresco: ACI, Ecuador, Europa y otros.
- 3) Proponer un método de análisis para el caso ecuatoriano.
- 4) Redactar artículo tipo revista sobre el método de estimación de la presión del hormigón fresco.

1.5. Resultados esperados

Los resultados esperados para el presente trabajo de titulación son los siguientes:

- 1) Revisión de literatura exhaustiva: Se recabará información detallada de los métodos de cálculo de presión del hormigón fresco sobre encofrados, así como también el comportamiento del hormigón en estado líquido y sólido.
- 2) Revisión de los códigos existentes: Se obtendrá información de los códigos más reconocidos teniendo en cuenta su disponibilidad.
- 3) Metodología en castellano y sistema internacional para el caso ecuatoriano: Se espera tomar en cuenta una metodología de la cual se realizará una traducción literaria con fórmulas aplicables al caso ecuatoriano.
- 4) Artículo de revista: Se elaborará un artículo para una revista, en la que de manera resumida se demostrará la metodología y fórmulas en el sistema internacional adaptadas al caso ecuatoriano.

1.6. Definiciones

- **Presión:** “Se define como la relación entre la fuerza y el área unitaria. La fuerza se entiende como la magnitud de la fuerza que actúa perpendicularmente a la superficie del área” (Giancoli, 2008).
- **Hormigón:** “En términos simples el hormigón o concreto es la mezcla de cemento, agua, agregado grueso y agregado fino” (Neville & Brooks, 2010).
- **Encofrado:** “Es un molde o elemento de soporte, ya sea de madera, plástico o metal cuya función es sostener al hormigón fresco, resistir la fuerza empuje y darle una forma definida” (Adam, 1975).
- **Fraguado:** “En términos generales se refiere a un cambio del estado fluido al estado rígido del hormigón. Aunque durante el fraguado la pasta adquiere cierta resistencia, para efectos prácticos es conveniente distinguir el fraguado del endurecimiento” (Portugal Barriga, 2007).
- **Endurecimiento:** “Proceso de incremento de resistencia de una pasta de cemento fraguada” (Portugal Barriga, 2007).

2. DESARROLLO DEL TEMA

2.1. Revisión de literatura

2.1.1. Fundamentos del hormigón fresco.

Los elementos que constituyen el hormigón fresco son: cemento, agua, agregado fino, agregado grueso y en algunos casos se adiciona aditivos. El cemento es el compuesto que funciona como ligante de los demás componentes por lo que el hormigón en estado fresco adquiere características fisicoquímicas como la cohesión y adhesión. La materia prima con la que se puede obtener el cemento se deriva del Sílice, Óxido de hierro, Cal y Alúmina, aunque dichos óxidos no se encuentran puros en el cemento, se los identifica combinados formando potenciales compuestos. Los compuestos especiales no son elementos químicos como tal, sino que se los define como fases en las que sus proporciones calculadas proveen de información relevante en la predicción de las propiedades del cemento (Quiroz & Salamanca, 2007). Estas fases o compuestos se detallan a continuación con sus abreviaturas:

- Silicato Dicálcico $3CaO \cdot SiO_2 = C_2S$
- Silicato Tricálcico $2CaO \cdot SiO_2 = C_3S$
- Aluminato Tricálcico $3CaO \cdot Al_2O_3 = C_3A$
- Alumino Ferrita Tetracálcica $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3 = C_4AF$

A continuación, en la Figura No. 3 se puede observar la cadena de producción para poder llegar a obtener el cemento como producto final.

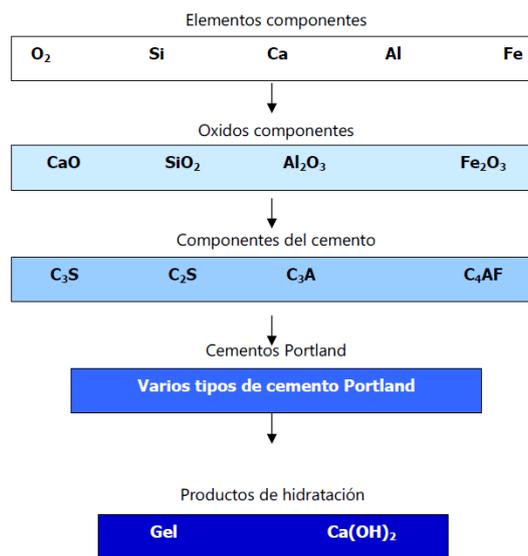


Figura No. 3 Esquema de la formación e hidratación del Cemento Portland Fuente:
(Portugal Barriga, 2007)

Cada componente del cemento cumple una o varias funciones desde que el hormigón se vierte sobre el encofrado hasta que el mismo endurezca. El Silicato Dicálcico C_2S contribuye principalmente a una generación de mayor resistencia en edades tardías o avanzadas, ya que posee una buena estabilidad química, se recomienda usar hormigones con altos contenidos de C_2S para mitigar el efecto de ataque de sulfatos. (Neville A. , 2013) El Silicato Tricálcico C_3S tiene una participación muy importante, ya que en edades tempranas brinda altas resistencias. Hormigones con mayor porcentaje de C_3S son recomendables en lugares con climas donde se presente ciclos de hielo y deshielo debido al elevado calor de hidratación. El Aluminato Tricálcico C_3A se limita a un máximo del 7%, ya que el proceso de fraguado es casi instantáneo y podría causar endurecimiento prematuro, así como también puede reaccionar con los sulfatos cuando el hormigón ya está endurecido. La Alumino Ferrita Tetracálcica C_4AF posee una alta estabilidad química por lo que beneficia en la durabilidad del concreto (Portugal Barriga, 2007). En la Figura No. 4 se puede apreciar el comportamiento de cada componente en función del tiempo.

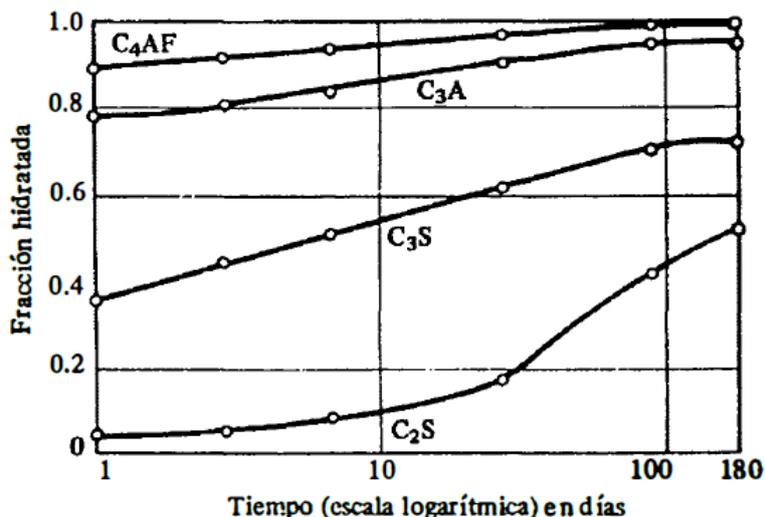


Figura No. 4 Velocidades de hidratación en función del tiempo para compuestos en estado puro Fuente: (Neville, 2013)

Es importante tomar en cuenta que “El comportamiento físico de endurecimiento del cemento al ser hidratado es similar al comportamiento físico de sus componentes individuales (C_2S , C_3S) al ser hidratados” (USFQ, 2018). Por lo que las fases o potenciales compuestos descritos anteriormente reaccionan en el momento en que el cemento entra en contacto con el agua mediante un proceso exotérmico, por lo que los efectos son aplicables a la pasta de cemento, mortero y el hormigón.

El silicato tricálcico, aluminato tricálcico y la alúmina ferrita tetracálcica influyen de manera importante en el fraguado y posterior en el endurecimiento del hormigón. Los factores más influyentes en el tiempo de fraguados son: finura del cemento, composición química del cemento, humedad del ambiente y agua de amasado. Conocer los tiempos de fraguado inicial y final aportan información valiosa que permiten planificar el cronograma de mezclado, transporte, vibrado, colocación y curado de morteros o concretos para una obra de construcción (Sánchez, 2001).

Factores influyentes en la presión del hormigón fresco

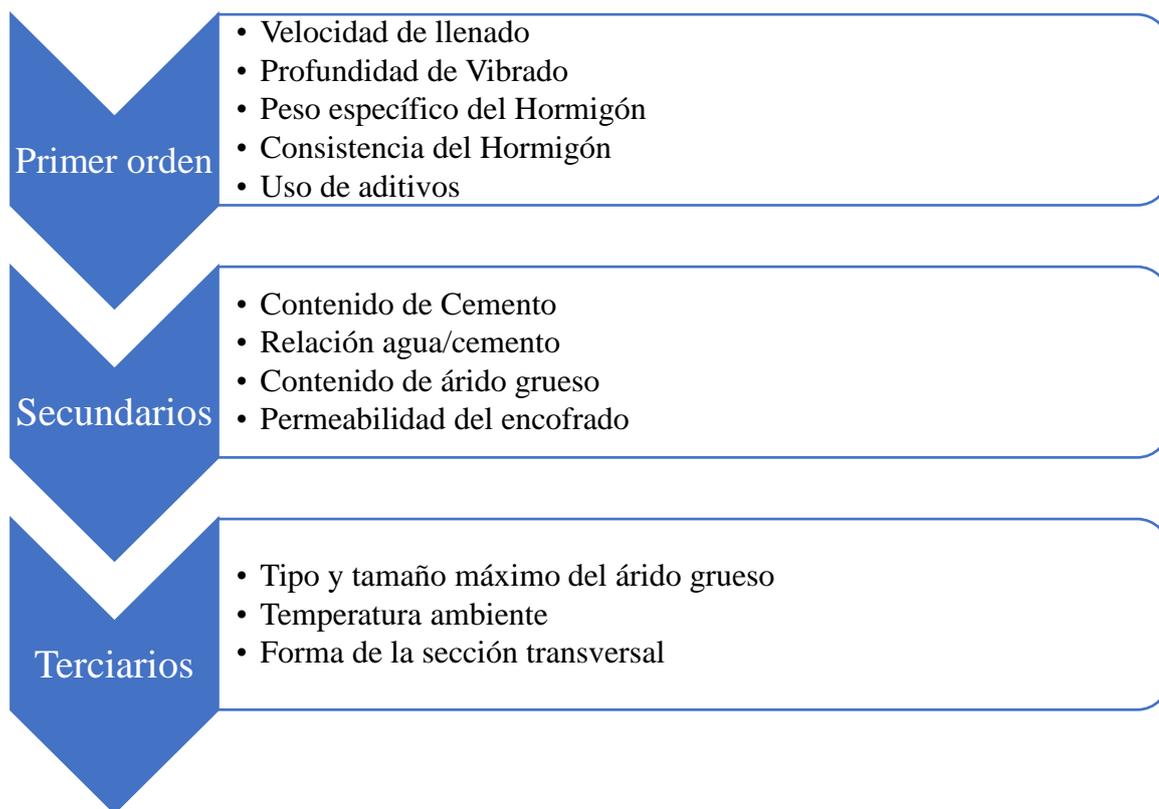


Figura No. 5 Factores y orden de influencia en la presión que ejerce el hormigón en estado fresco

2.1.2. Revisión de códigos.

2.1.2.1. Ecuador.

Se rige bajo la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) en donde en el capítulo de estructuras de hormigón armado (NEC-SE-HM) se puede encontrar generalidades sobre la elaboración y control del hormigón en estado líquido y sólido, pero no se encuentra información específica en cuanto a presión del hormigón fresco sobre el encofrado.

2.1.2.2. EE. UU.

En Estados Unidos de América se utiliza el American Concrete Institute (ACI), el cual brinda requisitos mínimos a considerar para la construcción de estructuras en hormigón. Tomando como referencia el ACI 318-19 se puede notar como redirecciona hacia el ACI 374 R-14 o el ACI SP-4 (14) la búsqueda de información sobre encofrados para hormigón fresco,

las cuales son guías elaboradas especialmente para diseñar y construir mediante encofrados seguros.

2.1.2.2.1. *Guide to formwork for concrete ACI 374 R-14*

El cálculo de la presión del concreto fresco se presenta en el ACI 374 R-14, así como también se puede encontrar la misma información en el Formwork for Concrete SP-4 (14). Este método de cálculo de presiones sigue el principio de la ley hidrostática hasta que en un punto la presión se bloquea y actúa de manera constante. Su aplicación depende de la tasa de colocación, asentamiento del hormigón, tipo de elemento y profundidad de vibrado.

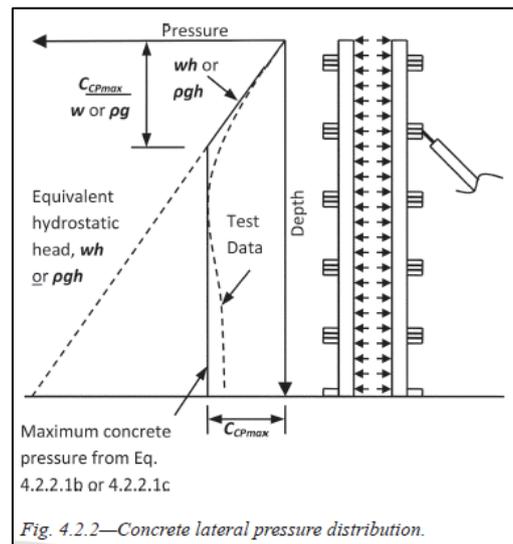


Figura No. 6 Distribución lateral de presión del hormigón Fuente: (ACI, 2014)

$$C_{CP\ max} = wh \quad (4.2.2.1. a(a))$$

$$C_{CP\ max} = C_c C_w \left[150 + \frac{9000R}{T} \right] \quad (4.2.2.1. a(b))$$

$$C_{CP\ max} = C_c C_w \left[150 + \frac{43400}{T} + \frac{2800R}{T} \right] \quad (4.2.2.1. a(c))$$

Donde:

$C_{CP\ max}$: Presión máxima ejercida por el hormigón fresco (lb/ft^2)

R: Tasa de colocación del hormigón (ft/h)

w: Densidad del hormigón (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

El valor obtenido de presión del hormigón debe ser mayor a $600 C_w$ (lb/ft²), así como también debe ser menor al valor de la multiplicación de wh . En la sección 2.2 se va a explicar más detalladamente el método de cálculo de presiones con todas las consideraciones y tablas que permitan aplicar las fórmulas expuestas anteriormente.

2.1.2.3. Europa.

En Europa cada país es responsable de establecer códigos de construcción para su cumplimiento. En el caso de su ausencia se “recomienda” utilizar los Eurocódigos Estructurales los cuales rigen para todos los países que conformen la Unión Europea. El Euro código 2 en el capítulo EN 1992-3: 2006 de diseño de estructuras en concreto no se encuentra información sobre la presión del hormigón fresco. Sin embargo, como referencia se toma en cuenta la norma alemana DIN 18218 en la que establece de forma clara las consideraciones previas y el método de cálculo para obtener la presión del hormigón fresco sobre encofrados.

2.1.2.3.1. Deutsches Institut für Normung DIN 18218.

Esta norma fue formulada por primera vez en el año de 1980 pero modificada en el año 2010 debido al avance en cuanto a tecnología del hormigón. Las fórmulas que se han propuesto son de tipo empíricas que se soportan en evidencia experimental. Esta norma es aplicable para elementos estructurales que no tengan una altura muy considerable y su inclinación no sea mayor a los $\pm 5^\circ$ respecto al plano perpendicular. A continuación, se muestra en la Figura No. 7 un bosquejo de la distribución de presión del hormigón fresco.

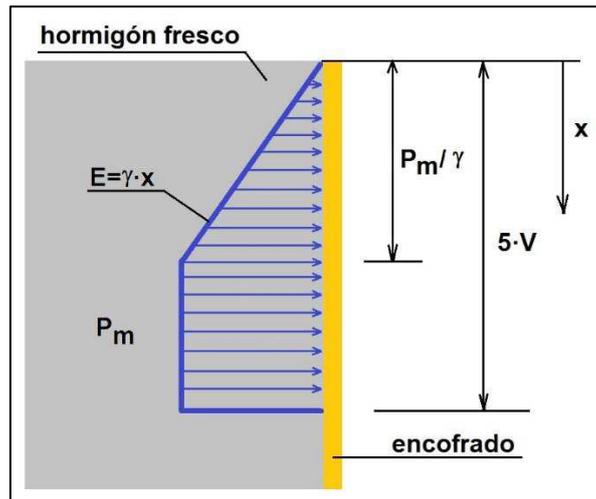


Figura No. 7 Presión del hormigón sobre el encofrado Fuente: DIN 18218

Para poder utilizar este método de cálculo se debe tener en cuenta ciertas hipótesis de la norma alemana DIN 18218 descritas a continuación:

Tabla 1 Consideraciones iniciales DIN 18218

Hipótesis de Norma	
Tamaño máximo de agregado: 63 mm	Peso específico del Hormigón: 25 kN/m ³
Temperatura de hormigonado: 15 °C	Se vierte el hormigón desde arriba
Velocidad de máxima de vertido: 7 m/h	Compactación mediante vibradores internos

Tabla 2 Clasificación según su consistencia Fuente: EN 12350-5

Clase de consistencia	Diámetro alcanzado del hormigón (mm)
F1	≤ 340
F2	350-410
F3	420-480
F4	490-550
F5	560-620
F6	≥ 630

Tomando en cuenta las hipótesis anteriores de la Tabla 1 y Tabla 2 se aplica la Tabla 3 que depende de la consistencia de la mezcla para poder escoger una fórmula que determine la presión máxima (P_m). Para hormigones que no tengan un peso específico como el de la hipótesis se corrige multiplicando la presión obtenida $P_m * \frac{\gamma}{25}$.

Tabla 3 Cálculo de presión máxima Fuente: DIN 18218

Consistencia	P_m (kN/m ²)
F1	$(5V + 21) * K1$
F2	$(10V + 19) * K1$
F3	$(14V + 18) * K1$
F4	$(17V + 17) * K1$
F5	$25 + (30 * V) * K1$
F6	$25 + (38 * V) * K1$
HAC	$25 + (33 * V) * K1$

El coeficiente K1 es un factor que relaciona el comportamiento del hormigón fresco cuando está fraguando con la consistencia descrita en la Tabla 2 y el tiempo final de fraguado. A continuación, se muestra los valores apropiados de K1:

Tabla 4 Valores y fórmulas para obtener K1 Fuente: DIN 18218

Consistencia	Valores del coeficiente K1			
	$t_e = 5$ h	$t_e = 10$ h	$t_e = 20$ h	$5 \text{ h} \leq t_e \leq 20 \text{ h}$
F1	1	1.15	1.45	$1 + 0.03 * (t_e - 5)$
F2	1	1.25	1.8	$1 + 0.053 * (t_e - 5)$
F3	1	1.4	2.15	$1 + 0.077 * (t_e - 5)$
F4	1	1.7	3.1	$1 + 0.14 * (t_e - 5)$
F5, F6, HAC	1	2	4	$t_e / 5$

Donde:

P_m : Presión máxima ejercida por el hormigón fresco (kN/m^2)

V: Velocidad de vertido del hormigón (m/h)

γ : Peso específico del hormigón (kN/m^3)

K1: Coeficiente de comportamiento del fraguado

t_e : Tiempo final de fraguado del hormigón (horas)

2.1.3. Investigaciones.

2.1.3.1. Modelo de Gardner.

Es un estudio canadiense realizado en el año de 1982 y es una de las pocas investigaciones que contiene dentro de su planteamiento un componente dinámico, tal como lo es la inclusión de la potencia del vibrador. Su comportamiento funciona con el principio hidrostático y su respuesta se asimila a la de la Figura No. 6 y Figura No. 7.

$$P_{max} = 24 h_i + \frac{3000 HP}{d} + \frac{d}{40} + \frac{400\sqrt{R}}{17.78 + T} \left(\frac{100}{100 - \%F} \right) + \frac{\alpha - 75}{10}$$

Donde:

P_{max} : Presión máxima ejercida por el hormigón fresco (kN/m^2) o (kPa)

R: Velocidad de vertido del hormigón (m/h)

α : asentamiento por Cono de Abrams (mm)

HP: Potencia del vibrador (HP)

T: Temperatura de colocación del hormigón ($^{\circ}\text{C}$)

h_i : Profundidad a la que se inserta el vibrador

%F: Porcentaje de cenizas volantes (%)

d: dimensión mínima del encofrado

En el caso que la potencia del vibrador sea desconocida se puede asumir $\frac{3}{4} HP$ por cada 30.5 centímetros de sección mínima. Se recomienda que la inserción del vibrador sea de 1 metro si se utiliza vibración externa y 50 centímetros en el caso que sea vibración interna.

2.1.3.2. Instituto Eduardo Torroja. Doctor Martin Palanca.

Es un estudio español realizado en el año 1982 por medio del Doctor Martin Palanca, también se le conoce como la teoría granuloestática y se compone de cuatro fases en que la presión lateral va cambiando. Mediante la Figura No. 8 se observa las fases, las cuales se denominan como: presión hidrostática, zona de transición, presión granuloestática y presión máxima constante.

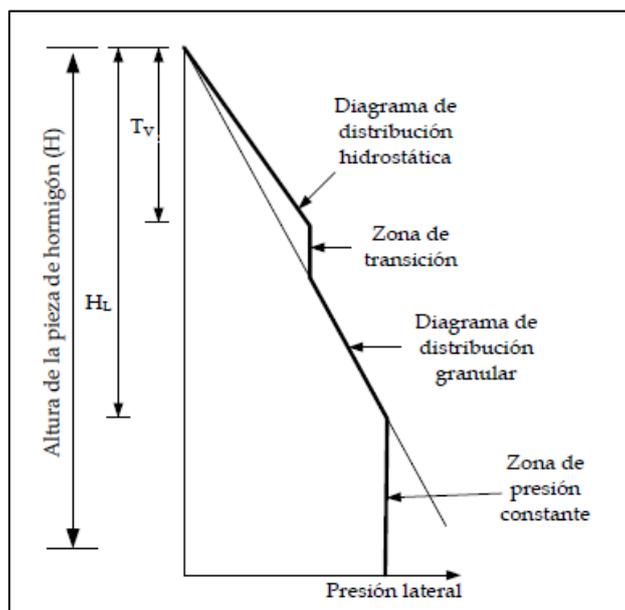


Figura No. 8 Fases y distribución de la presión Fuente: (Palanca,1982)

$$Presión\ Hidrostática = \gamma h_v$$

$$Presión\ Granulostática = K_a \cdot \gamma \cdot H$$

$$Presión\ Límite\ o\ Máxima = K_a \cdot \gamma \cdot \text{Minimo}(H_e, H_o)$$

Donde:

h_v : Altura del hormigón en vibración (m)

H_e : Altura límite efecto silo (m)

H_o : Altura límite hormigón endurecido (m)

H : Altura total del hormigón (m)

El efecto silo ocurre cuando de por medio se tiene material granular que roza con las paredes del elemento a fundir causando una reducción de la presión. A continuación, se expone las fórmulas necesarias para poder obtener la presión en todas sus fases.

$$K_a = \frac{1 + \sin(\alpha - \beta)}{1 + \sin(\alpha + \beta)}$$

$$\tan \beta = \frac{260 - as}{1400}$$

Para calcular la profundidad límite por endurecimiento se aplica las siguientes fórmulas:

$$H_o = H_v + V \cdot t_f$$

$$t_f = \frac{70 + 0.3a - 2T}{25 + T}$$

Para calcular la profundidad límite por efecto silo se aplica las siguientes fórmulas:

$$H_e = 21000 \left(\frac{43 - T}{(165 - a) \cdot (303 + a)} \right) \cdot \left(\frac{S}{1 + \frac{S}{L}} \right)$$

Donde:

K_a : Coeficiente de empuje activo

γ : Peso específico del hormigón (kN/m^3)

α : Inclinación del elemento de encofrado con respecto a la vertical

β : Talud natural del hormigón

as : Asentamiento Cono de Abrams (mm)

V : Velocidad de vertido de hormigón (m/hora)

t_f : Tiempo de endurecimiento (Horas)

T: Temperatura de colocación del hormigón (°C)

S: Espesor mínimo del encofrado (m)

L: Longitud transversal del encofrado (m)

2.1.3.3. CIRIA Report 108.

Es un estudio realizado en 1985 por una empresa de Gran Bretaña que reemplazó al CIRIA (1979). Su idealización es parecida al de las normas alemana o americana llevando un envolvente de presión lateral bilineal. Dentro de la fórmula propuesta se debe considerar el tipo de elemento a fundir, así como el tipo de cementante y su composición.

$$P_m = \gamma \cdot \left(C_1 \sqrt{V} + C_2 \cdot K \cdot \sqrt{H - C_2 \sqrt{V}} \right)$$

El valor de C_1 es igual a 1.50 si el elemento de estudio es una columna, pero en el caso de que sea un muro el valor de C_1 es 1.0. Para obtener el valor de K se aplica la siguiente ecuación:

$$K = \left(\frac{36}{T + 16} \right)^2$$

Para el valor de C_2 se toma en cuenta el estudio de Pallett (2009) en el que divide y asigna valores para tres grupos grandes de tipos de cementantes. A continuación, se muestra la tabla para el coeficiente de composición de cemento:

Tabla 5 Clasificación en función del tipo de Cemento Fuente: UNE EN 197-1 (2000)

Grupo	Tipos de cemento	C_2
A	Hormigones sin aditivos con cementos: CEM I, CEM II/A-S y CEM II/A-D Hormigones con cualquier aditivo, sin ser un retardador, con cementos: CEM I, CEM II/A-S y CEM II/A-D	0,30
B	Hormigones con aditivos retardadores de fraguado y cementos: CEM I, CEM II /A-S y CEM II/A-D Hormigones sin aditivos con cementos: CEM II/A-(sin ser S y D), CEM III/A y CEM II/B Hormigones con cualquier aditivo, sin ser un retardador, con cementos: CEM II/A-(sin ser S y D), CEM III/A y CEM II/B	0,45
C	Hormigones con aditivos retardadores de fraguado y cementos: CEM II/A-(sin ser S y D), CEM III/A y CEM II/B Hormigones con o sin aditivos y cementos: CEM III/B, CEM IV y CEM V	0,60

Donde:

P_m : Presión máxima ejercida por el hormigón fresco (kN/m^2)

C_1 : Coeficiente del tamaño y forma del encofrado

C_2 : Coeficiente composición del cemento

γ : Peso específico del hormigón (kN/m^3)

V : Velocidad de vertido del hormigón (m/h)

H : Altura vertical del encofrado (m)

T : Temperatura del hormigón ($^{\circ}\text{C}$)

K : Coeficiente dependiente de la temperatura

2.1.3.4. *Modelo de Yu.*

Es una tesis de investigación realizada en el año 2000 por el Doctor Dung-Ning Yu. Es parecida al CIRIA Report 108, ya que asume un principio de ley hidrostático que se bloquea en un punto hasta llegar a una presión máxima P_{max} , pero varía en el desarrollo de la fórmula y la inclusión de coeficientes tomados de otras fuentes.

$$P_{max} = C_f \cdot C_m \cdot (31.1 + 7.8H - 0.5(T + 17.8) + 0.8\sqrt{a} - 14.8 \log(t))$$

Donde:

P_{max} : Presión máxima ejercida por el hormigón fresco (kN/m^2) o (kPa)

C_m : Coeficiente composición del cemento

C_f : Coeficiente de la forma del encofrado

t : Tiempo de colocación del hormigón (horas)

H : Altura del elemento a fundir (m)

T : Temperatura del hormigón ($^{\circ}\text{C}$)

a : Asentamiento Cono de Abrams (mm)

Tabla 6 Valores para el coeficiente C_f

Tipo y tamaño del encofrado	
Paredes o bases	1
Columnas	1.2

Categoría	Tipo de cemento	C_m
1	Tipo I o Tipo III con cualquier aditivo excepto súper plastificantes o retardadores o sin aditivos	1'0
2	Tipo I o Tipo III con súper plastificantes pero sin retardadores	1'1
3	Tipo I o Tipo III con retardadores del fraguado Otros tipos de cementos compuestos: Tipo II, Tipo IV o Tipo V que contengan menos del 50% de escoria de horno alto o menos del 30% de cenizas volantes con cualquier aditivo excepto un súper plastificante o retardador o sin aditivos	1'2
4	Otros tipos de cementos compuestos: Tipo II, Tipo IV o Tipo V que contengan menos del 50% de escoria de horno alto o menos del 30% de cenizas volantes con súper plastificantes pero sin retardadores del fraguado	1'3
5	Otros tipos de cementos compuestos: Tipo II, Tipo IV o Tipo V que contengan menos del 50% de escoria de horno alto o menos del 30% de cenizas volantes con retardadores Otros tipos de cementos compuestos: Tipo II, Tipo IV o Tipo V que contengan mas del 50% de escoria de horno alto o mas del 30% de cenizas volantes	1'4

Figura No. 9 Tipos de Cemento y coeficiente C_m Fuente: (Yu, 2000)

2.1.3.5. Gallego et. al.

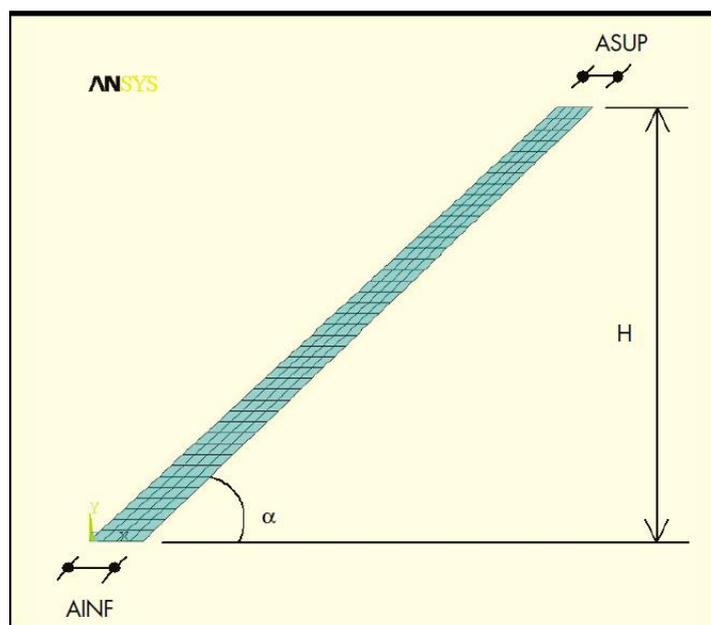
Es un estudio realizado en 2006 por Gallegos y varios autores en el que proponen un modelo de elementos finitos (Finite Element Method FEM) mediante el programa ANSYS para determinar la presión lateral ejercida por el hormigón hacia el encofrado. Este modelo incluye un comportamiento elastoplástico que depende de varios parámetros que van a ser explicados en las tablas posteriores.

Tabla 7 Hipótesis de estudio para modelo de elemento finitos Fuente: (Gallegos et al, 2006)

Hipótesis de Estudio	
Análisis en 2 dimensiones	Tensión plana
Pared de Encofrado considerada rígida	Hormigón es un material Elastoplástico

Tabla 8 Consideraciones de Parámetros de Estudio Fuente: (Gallegos et al, 2006)

Parámetros de Estudio	
Región Elástica	Región Plástica
Módulo de Young	Ángulo de rozamiento interno
Coeficiente de Poisson	Cohesión
	Ángulo de dilatación

**Figura No. 10** Geometría del Modelo (FEM)

Finalmente, mediante este estudio se pudo determinar que a medida que el elemento estructural sobrepase los cinco metros de altura los métodos que utilicen el principio de ley hidrostática se vuelven inexactos y poco conservadores. En la Tabla 9 se puede observar la comparación de cada método de análisis en caso de que el elemento estructural sea de mayor altura.

Tabla 9 Comparación de presiones en función de la altura del elemento estructural

		FEM	P. Ley Hidrostática
Altura del Elemento (m)	2.5	Valor de Referencia	Sobrestima
	5	Similar	Similar
	10	Valor de Referencia	Subestima
	15	Valor de Referencia	Subestima

2.2. ACI Manual Formwork for Concrete 8th Edition

Es importante tomar en cuenta las consideraciones del ACI 318-19 que también aplican homónimamente al ACI Manual Formwork for Concrete. Dentro del capítulo 26 se establecen varios requisitos de construcción sobre encofrados que se describen a continuación:

1. Método de colocación del hormigón.
2. Tasa de colocación del concreto.
3. Cargas de construcción, verticales, horizontales y de impacto.
4. Evitar el daño de miembros previamente construidos.
5. La fabricación e instalación de las cimbras y encofrados debe resultar en una estructura que cumpla con la forma, los niveles y las dimensiones de los miembros según lo indicado en los documentos de construcción.
6. Los encofrados deben ser suficientemente herméticos para impedir la fuga de la pasta y el mortero.
7. Los encofrados deber estar adecuadamente arriostrados o amarrados entre sí, de tal manera que conserven su posición y forma.

2.2.1. Estimación de presiones.

Para estimar presiones es necesario delimitar un gráfico o bosquejo como se observa en la Figura No. 11 donde se identifica varios datos iniciales para poder obtener el valor de la presión máxima. Se necesita identificar inicialmente: la altura del elemento a fundir, densidad del hormigón, temperatura, tasa de colocación y tipo de hormigón.

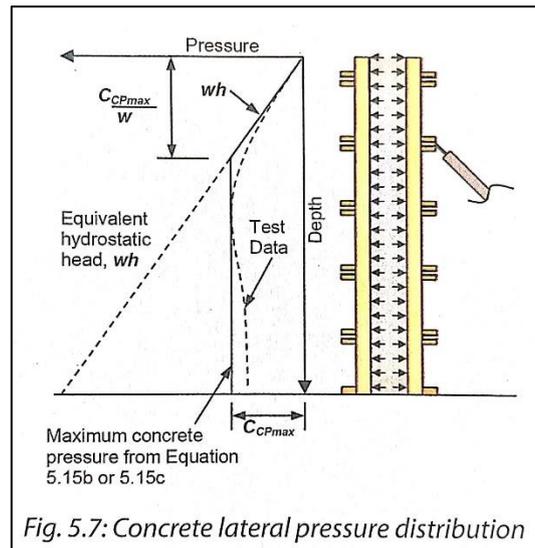


Figura No. 11 Esquema de distribución lateral de presión del hormigón. Fuente: (Johnston, 2014).

$$C_{CP} = wh \quad (5.15a)$$

$$C_{CP \max} = C_c C_w \left[150 + \frac{9000R}{T} \right] \quad (5.15b)$$

$$C_{CP \max} = C_c C_w \left[150 + \frac{43400}{T} + \frac{2800R}{T} \right] \quad (5.15c)$$

Donde:

$C_{CP \max}$: Presión máxima ejercida por el hormigón fresco (lb/ft^2)

R: Tasa de colocación del hormigón (ft/h)

w: Densidad del hormigón (lb/ft^3)

h: Altura del elemento de hormigón (ft)

T: Temperatura de colocación ($^{\circ}F$)

C_c : Coeficiente químico

C_w : Coeficiente del peso específico

Es importante tomar en cuenta que existen tres fórmulas (5.15a), (5.15b) y (5.15c) que serán aplicables según el caso. Para poder determinar que fórmula utilizar se debe considerar factores como: asentamiento, tipo de elemento, profundidad de vibrado y la tasa de colocación del hormigón. En la Tabla 10 se puede determinar a qué caso corresponde cada

fórmula. Adicionalmente, en el Anexo A se puede encontrar una simplificación de una parte de las fórmulas (5.15b) y (5.15c).

Tabla 10 Aplicabilidad de fórmulas para el cálculo de la presión que ejerce el concreto

Fuente: (Johnston, 2014)

Slump*	Internal vibration depth	Element	Rate of placement	Pressure equation
>7 in.	Any	Any	Any	(5.15a)
≤7 in.	>4 ft	Any	Any	(5.15a)
≤7 in.	≤4 ft	Column†	Any	(5.15b)
		Wall‡ ≤ 14 ft tall	<7 ft/h	(5.15b)
		Wall‡ > 14 ft tall	<7 ft/h	(5.15c)
		Wall‡	7 to 15 ft/h	(5.15c)
			>15 ft/h	(5.15a)

*Slump for determination of lateral pressure shall be measured after addition of all admixtures.
†Columns are defined as vertical elements with no plan dimension exceeding 6.5 ft.
‡Walls are defined as vertical elements with at least one plan dimension exceeding 6.5 ft.

El coeficiente químico C_c se determina a partir de la Tabla 11 en la que es importante identificar qué tipo de cemento se va a utilizar y si el mismo contiene escoria o ceniza volante, adicionalmente la tabla también considera el uso de retardantes o superplastificantes. El tipo y composición química del concreto puede incrementar el valor final de la presión en un 20% al 50% (Johnston, 2014).

Tabla 11 Coeficiente Químico en función del tipo de cemento y uso de retardantes Fuente: (Johnston, 2014)

Cement type	Slag cement	Fly ash	Retarders*	C_c
I, II, or III	None	None	None	1.0
			Included	1.2
Any	<70%	<40%	None	1.2
			Included	1.4
	≥70%	≥40%	None	1.4
			Included	1.5

*Retarders include any admixture, such as a retarder, retarding water reducer, retarding mid-range water-reducing admixture, or high-range water-reducing admixture (superplasticizer), that delays setting of concrete.

El coeficiente C_w corresponde a una corrección de la densidad del hormigón. En la Tabla 12 se puede encontrar que el valor para hormigones de densidad convencional es 1 pero se propone otras fórmulas en el caso de que el hormigón sea de mayor o menor densidad que la típica.

Tabla 12 Coeficiente C_w para densidad de concreto Fuente: (Johnston, 2014)

Unit weight of concrete, lb/ft ³	C_w
$w < 140$	$0.5[1 + (w/145)]$ but not less than 0.80
$140 \leq w \leq 150$	1.0
$w > 150$	$w/145$

Finalmente, es importante tomar en cuenta que el valor de la presión máxima calculada con las fórmulas (5.15b) y (5.15c) debe seguir estos límites: $600C_w \leq C_{CP\ max} \leq wh$. En el caso que la presión máxima sea menor a $600C_w$ se escoge como valor referencia a esa fórmula. Por otro lado, si la presión es mayor a la multiplicación de wh el valor de la presión se verá limitada a dicha multiplicación, es decir que nunca la presión que ejerce el hormigón fresco será mayor a la multiplicación de su peso específico por la altura del elemento a fundir.

2.2.2. Diseño de encofrado para muros.

El diseño de encofrados de muros se compone de elementos verticales, horizontales y elementos de soporte que garanticen la uniformidad en cuanto a unión de sus piezas individuales. Es importante identificar esos elementos en la Figura No. 12, los cuales van a ser parte del diseño del encofrado en general. Adicionalmente, se describe en la Figura No. 13 el procedimiento resumido del diseño de cada uno de sus componentes.

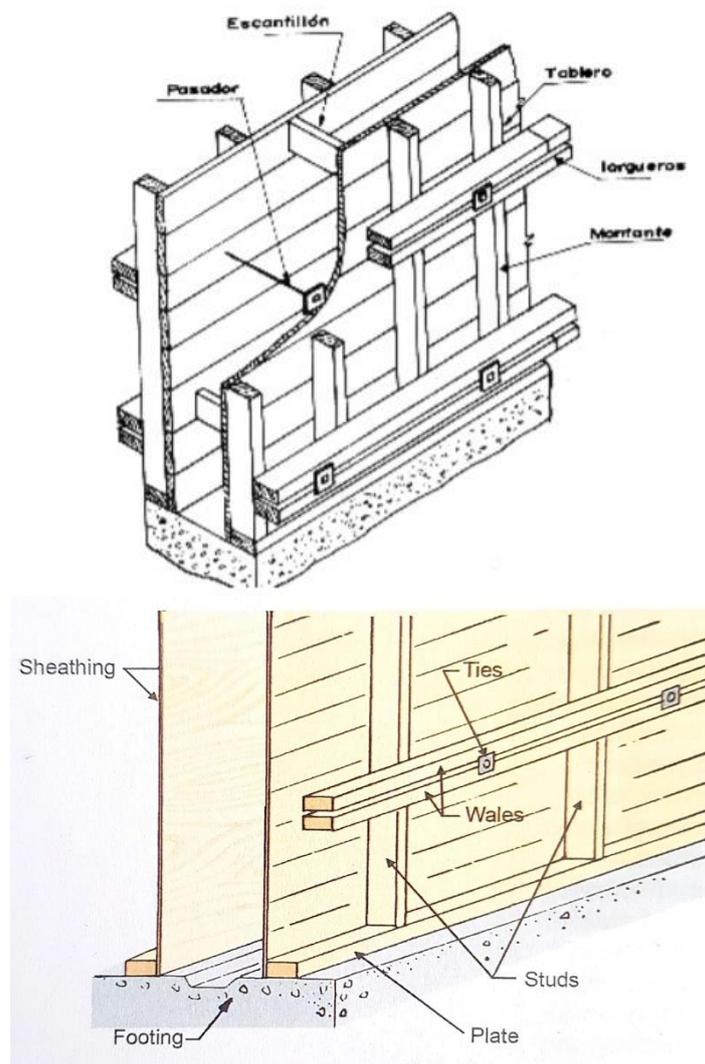
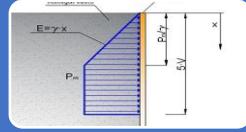
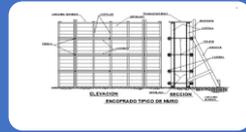


Figura No. 12 Elementos que componen el encofrado de un muro

Procedimiento y Secuencia del diseño para elementos que conforman un encofrado de muro



- 1) Presión Lateral de Diseño
 - Estimación de presión Sección 2.2.1



- 2) Espesor de Tablero y Espaciado de Montantes
 - Chequeo por flexión
 - Chequeo por deflexión
 - Chequeo por cortante



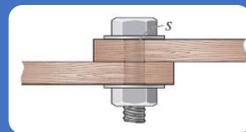
- 3) Tamaño del Montante y Espaciado de Largueros
 - Chequeo por flexión
 - Chequeo por deflexión
 - Chequeo por cortante



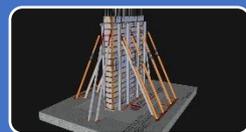
- 4) Tamaño de Largueros y espaciado de soportes
 - Chequeo por flexión
 - Chequeo por deflexión
 - Chequeo por cortante



- 5) Diseño del Soporte o Pasador



- 6) Chequeo de Tensiones por Contacto



- 7) Arriostamiento Lateral para Encofrados de Muro

Figura No. 13 Pasos de cálculo para el diseño de encofrados de muro

1) Presión lateral de Diseño

Se obtiene la presión máxima lateral de diseño $C_{CP\ max}$ según lo estipulado en la sección 2.2.1 del presente documento. Es útil delimitar un esquema como se observa en la Figura No. 11 donde se identifica la altura del elemento y la distancia a la que ocurre el bloqueo de presión.

2) Selección de Tablero

En este apartado es importante seleccionar e identificar las características del tablero tales como: material, dimensiones, espesor y demás consideraciones del resto de elementos del encofrado. Se va a tomar en cuenta que el encofrado en general va a ser de madera, ya que es un material accesible y de relativo bajo costo.

a) Ubicación del tablero e interacción con montantes

Es recomendable utilizar la madera del lado fuerte por lo que, en la Figura No. 14 se puede identificar la colocación. Posteriormente, se podrá identificar que la ubicación influye en la inercia y módulos de elasticidad.

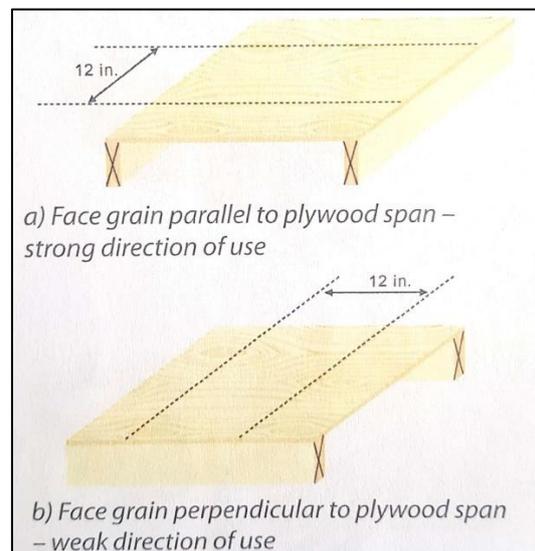


Figura No. 14 Dirección de las fibras y resistencia Fuente: (Johnston, 2014).

Analizando que el tablero o panel va a estar apoyado de esa manera, los montantes van a ser ubicados continuamente y las cargas de presión del hormigón van a estar en contacto con la superficie del tablero. Se modela como vigas continuas con carga uniforme, tal como se observa en la Figura No. 15. De esta manera se puede obtener las ecuaciones de cortante, momento máximo y deflexión.

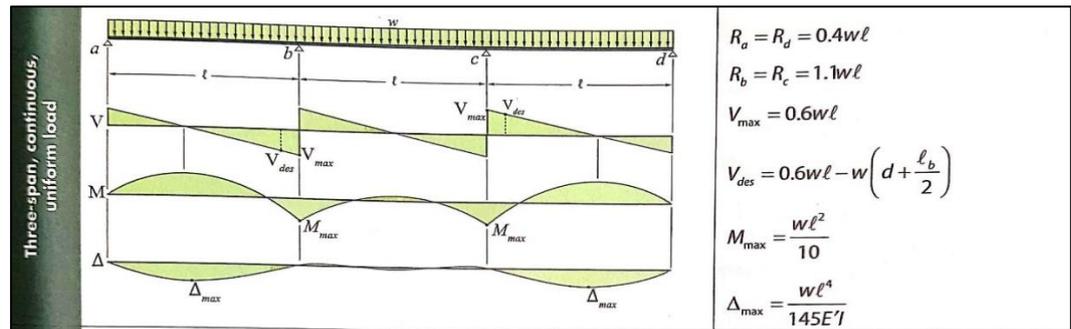


Figura No. 15 Cortante, reacciones, momentos y deflexiones de vanos con carga uniforme Fuente: (Johnston, 2014).

b) *Chequeo por Flexión y espaciamento de montantes*

La ecuación (7.3 b) es una ecuación modificada de directa aplicación que considera una distribución de cargas como el de la Figura No. 15 y el material del tablero es de madera. El primer paso es asumir un espaciamento (s) de los montantes.

$$\ell = 3.16 \sqrt{\frac{F'b * KS}{w}} \quad (7.3 b)$$

$$w = C_{CP\ max} * s$$

Donde:

ℓ = Longitud máxima permitida del tramo (in)

$F'b$ = Valor ajustado de diseño por flexión (psi)

KS = Módulo de sección requerido (in^3)

w = Carga distribuida uniforme (lb/in)

s = Espaciamento asumido de montantes (in o ft)

$C_{CP\ max}$ = Presión máxima de diseño (lb/ft^2)

El módulo de sección requerido (KS) se puede encontrar en la Tabla 13 cuyos valores fueron obtenidos de APA V345V-2012, “Concrete Forming-Design/Construction Guide”. Debido a consideraciones relacionadas con las propiedades de la madera, el momento de

inercia efectivo dividido por la distancia a la fibra extrema $M = \frac{I}{c}$ no es igual al módulo de sección efectivo (KS). Por lo tanto, el módulo de sección efectivo (KS), como se muestra en la Tabla 13, debe usarse para todos los cálculos de esfuerzo de flexión y el momento de inercia, debe usarse solo para el cálculo de deflexión.

Tabla 13 Propiedades de sección efectiva Fuente: APA V345V-12

Table 4.13: Effective section properties for B-B Plyform plywood (12 in. widths)*

Plyform grade	12 in. width, used with face grain parallel to span				12 in. width, used with face grain perpendicular to span			Approximate weight, lb	
	Sanded plywood, net thickness, in.	Moment of inertia I , in. ⁴	Effective section modulus KS , in. ³	Rolling shear constant lb/Q , in. ²	Moment of inertia I , in. ⁴	Effective section modulus KS , in. ³	Rolling shear constant lb/Q , in. ²	4x8 ft sheet	per ft ²
Class I	15/32	0.066	0.244	4.743	0.018	0.107	2.419	45	1.4
	1/2	0.077	0.268	5.153	0.024	0.130	2.739	48	1.5
	19/32	0.115	0.335	5.438	0.029	0.146	2.834	57	1.8
	5/8	0.130	0.358	5.717	0.038	0.175	3.094	60	1.9
	11/16	0.164	0.409	6.175	0.044	0.183	3.524	66	2.1
	23/32	0.180	0.430	7.009	0.072	0.247	3.798	69	2.2
	3/4	0.199	0.455	7.187	0.092	0.306	4.063	72	2.3
	7/8	0.296	0.584	8.555	0.151	0.422	6.028	84	2.6
	1	0.427	0.737	9.374	0.270	0.634	7.014	96	3.0
Structural I	1-1/8	0.554	0.849	10.430	0.398	0.799	8.419	108	3.4
	15/32	0.067	0.246	4.503	0.021	0.147	2.405	45	1.4
	1/2	0.078	0.271	4.908	0.029	0.178	2.725	48	1.5
	19/32	0.116	0.338	5.018	0.034	0.199	2.811	57	1.8
	5/8	0.131	0.361	5.258	0.045	0.238	3.073	60	1.9
	11/16	0.167	0.418	5.621	0.051	0.249	3.493	66	2.1
	23/32	0.183	0.439	6.109	0.085	0.338	3.780	69	2.2
	3/4	0.202	0.464	6.189	0.108	0.418	4.047	72	2.3
	7/8	0.317	0.626	7.539	0.179	0.579	5.991	84	2.6
	1	0.479	0.827	7.978	0.321	0.870	6.981	96	3.0
	1-1/8	0.623	0.955	8.841	0.474	1.098	8.377	108	3.4

*Use listed KS value in bending calculations and use I only in deflection calculations. Properties from APA Form No. V345V-12.

El valor ajustado de diseño por flexión $F'b$ especificado en la Tabla 14 tiene un valor referencia de diseño, el cual se ajusta con un coeficiente de ajuste C_d y un coeficiente de experiencia C_e para poder usarlo como $F'b$ dentro de la fórmula (7.3 b).

Tabla 14 Valores ajustados de diseño Fuente: APA V345V-12

Table 4.14: Plyform (used wet) reference and adjusted design values for Class I and Structural I

	Value	Reference design value used wet, psi	Concrete setting factor $C_s = C_e \times C_d$		Adjusted design value for		
			Experience factor	Duration factor	$C_d = 1.0$, psi	$C_d = 1.25$, psi	
Bending	$F_b' =$	$(F_b = 1190)$	$(C_e = 1.3)$	C_d	=	1545	1933
Rolling shear (Class I)	$F_{rs}' =$	$(F_{rs} = 44)$	$(C_e = 1.3)$	C_d	=	57	72
Rolling shear (Structural I)	$F_{rs}' =$	$(F_{rs} = 63)$	$(C_e = 1.3)$	C_d	=	82	102
Bearing on face	$F_{cb}' =$	$(F_{cb} = 210)$	—	C_d	=	210	263
Modulus of elasticity (for bending deflection when shear deflection is not considered)	$E' =$	$(E = 1,500,000)$	—	—	=	1,500,000	1,500,000
Modulus of elasticity (for shear deflection)	$E_s' =$	$(E_s = 1,500,000)$	—	—	=	1,500,000	1,500,000
Modulus of elasticity (for bending deflection when shear deflection is considered)	$E' =$	$(E = 1,650,000)$	—	—	=	1,650,000	1,650,000

Note: Values from APA Form No. V345V-12.

c) *Chequeo por deflexión*

Para la selección de tableros por cuestión de experiencia se considera una limitación de la deflexión a $\frac{1}{16}$ in pero, para cualquier otro elemento que conforma el encofrado se utiliza $\frac{1}{8}$ in. Por otro lado, para cualquier componente de la longitud del vano del encofrado que sea relativamente grande (mayor a 5 ft) es aceptable usar $\frac{1}{4}$ in. Adicionalmente, se comprueba la deflexión máxima de una porción de la longitud del vano que puede ser alguna de las que se describen a continuación $(\frac{\ell}{180}, \frac{\ell}{240}, \frac{\ell}{360}, \frac{\ell}{400})$.

Para realizar el chequeo por deflexión del tablero se va a tomar en cuenta una limitación de: $\frac{1}{16}$ in y $\frac{\ell}{360}$ en base a la fórmula (7.4c):

$$\text{Tres vigas continuas: } \Delta_{max} = \frac{w\ell^4}{145E'I} \quad (7.4c)$$

- Para deflexión máxima permitida de $\frac{1}{16}$ in. Despejar ℓ :

$$\frac{1}{16} = \frac{w\ell^4}{145E'I}$$

$$\ell = 1.735 * \sqrt[4]{\frac{E'I(in)}{w}} \quad (7.4c.1)$$

- Para deflexión máxima permitida de $\frac{\ell}{360}$. Despejar ℓ :

$$\frac{\ell}{360} = \frac{w\ell^4}{145E'I}$$

$$\ell = 0.738 * \sqrt[3]{\frac{E'I}{w}} \quad (7.5)$$

Donde:

ℓ = Longitud máxima permitida del tramo (in)

Δ_{max} = Deflexión máxima permitida

w = Carga distribuida uniforme (lb/in)

E' = Módulo de elasticidad (psi)

I = Inercia (in^4)

d) *Chequeo por cortante*

Para obtener el diseño por cortante del tablero se utiliza la ecuación (7.14 c) de directa aplicación donde varios valores se obtienen de la Tabla 13 y Tabla 14.

$$\text{Tres vigas continuas: } \ell_c = \frac{F'_{rs} * \left(\frac{lb}{Q}\right)}{0.6 w} \quad (7.14c)$$

Donde:

ℓ_c = Longitud máxima permitida del tramo (in)

F'_{rs} = Valor ajustado de diseño por cortante para madera (psi) *Tabla 14*

$\left(\frac{lb}{Q}\right)$ = Constante para cortante (in^2) *Tabla 13*

w = Carga distribuida uniforme (lb/in)

e) *Esquema del tablero y espaciamiento final de montantes*

Conociendo los valores obtenidos en la comprobación por flexión, deflexión y cortante que corresponden a las fórmulas: (7.3b), (7.4c.1), (7.5) y (7.14c), el espaciamiento que debe ser escogido es el de menor valor de las fórmulas descritas, ya que el más restrictivo es el que gobierna en el diseño del tablero y la ubicación de los montantes. El espaciamiento asumido (s) puede ser menor a (ℓ), lo que usualmente se hace por consideraciones de construcción y practicidad.

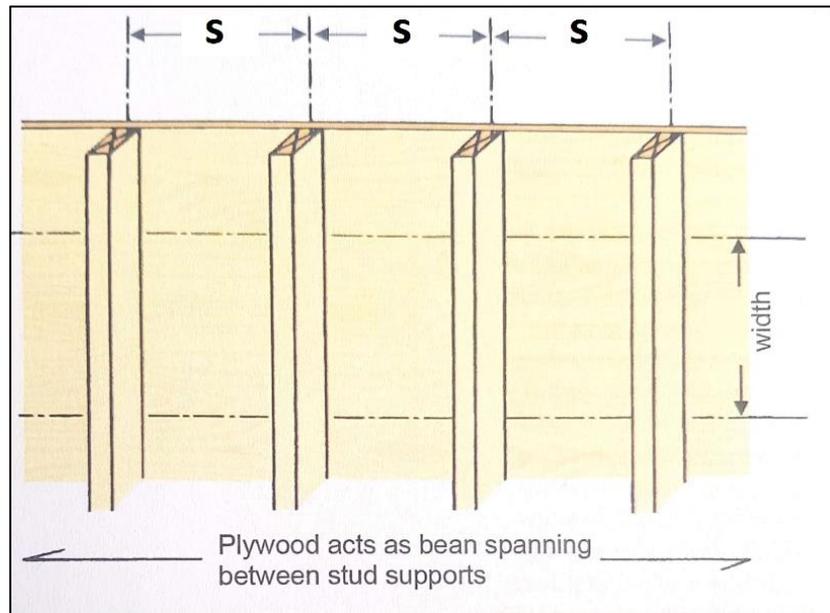


Figura No. 16 Tablero de encofrado soportado por elementos verticales Fuente: (Johnston, 2014).

3) Sección de montantes y espaciamiento de largueros

La sección típica y recomendada del montante es de 2x4" (1.5 x 3.5 pulgadas) y el tamaño corresponde a la altura libre del muro. La carga que ejerce el hormigón va a ser dada por la misma fórmula delimitada en el paso-sección 2) literal b) es decir:

$$w(\text{montante}) = C_{CP \max} * s$$

Donde:

s = Espaciamiento asumido de montantes (in o ft)

$C_{CP \max}$ = Presión máxima de diseño (lb/ft^2)

w = Carga distribuida uniforme (lb/in)

a) Chequeo por flexión

Se necesita de un valor ajustado de diseño por flexión diferente al que se usó en el diseño de los montantes por lo que se va a aplicar la siguiente ecuación:

$$F'b = F_b * C_D * C_M * C_t * C_L * C_F * C_{fu} * C_i * C_r$$

Donde:

F_b = Valor referencia de diseño por flexión (psi)

$F'b$ = Valor ajustado de diseño por flexión (psi)

C_D = Coeficiente de corrección por duración

C_M = Coeficiente de corrección por humedad

C_t = Coeficiente de corrección por temperatura

C_L = Coeficiente de estabilidad de elemento

C_F = Coeficiente de corrección por tamaño de elemento

C_{fu} = Coeficiente de corrección por planicidad

C_i = Coeficiente de corrección por inserción

C_r = Coeficiente por repetición de elementos estructurales

Debido a que se tienen algunos factores por corrección, primero se delimita el tipo de madera que se está utilizando, su tamaño o dimensiones como se observa en la Tabla 15. Paralelamente, se toma en cuenta para que tipo de fenómeno va a trabajar el elemento estructural para obtener el valor de F_b .

Tabla 15 Valores Referencia de diseño para diferentes tipos de madera Fuente: AWC NDS-2012

Table 4.3: Representative reference design values, psi, for visually graded sawn dimension lumber at 19% moisture

Values from requirements of AWC NDS-2012 Rev. 2013; see AWC NDS for values of sizes not listed. Tabulated values must be multiplied by applicable adjustment factors (Table 4.4).

Species, grade, and nominal size	Bending, F_b	Shear to grain, F_v	Compression \perp to grain, $F_{c\perp}$	Compression to grain, F_c	Tension to grain, F_t	Modulus of elasticity		
						E	E_{min}	
SOUTHERN PINE 2 to 4 in. thick								
No. 2, 2 to 4 in. wide	Size-adjusted values*	1100	175	565	1450	675	1,400,000	510,000
No. 2, 5 to 6 in. wide		1000	175	565	1400	600	1,400,000	510,000
No. 2, 8 in. wide		925	175	565	1350	550	1,400,000	510,000
Construction, 4 in. wide		875	175	565	1600	500	1,400,000	510,000
DOUGLAS FIR-LARCH 2 to 4 in. thick								
No. 2, 2 in. and wider	900	180	625	1350	575	1,600,000	580,000	
Construction, 2 to 4 in. wide	1000	180	625	1650	650	1,500,000	550,000	
DOUGLAS FIR (SOUTH) 2 to 4 in. thick								
No. 2, 2 in. and wider	850	180	520	1350	525	1,200,000	440,000	
Construction, 2 to 4 in. wide	975	180	520	1650	600	1,200,000	440,000	
HEM-FIR 2 to 4 in. thick								
No. 2, 2 in. and wider	850	150	405	1300	525	1,300,000	470,000	
Construction, 2 to 4 in. wide	975	150	405	1550	600	1,300,000	470,000	
SPRUCE-PINE-FIR 2 to 4 in. thick								
No. 2, 2 in. and wider	875	135	425	1150	450	1,400,000	510,000	
Construction, 2 to 4 in. wide	1000	135	425	1400	500	1,300,000	470,000	
SPRUCE-PINE-FIR (SOUTH) 2 to 4 in. thick								
No. 2, 2 in. and wider	775	135	335	1000	350	1,100,000	400,000	
Construction, 2 to 4 in. wide	875	135	335	1200	400	1,000,000	370,000	

* Size adjustments apply to all bending reference design values and compression parallel to the grain values except Southern Pine. The size adjustments are already included in Southern Pine bending and compression parallel to grain values.

De igual manera la aplicabilidad de cada factor de corrección viene dada por la Tabla 16.

Tabla 16 Aplicación de cada factor de corrección Fuente: (Johnston, 2014).

Table 4.4: Application of adjustment factors for sawn lumber

Adjusted design value	Reference design value	ASD only	ASD and LRFD										LRFD only		
			Load duration	Wet service	Temperature	Beam stability	Size	Flat use	Incising	Repetitive member	Column stability	Buckling stiffness	Bearing area	Format conversion	Resistance
$F_b' = F_b \times$		C_D	C_M	C_t	C_L	C_F	C_{fu}	C_i	C_r	—	—	—	K_F	ϕ_b	λ
$F_t' = F_t \times$		C_D	C_M	C_t	—	C_F	—	C_i	—	—	—	—	K_F	ϕ_t	λ
$F_v' = F_v \times$		C_D	C_M	C_t	—	—	—	C_i	—	—	—	—	K_F	ϕ_v	λ
$F_{c\perp}' = F_{c\perp} \times$		—	C_M	C_t	—	—	—	C_i	—	—	C_b	K_F	ϕ_c	λ	
$F_c' = F_c \times$		C_D	C_M	C_t	—	C_F	—	C_i	C_p	—	—	K_F	ϕ_c	λ	
$E' = E \times$		—	C_M	C_t	—	—	—	C_i	—	—	—	—	—	—	—
$E_{min}' = E_{min} \times$		—	C_M	C_t	—	—	—	C_i	—	—	C_T	—	K_F	ϕ_s	—
See Table:		4.5	4.6	4.7	—	4.8	4.8	—	—	—	—	—	4.9	4.9	—

El coeficiente de duración C_D , mostrado en la Tabla 17, depende del tiempo de servicio del encofrado que va a estar en contacto con la mezcla de hormigón y los efectos de fuerzas externas o ambientales a los que puede ser sometido. Para cargas de corta duración tales como: efectos de viento, terremoto, impacto o similares se permite subir el valor del coeficiente debido a la habilidad de la madera para absorber sobre cargas en períodos pequeños de tiempo. Por otro lado, el coeficiente de corrección por humedad, indicado en la Tabla 18, establece que el factor será igual a 1 para maderas que contengan una humedad menor que 19%.

Tabla 17 Coeficiente de Duración en función del tipo de carga Fuente: (Johnston, 2014).

Table 4.5: Load duration factors for sawn lumber (ASD only)

Maximum cumulative load duration	Example loads	C_D
>10 years (permanent)	Dead load	0.9
10 years	Occupancy live load	1.0
2 months	Snow load	1.15
7 days	Construction load	1.25
10 minutes	Wind or earthquake	1.6
Impact	Impact	2.0

Tabla 18 Coeficiente de humedad Fuente: (Johnston, 2014).

Table 4.6: Wet service factors, C_M for sawn lumber

F_b	F_t	F_v	F_{cL}	F_c	E_r, E_{min}
0.85*	1.0	0.97	0.67	0.8†	0.9

*When $(F_b)(C_P) \leq 1150$ psi, $C_M = 1.0$.

†When $(F_c)(C_P) \leq 750$ psi, $C_M = 1.0$.

El coeficiente de temperatura C_t se muestra en la Tabla 19. Este coeficiente por lo general es igual a 1 para maderas típicas con raras exposiciones a temperaturas ambientales mayores a 150 °F. No es muy preponderante el calor de hidratación generado por la colocación del hormigón, ya que la ganancia de temperatura se da en un momento corto de tiempo y raramente la temperatura del hormigón supera los 150 °F. Por otro lado, el coeficiente de estabilidad C_L siempre es igual a 1.

Tabla 19 Coeficiente de corrección por temperatura Fuente: (Johnston, 2014).**Table 4.7: Adjustment factors for temperature, C_t**

Reference design value	Service moisture condition	Temperature $\leq 100^\circ\text{F}$	Temperature above 100°F to 125°F	Temperature above 125°F to 150°F
F_p, E, E_{min}	Wet or dry	1.0	0.9	0.9
F_b, F_v, F_c, F_{cl}	Dry	1.0	0.8	0.7
	Wet	1.0	0.7	0.5

Note: These adjustments apply to sustained exposure of wood at the indicated temperatures.

El coeficiente de corrección por tamaño de elemento C_F es aplicado según lo estipulado en la Tabla 20 y el coeficiente de corrección por planicidad C_{fu} utiliza esa misma tabla en el caso de que el uso de la madera sea del lado débil de las fibras de la madera, caso contrario no se considera el uso del factor C_{fu} .

Tabla 20 Coeficiente de tamaño y planicidad Fuente: (Johnston, 2014).**Table 4.8: Size and flat use adjustment factors for dimension lumber**

Nominal width of lumber	Size factor, C_F for No. 1 and No. 2 grades*			Flat use factor, C_{fu} for all grades	
	F_b		F_c	F_b	
	2 and 3 in. nominal thickness	4 in. nominal thickness		2 and 3 in. nominal thickness	4 in. nominal thickness
2 and 3 in.	1.5	1.5	1.15	1.00	—
4 in.	1.5	1.5	1.15	1.10	1.00
5 in.	1.4	1.4	1.10	1.10	1.05
6 in.	1.3	1.3	1.10	1.15	1.05
8 in.	1.2	1.3	1.05	1.15	1.05
10 in.	1.1	1.2	1.00	1.20	1.10
12 in.	1.0	1.1	1.00	1.20	1.10
14 in. and wider	0.9	1.0	0.90	1.20	1.10

* $C_F = 1.0$ for Construction and Standard grades 2, 3, and 4 in. widths.

El coeficiente de corrección por inserción C_i es aplicado cuando al miembro de madera se le ha aplicado un corte, penetración o inserción de algún elemento, en ese caso se utilizará la Tabla 21. En el caso del coeficiente por repetición de elementos estructurales C_r siempre es igual a 1.15 si se cumple una de las siguientes hipótesis: 1) Miembros en contacto o espaciados

no más de 24 pulgadas. 2) Al menos son 3 elementos. 3) Si están unidos por un tablero o algún elemento que sea apto para soportar la carga de diseño.

Tabla 21 Coeficiente de Incisión Fuente: (Johnston, 2014).

Table 4.9: Incising factors

Design value	C_i
$F_{b'}$, $F_{t'}$, $F_{c'}$, F_v	0.80
$F_{c.l}$	1.00
E , E_{min}	0.85

Una vez conocidos los valores de corrección ya se puede aplicar la ecuación (7.3 b) teniendo en cuenta que el valor de S es una propiedad geométrica intrínseca de la madera que se encuentra delimitada en la Tabla 22.

$$\ell = 3.16 \sqrt{\frac{F'b * S}{w}} \quad (7.3 b)$$

Donde:

ℓ = Longitud máxima permitida del tramo (in)

$F'b$ = Valor ajustado de diseño por flexión (psi)

S = Módulo de sección (in^3)

w = Carga distribuida uniforme (lb/in)

Tabla 22 Propiedades geométricas de distintas maderas de Estados Unidos Fuente: (Johnston, 2014).

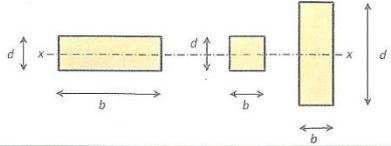


Table 4.2: Properties of American standard board, dimension, and timber sizes commonly used for formwork construction

Nominal size, in., bxd	American Standard size, in., bxd, S4S, at 19% maximum moisture*	Area of section in. ² , A = bd		Moment of inertia, in. ⁴ , I _x = bd ³ /12		Section modulus, in. ³ , S _x = bd ² /6		Board feet per linear foot of piece	Approximate weight, lb per linear ft, for use in form design†
		Rough	S4S	Rough	S4S	Rough	S4S		
4x1	3-1/2 x 3/4	3.17	2.62	0.20	0.12	0.46	0.33	0.33	0.6
6x1	5-1/2 x 3/4	4.92	4.12	0.31	0.19	0.72	0.52	0.50	1.0
8x1	7-1/4 x 3/4	6.45	5.44	0.41	0.25	0.94	0.68	0.67	1.3
10x1	9-1/4 x 3/4	8.20	6.94	0.52	0.32	1.20	0.87	0.83	1.7
12x1	11-1/4 x 3/4	9.95	8.44	0.63	0.39	1.45	1.05	1.00	2.0
4x1-1/4	3-1/2 x 1	4.08	3.50	0.43	0.29	0.76	0.58	0.42	0.9
6x1-1/4	5-1/2 x 1	6.33	5.50	0.68	0.46	1.19	0.92	0.63	1.3
8x1-1/4	7-1/4 x 1	8.30	7.25	0.87	0.60	1.56	1.21	0.83	1.8
10x1-1/4	9-1/4 x 1	10.55	9.25	1.11	0.77	1.98	1.54	1.04	2.3
12x1-1/4	11-1/4 x 1	12.80	11.25	1.35	0.94	2.40	1.87	1.25	2.7
4x1-1/2	3-1/2 x 1-1/4	4.98	4.37	0.78	0.57	1.14	0.91	0.50	1.0
6x1-1/2	5-1/2 x 1-1/4	7.73	6.87	1.22	0.89	1.77	1.43	0.75	1.7
8x1-1/2	7-1/4 x 1-1/4	10.14	9.06	1.60	1.18	2.32	1.89	1.00	2.2
10x1-1/2	9-1/4 x 1-1/4	12.89	11.56	2.03	1.50	2.95	2.41	1.25	2.8
12x1-1/2	11-1/4 x 1-1/4	15.64	14.06	2.46	1.83	3.58	2.93	1.50	3.4
4x2	3-1/2 x 1-1/2	5.89	5.25	1.30	0.98	1.60	1.31	0.67	1.3
6x2	5-1/2 x 1-1/2	9.14	8.25	2.01	1.55	2.48	2.06	1.00	2.0
8x2	7-1/4 x 1-1/2	11.98	10.87	2.64	2.04	3.25	2.72	1.33	2.6
10x2	9-1/4 x 1-1/2	15.23	13.87	3.35	2.60	4.13	3.47	1.67	3.4
12x2	11-1/4 x 1-1/2	18.48	16.87	4.07	3.16	5.01	4.21	2.00	4.1
2x4	1-1/2 x 3-1/2	5.89	5.25	6.45	5.36	3.56	3.06	0.67	1.3
2x6	1-1/2 x 5-1/2	9.14	8.25	24.10	20.08	8.57	7.56	1.00	2.0
2x8	1-1/2 x 7-1/4	11.98	10.87	54.32	47.63	14.73	13.14	1.33	2.6
2x10	1-1/2 x 9-1/4	15.23	13.87	111.6	98.93	23.80	21.39	1.67	3.4
2x12	1-1/2 x 11-1/4	18.48	16.87	199.3	178.0	35.04	31.64	2.00	4.1
3x4	2-1/2 x 3-1/2	9.52	8.75	10.42	8.93	5.75	5.10	1.00	2.1
3x6	2-1/2 x 5-1/2	14.77	13.75	38.93	34.66	13.84	12.60	1.50	3.4
3x8	2-1/2 x 7-1/4	19.36	18.12	87.74	79.39	23.80	21.90	2.00	4.4
3x10	2-1/2 x 9-1/4	24.61	23.12	180.2	164.9	38.45	35.65	2.50	5.6
3x12	2-1/2 x 11-1/4	29.86	28.12	322.0	296.6	56.61	52.73	3.00	6.8
4x4	3-1/2 x 3-1/2	13.14	12.25	14.39	12.50	7.94	7.15	1.33	3.0
4x6	3-1/2 x 5-1/2	20.39	19.25	53.76	48.53	19.12	17.65	2.00	4.7
4x8	3-1/2 x 7-1/4	26.73	25.38	121.2	111.1	32.86	30.66	2.67	6.2
4x10	3-1/2 x 9-1/4	33.98	32.38	248.9	230.8	53.10	49.91	3.50	7.9
6x3	5-1/2 x 2-1/2	14.77	13.75	8.48	7.16	6.46	5.73	1.50	3.3
6x4	5-1/2 x 3-1/2	20.39	19.25	22.33	19.65	12.32	11.23	2.00	4.7
6x6	5-1/2 x 5-1/2	31.64	30.25	83.43	76.26	29.66	27.73	3.00	7.4
6x8	5-1/2 x 7-1/4	41.48	39.88	188.0	174.7	50.99	48.18	4.00	9.7
8x8	7-1/4 x 7-1/4	54.38	52.56	246.5	230.2	66.85	63.51	5.33	12.8

*Rough-sawn dry sizes are 1/8 in. larger, both dimensions.
 †Based on a unit dry weight of 35 lb/ft³. Actual weights vary depending on species and moisture contents. At 15% moisture content, the unit weight of Douglas Fir-Larch is 34 lb/ft³, and that of Southern Pine is 37 lb/ft³. The other species commonly used in formwork in North America weigh less.

b) *Chequeo por deflexión*

Para realizar el chequeo por deflexión se va a tomar en cuenta una limitación de: $\frac{1}{16} in$ y $\frac{t}{360}$. Para calcular se va a utilizar las ecuaciones simplificadas (7.4c. 1) y (7.5). El módulo de elasticidad se lo obtiene de la Tabla 15 y la inercia de la Tabla 22.

$$E' = E * C_M * C_t * C_i$$

$$\ell = 1.735 * \sqrt[4]{\frac{E'I(in)}{w}} \quad (7.4c. 1)$$

$$\ell = 0.738 * \sqrt[3]{\frac{E'I}{w}} \quad (7.5)$$

Donde:

ℓ = Longitud máxima permitida del tramo (in)

Δ_{max} = Deflexión máxima permitida

w = Carga distribuida uniforme (lb/in)

E' = Módulo de elasticidad ajustado (psi)

E = Modulo de elasticidad valor referencia de diseño (psi)

I = Inercia (in^4)

c) *Chequeo por cortante*

Para el chequeo de cortante es importante tener en cuenta el valor ajustado de diseño por corte establecido en la Tabla 15 con sus valores de ajuste delimitados en la Tabla 16. Posteriormente, se aplica la ecuación (7.11 c). Hay que tomar en cuenta que el valor numérico de ℓ_b de dicha ecuación es igual a la multiplicación de 2 por el lado o dimensión más corto de los largueros o en efecto la dimensión que esté en contacto con los montantes.

$$F'_V = F_V * C_D * C_M * C_t * C_i$$

$$\ell = \frac{F'_V * b * d}{0.9w} + 1.67d + 0.83\ell_b \quad (7.11 c)$$

Donde:

F'_V = Valor ajustado para diseño por cortante (psi)

F_V = Valor referencia para diseño por cortante (psi)

ℓ = Longitud máxima permitida del tramo (in)

w = Carga distribuida uniforme (lb/in)

ℓ_b = Longitud de contacto en los soportes (in)

b = Ancho de la sección transversal del larguero (in)

d = Altura de la sección transversal del larguero (in)

d) *Esquema del tablero, montantes y largueros*

A continuación, se muestra el esquema general donde se ve la interacción de casi todos los elementos que componen un encofrado de muro.

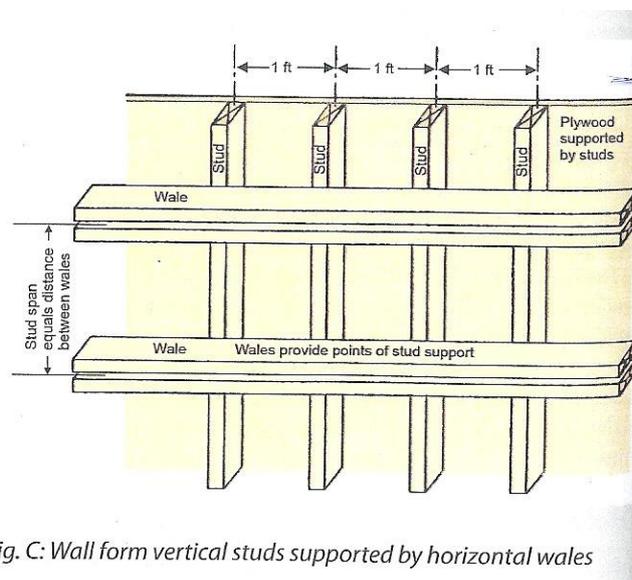


Fig. C: Wall form vertical studs supported by horizontal wales

Figura No. 17 Elementos verticales y horizontales de encofrado de muro
Fuente: (Johnston, 2014).

e) *Esquema y distribución de largueros*

Finalmente, la distribución de largueros depende de los valores de longitud permitida de tramo (ℓ) calculados para deflexión, cortante y flexión obtenidos anteriormente que resultan de la interacción de los montantes con los largueros. De la misma manera como se ha venido desarrollando el diseño, se escogerá el menor valor de (ℓ), ya que este valor es el más restrictivo, a su vez este parámetro se lo puede redondear hacia abajo en números enteros por

finés de practicidad y construcción. En este punto, la distribución de los largueros dependerá del criterio del diseñador o constructor, respetando las limitantes ya expuestas.

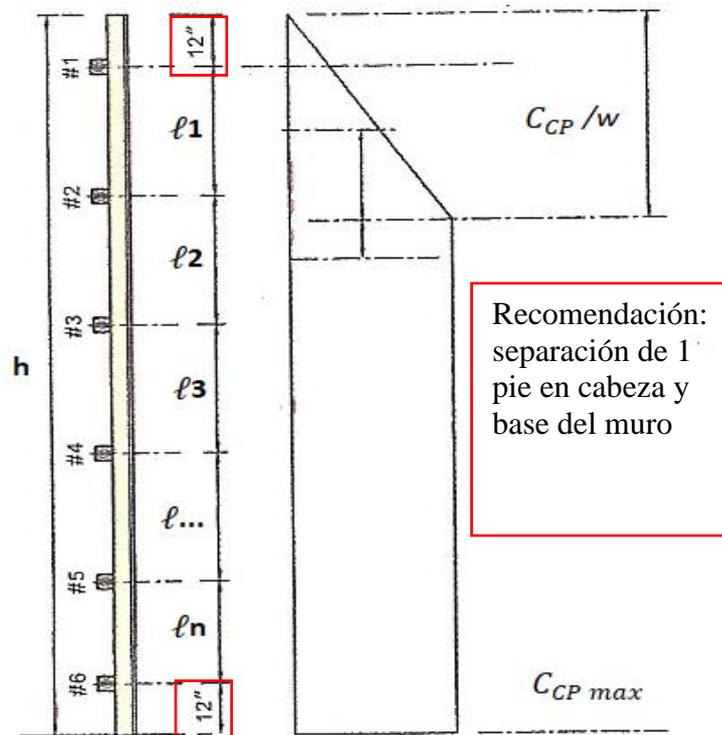


Figura No. 18 Distribución de largueros en función de longitud de tramo permitida Fuente: (Johnston, 2014).

4) *Tamaño del larguero y espaciamiento de pasador o soporte*

Dentro de este apartado se va a analizar la distribución final de largueros y la interacción de estos con los pasadores. Se aproxima e intenta acercar el espaciamiento de los pasadores con el de los largueros para que coincidan y puedan ser ubicados en la misma posición. Mediante la Figura No. 18 se puede obtener la carga tributaria que cada larguero va a soportar y también se tiene en cuenta la carga de seguridad de trabajo de los pasadores dotados por el fabricante.

a) *Chequeo por flexión*

Para el chequeo por flexión es importante tomar en cuenta que de la ecuación (7.2 b) se quiere obtener el módulo de sección requerido (S). En este caso en específico el valor de la

carga tributaria (w) se lo va a calcular con el máximo valor de la separación entre largueros (s). Consecuentemente, el valor de la longitud permitida de tramo (ℓ_1) es un valor asumido que va a ser comprobado en el diseño del pasador (Paso 5).

$$w(\text{larguero}) = C_{CP\ max} * s$$

Donde:

s = Espaciamiento más grande entre todos los largueros (in o ft)

$C_{CP\ max}$ = Presión máxima de diseño (lb/ft^2)

w = Carga distribuida uniforme (lb/in)

$$F'b = F_b * C_D * C_M * C_t * C_L * C_F * C_{fu} * C_i * C_r$$

Se debe tomar en cuenta que, en el cálculo del valor ajustado de diseño por flexión, el valor de C_r es igual a 1, si la separación de los largueros al momento de hacer el esquema definitivo sobrepasa las 24 pulgadas.

$$F'b \cdot S = \frac{w \cdot (\ell_1)^2}{10} \quad (7.2\ b)$$

Despejar S :

$$S = \frac{w \cdot (\ell_1)^2}{10 \cdot F'b}$$

Donde:

S = Modulo de sección requerido (in^3)

w = Carga distribuida uniforme (lb/in)

$F'b$ = Valor ajustado de diseño por flexión (psi)

ℓ_1 = Longitud de tramo asumida para diseño del pasador (in)

Conocido el valor de S y teniendo en cuenta que se evita perforar la madera se usa doble larguero. El valor del módulo de sección sumado de los dos largueros (Tabla 22) debe ser mayor al módulo de sección obtenido mediante la fórmula (7.2 b).

b) Chequeo por cortante

Este chequeo requiere de la misma ecuación (7.11 c) con la diferencia que en la parte de la ecuación $b * d$ se multiplica por 2, ya que se va a utilizar largueros dobles a lo largo del muro. En el caso del término ℓ_b corresponde a la menor dimensión de la placa que se utilice como pasador.

$$\ell = \frac{F'_v * b * d}{0.9w} + 1.67d + 0.83\ell_b \quad (7.11 c)$$

5) Diseño del pasador o soporte

Para el diseño del pasador se debe tener en cuenta la capacidad permisible de carga de trabajo para dicho elemento. El pasador es un elemento que va a aportar un soporte rígido de todas las partes que conforman un encofrado de muro, por esa razón no todos los largueros están espaciados de la misma manera haciendo que el diseño se lo haga con la mayor carga de diseño. A pesar de que no se especifica un uso netamente estricto, la distribución de los pasadores queda a discreción del diseñador o constructor. La distribución se trata de hacer lo más uniforme posible teniendo en cuenta el terminado de la superficie del muro y la perforación del tablero.

$$w(\text{larguero}) = C_{CP \max} * s$$

Donde:

s = Espaciamiento más grande entre todos los largueros (in o ft)

$C_{CP \max}$ = Presión máxima de diseño (lb/ft^2)

w = Carga distribuida uniforme (lb/in)

De la Figura No. 15 podemos obtener el valor de las reacciones descritos en la siguiente ecuación. Se va a despejar ℓ .

$$R_b = R_c = 1.1w\ell_2$$

$$\ell_2(\text{Espaciamiento de pasador}) = \frac{\text{Capacidad permisible del pasador}}{w(\text{larguero}) * 1.1}$$

El valor obtenido del espaciamento de pasador ℓ_2 debe ser mayor o similar al valor asumido de la longitud permitida de tramo (ℓ_1) analizado en el paso 4) literal a). De ser el caso que cumpla se acepta colocar los pasadores con el máximo valor de la separación entre largueros (s).

6) *Chequeo de Tensiones por contacto*

En el chequeo de tensiones por contacto se va a considerar dos tipos de interacciones. El primero es la unión de los pasadores con los largueros y el segundo es el contacto de los montantes con los largueros, tal como se expone en la Figura No. 19 y Figura No. 20.

a) *Tensión por contacto de pasador y largueros*

En la zona del pasador donde existen la mayor presión lateral se toma el valor asumido de la longitud permitida de tramo (ℓ_1) descrito en el paso 4 y 5.

$$R_b = R_c = 1.1w\ell_1$$

$$w(\text{larguero}) = C_{CP\ max} * S$$

La diferencia es que en este caso ya se dispone del valor de la carga w , la longitud permitida del tramo ℓ_1 , pero se busca conocer la reacción máxima en el pasador R_b o R_c . El área de contacto se puede visualizar en la Figura No. 19.

$$\text{Esfuerzos por contacto(psi)} = \frac{\text{Capacidad permisible del pasador(lb)}}{\text{Area de Contacto}(in^2)}$$

El valor obtenido de esfuerzo por contacto se lo compara con el valor ajustado de diseño por compresión de un elemento, el cual se calcula de la siguiente manera:

$$F'_{c\perp} = F_{c\perp} * C_M * C_t * C_i * C_b$$

Donde:

$F'_{c\perp}$ = Valor ajustado de diseño para compresión (psi)

$F_{c\perp}$ = Valor referencia de diseño para compresión (psi)

C_b = Factor de área de contacto

Tabla 23 Coeficiente de ajuste en función de la longitud de contacto Fuente: (Johnston, 2014).

Table 7.4: Bearing adjustment factors, C_b

Length of bearing, ℓ_b , in.	1/2	1	1-1/2	2	2-1/2	3	3-1/2	4	6 or more
C_b	1.75	1.38	1.25	1.19	1.15	1.13	1.11	1.09	1.00

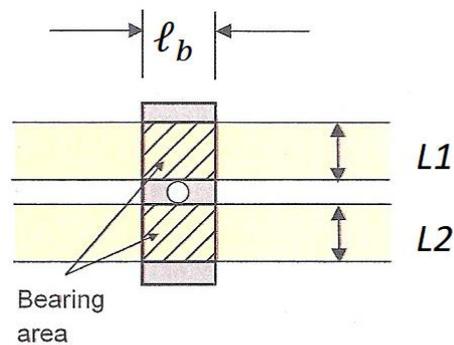


Fig. E: Bearing area between tie wedge plate and double wale

Figura No. 19 Área de contacto entre pasador y largueros Fuente: (Johnston, 2014).

$$\text{Esfuerzos por contacto (psi)} < F'_{c\perp}$$

Si se cumple que los esfuerzos de contacto generados por la fricción de la placa del pasador y los largueros es menor al valor ajustado de diseño para compresión se comprueba que el diseño del pasador y la comprobación de esfuerzos por contacto está realizado correctamente.

b) Tensión por contacto de largueros y montantes

En el caso de los largueros y montantes hay una interacción directa de dichos elementos tal como se establece en la Figura No. 20.

$$R_b = R_c = w \cdot \ell$$

$$w(\text{montante}) = C_{CP \max} * s$$

Donde:

s = Espaciamiento asumido de montantes (in o ft)

$C_{CP \max}$ = Presión máxima de diseño (lb/ft^2)

w = Carga distribuida uniforme (lb/in)

ℓ = Espaciamiento más grande entre todos los largueros (in o ft)

Es importante tomar en cuenta que la carga w esta en función del espaciamento s asumido de los montantes, pero el valor de ℓ es el mayor espaciamento entre largueros el cual fue asumido y comprobado en el paso 3 y 4.

Al igual que en el literal a) se va a calcular los esfuerzos por contacto producidos por el contacto de largueros y montantes. Ese valor se lo va a comparar con un valor ajustado de diseño por compresión, como se muestra en la siguiente ecuación y en la Figura No. 20.

$$f_{c\perp}(\text{psi}) = \frac{R_b(\text{lb})}{A_b(\text{in}^2)}$$

Donde:

$f_{c\perp}$ = Esfuerzo actual de compresión

R_b = Reacción de la carga transmitida del montante hacia el larguero

A_b = Área de contacto de esfuerzos de contacto

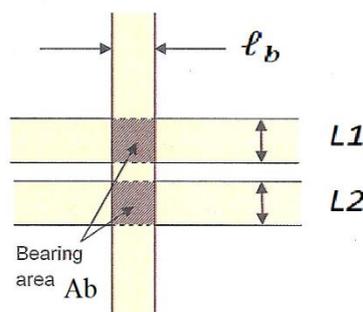


Fig. F: Bearing area between stud and wale

Figura No. 20 Área de contacto entre largueros y montantes Fuente: (Johnston, 2014).

$$F'_{c\perp} = F_{c\perp} * C_M * C_t * C_i * C_b$$

Donde:

$F'_{c\perp}$ = Valor ajustado de diseño para compresión (psi)

$F_{c\perp}$ = Valor referencia de diseño para compresión (psi)

C_b = Factor de área de contacto

La diferencia en el cálculo del valor ajustado de diseño para compresión con respecto al del literal a) es que el coeficiente C_b cambia. Para seleccionar el valor correcto de C_b , la longitud de contacto ℓ_b debe considerar que hay contacto con dos largueros, por lo que dicha longitud se multiplica por dos. En efecto es preferible tomar la longitud total porque es más conservador. Finalmente se comprueba que:

$$f_{c\perp} < F'_{c\perp}$$

7) *Diseño del arriostramiento lateral o puntal*

La colocación del puntal muchas veces en la práctica se la hace en base a la experiencia de la persona que esté a cargo del proyecto. Los puntales o arriostramientos cumplen la función principal de resistir cargas laterales de cualquier tipo. En esta sección en específica se va a calcular una carga de referencia de viento y se va a comprobar el pandeo del puntal.

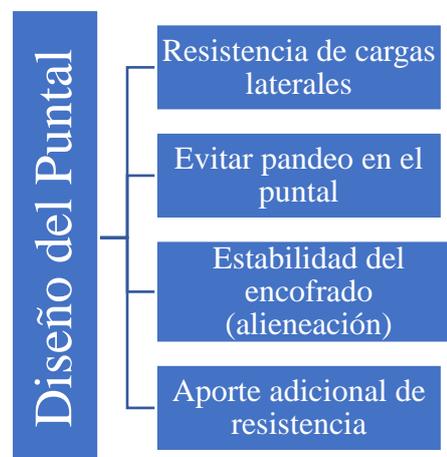


Figura No. 21 Funciones del diseño del puntal

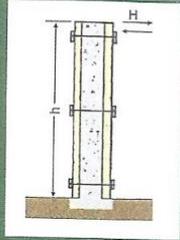
A continuación, se describe el proceso para diseñar un puntal, es importante tomar en cuenta que ciertos términos o valores que se usan en este diseño ya se han explicado en tablas expuestas en los anteriores pasos. Se va a hacer énfasis en parámetros, fórmulas y procedimientos que no hayan sido explicados anteriormente.

a) *Geometría del puntal e interacción con carga lateral*

Se debe tomar en cuenta la posición en la que se va a colocar el puntal y la carga de viento. Vale aclarar que para arriostrar lateralmente se puede usar tanto puntales (tensión y compresión) como cables (solo tensión). Adicionalmente, la interacción de la carga de viento se puede visualizar en la Figura No. 22 y Figura No. 23.

Table 5.8 Minimum lateral force for design of wall form bracing

Minimum lateral force, H , lb/ft, applied at top of wall form.
 H may act in either direction.



Wall height, h , ft	ACI 347R minimum. 100 lb/ft or 15 lb/ft ²	Wind pressure prescribed, lb/ft ²				
		10	15	20	25	30
(Above grade)						
4 or less	30	20	30	40	50	60
6	45	30	45	60	75	90
8	100	100	100	100	100	120
10	100	100	100	100	125	150
12	100	100	100	120	150	180
14	105	100	105	140	175	210
16	120	100	120	160	200	240
18	135	100	135	180	225	270
20	150	100	150	200	250	300
22 or more	7.5 h	5.0 h	7.5 h	10.0 h	12.5 h	15.0 h
Walls below grade						
$h < 8$ ft		BRACE TO MAINTAIN ALIGNMENT				
$h \geq 8$ ft		100 lb/ft minimum, or brace for any known lateral forces which are greater				

Figura No. 22 Fuerza lateral aplicada en el tope del elemento estructural Fuente: (Johnston, 2014).

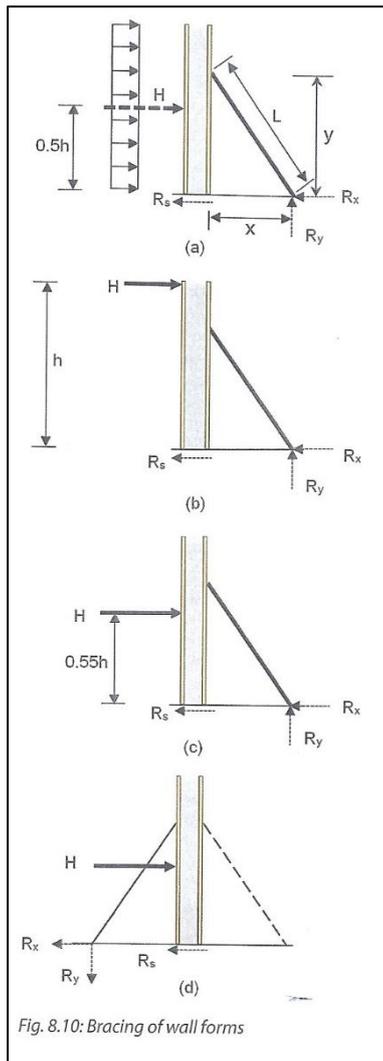


Figura No. 23 Arriostramiento lateral

Fuente: (Johnston, 2014).

Para obtener el valor de H a una altura de 0.55h se debe aplicar:

$$H' = \frac{H * h}{0.55h} = \frac{H}{0.55}$$

Donde:

H' = Valor de la carga de viento a una altura de 0.55h (lb/ft)

H = Valor de la carga de viento en la parte superior del elemento (lb/ft)

h = Altura total del elemento estructural (ft)

En el caso del valor de la reacción del puntal P se aplica la ecuación (8.12):

$$P_{puntal} = z \cdot H' \cdot (0.55h) \left(\frac{L}{x \cdot y} \right) \quad (8.12)$$

En la Figura No. 23 literal a) se puede observar la interacción entre el puntal y el viento que es idealizada como una carga uniforme y que posteriormente pasa a ser puntal. También se denota las distancias x , y , L correspondientes a la geometría del puntal. Se **recomienda** colocar el puntal a $\frac{L}{8}$ o $\frac{L}{9}$ de la altura del elemento.

En el literal b) la carga H se encuentra en la parte superior para poder utilizar la Figura No. 22.

En el caso del literal c) el ASCE/SEI posiciona la carga H a una altura de 0.55 veces el valor de la altura del elemento para representar de mejor manera la no uniformidad de la presión del viento.

El literal d) se puede observar el uso de cables, en el cual se debe usar al menos uno por lado.

$$R_y = P \cdot \left(\frac{y}{L}\right)$$

$$R_x = P \cdot \left(\frac{x}{L}\right)$$

Donde:

H' = Valor de la carga de viento a una altura de $0.55h$ (lb/ft)

H = Valor de la carga de viento en la parte superior del elemento (lb/ft)

h = Altura total del elemento estructural (ft)

P_{puntal} = Reacción del puntal (lb)

z = Separación asumida entre puntales a lo largo del elemento (ft)

x = Distancia horizontal del puntal (ft)

y = Distancia vertical del puntal (ft)

R_y = Reacción vertical del puntal (lb)

R_x = Reacción horizontal del puntal (lb)

b) *Esbeltez del puntal*

El pandeo tiene que ver con la relación de esbeltez del elemento estructural usado a compresión, en este caso el puntal. Es importante comprobar que el pandeo no sea excesivo como se muestra en la Figura No. 24. Por otro lado, en la Figura No. 25 se puede observar como en el caso de no cumplir la relación de esbeltez se añade líneas de refuerzo para asegurar que no haya pandeo en el puntal.

$$\frac{\ell_e}{d} < 50$$

Donde:

ℓ_e = Longitud efectiva del elemento analizado

d = Dimensiones de la sección transversal del elemento

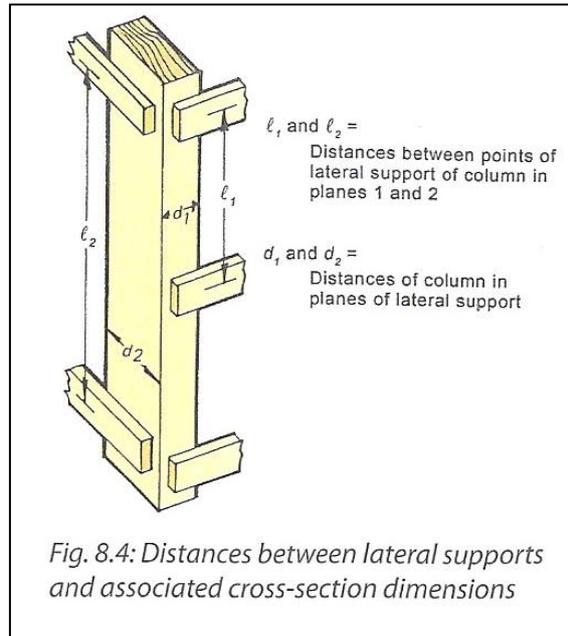


Figura No. 24 Chequeo de pandeo según área transversal Fuente: (Johnston, 2014).

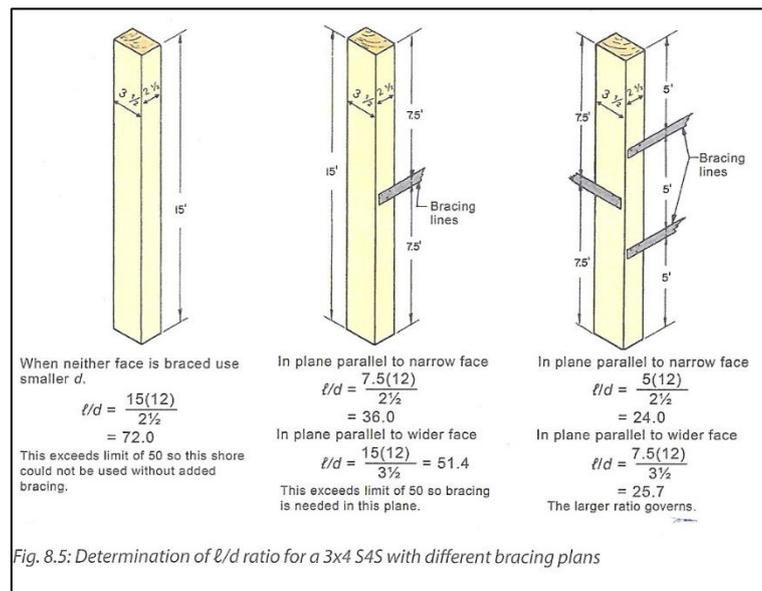


Figura No. 25 Radio de esbeltez en una sección 3x4 pulgadas Fuente: (Johnston, 2014).

c) *Diseño final*

El diseño final considera la comparación del valor de la reacción P del literal a) con la comparación del parámetro descrito a continuación:

$$E'_{min} = E_{min} * C_M * C_t * C_i * C_T$$

$$F^*_c = F_c * C_D * C_M * C_t * C_F * C_i$$

Los valores de las dos ecuaciones se encuentran en la Tabla 15. Los factores de corrección son los mismos que se han venido utilizando para el diseño de los diferentes miembros de encofrados de muro.

$$F_{cE}(\text{psi}) = \frac{0.822 \cdot E'_{min}}{\left(\frac{\ell_e}{d}\right)^2} \quad (8.2)$$

$$C_p(\text{psi}) = \frac{1 + \left(\frac{F_{cE}}{F^*_c}\right)}{2 \cdot c} - \sqrt{\left[\frac{1 + \left(\frac{F_{cE}}{F^*_c}\right)}{2 \cdot c}\right]^2 - \frac{\left(\frac{F_{cE}}{F^*_c}\right)}{c}} \quad (8.1)$$

F_{cE} y C_p son factores de corrección. Es conveniente primero resolver la ecuación 8.2 para que la ecuación 8.1 sea mucho más simplificada. El valor de c en la ecuación 8.1 se va a tomar típicamente el valor de 0.80. El valor de A es el área de la sección transversal del puntal que se haya comprobado previamente evitando el fenómeno de pandeo.

$$F'_c(\text{psi}) = F^*_c \cdot C_p$$

$$P_{max}(\text{lb}) = F'_c \cdot A$$

Finalmente, para que el diseño sea óptimo se debe cumplir que:

$$P_{max} \geq P_{puntal}$$

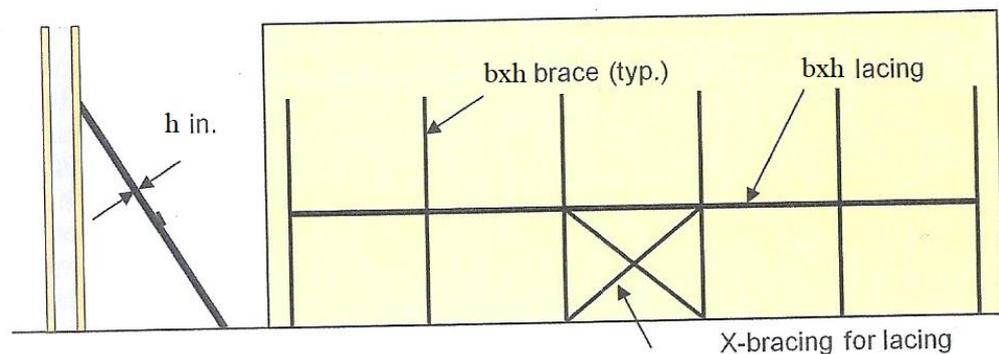


Figura No. 26 Esquema del puntal Vista lateral y Vista frontal Fuente: (Johnston, 2014).

2.2.3. Diseño de encofrado para columnas.

El diseño de encofrados de columnas también se compone de elementos verticales y horizontales que interactúan entre sí para permitir un correcto funcionamiento de este. El método de encofrado es variable, ya que depende de la disponibilidad de equipo, materiales, costo, tamaño de columna y reutilización de los materiales. En la Figura No. 27 se puede observar los elementos que componen el encofrado de una columna. En cambio, los modos de encofrado se especifican en la Figura No. 28 teniendo en cuenta que se va a seguir un diseño generalizado.

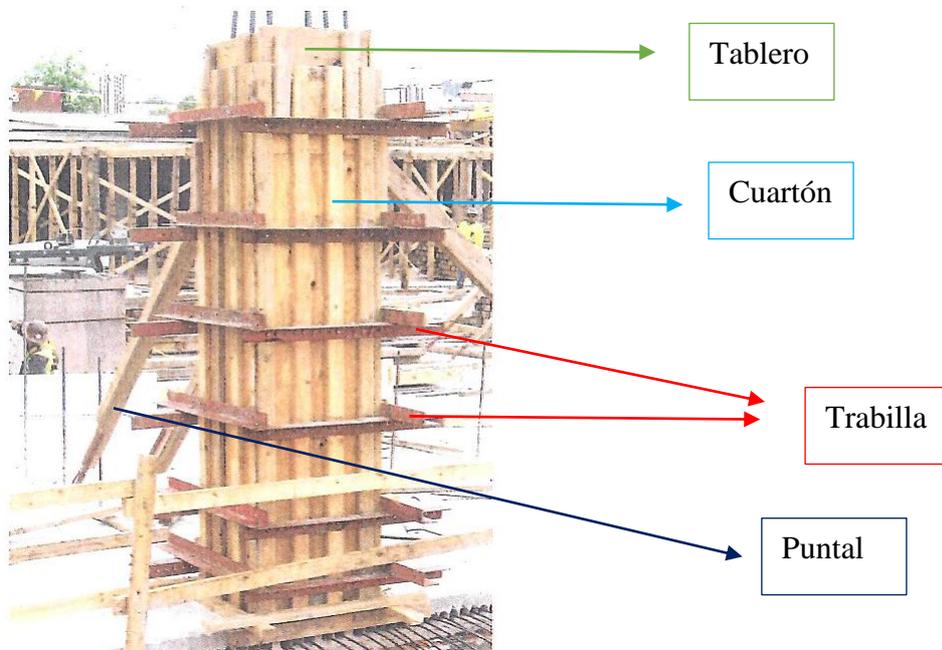


Figura No. 27 Elementos del Encofrado de Columna Fuente: (Johnston, 2014).

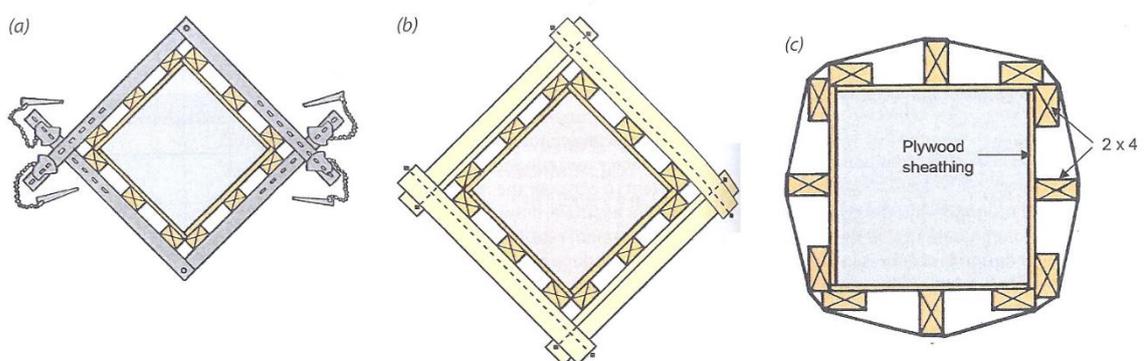
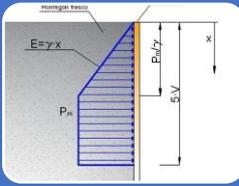
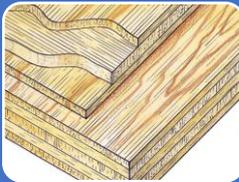


Figura No. 28 Tipos de encofrados para columnas Fuente: (Johnston, 2014).

Procedimiento y Secuencia del diseño para elementos que conforman un encofrado de columna



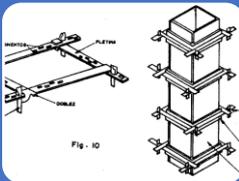
- 1) Presión Lateral de Diseño
- Estimación de presión Sección 2.2.1



- 2) Selección de Tablero y Espaciamiento de Cuartones
- Espesor de tablero
 - Ubicación de cuartones



- 3) Interacción Cuartones y Trabillas
- Chequeo por flexión
 - Chequeo por deflexión
 - Chequeo por cortante



- 4) Selección de Trabillas y Espaciamiento Final



- 5) Arriostramiento Lateral para Encofrados de Columna

Figura No. 29 Pasos de cálculo para el diseño de encofrado de Columnas

1) Presión lateral de Diseño

Se obtiene la presión máxima lateral de diseño $C_{CP\ max}$ según lo estipulado en la sección 2.2.1 del presente documento. Es útil delimitar un esquema como se observa en la Figura No. 11 donde se identifica la altura del elemento y la distancia a la que ocurre el bloqueo de presión.

2) Selección de Tablero

Es importante seleccionar e identificar las características del tablero tales como: material, dimensiones, espesor y demás consideraciones del resto de elementos del encofrado. Se va a tomar en cuenta que el encofrado en general va a ser de madera, ya que es un material accesible y de relativo bajo costo.

a) Espesor del tablero y espaciado de cuartones

El espesor del tablero compone una parte primordial al momento de espaciar los cuartones. Este factor sumado a la presión máxima de diseño $C_{CP\ max}$, permite utilizar la Tabla 24, la cual delimita eficientemente el espaciado seguro de los cuartones. Vale aclarar que hay diferentes tipos de maderas con módulos de elasticidad y esfuerzos permisibles por sección. La Tabla 24 sirve como referencia y posteriormente va a servir para un ejemplo que se plantea realizar.

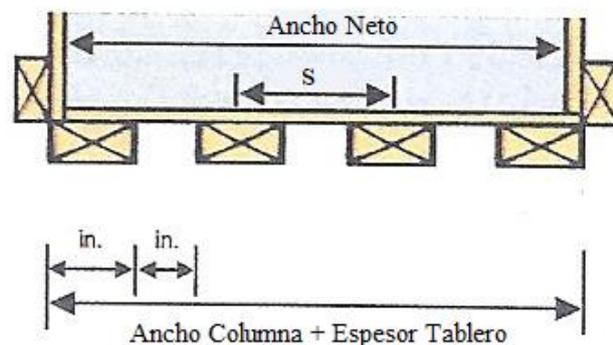


Fig. A: Column form face panel layout

Figura No. 30 Esquema del tablero y cuartones para encofrado de columna Fuente: (Johnston, 2014).

En la Figura No. 30 se puede apreciar las dimensiones a tomar en cuenta. El valor de la Tabla 24 de espaciado de cuartones (s) es el valor considerado para separar estos elementos de manera segura. Se aclara que la configuración de la Figura No. 30 es un bosquejo,

ya que se puede variar las dimensiones de cuarterones, así como también se puede cambiar la cantidad de cuarterones a utilizar.

Tabla 24 Separación de cuarterones en columnas Fuente: (Johnston, 2014).

Table 9.3: Safe spacing, in inches, of supports for B-B Plyform Class I plywood sheathing, continuous for three or more spans

Total pressure, lb/ft ²	Stresses and spans for short duration loads ($C_D = 1.25$)								Stresses and spans for long duration loads ($C_D = 1.0$)							
	$F_b' = 1930$ psi $F_v' = 72$ psi $E' = 1,500,000$ psi								$F_b' = 1545$ psi $F_v' = 57$ psi $E' = 1,500,000$ psi							
	Face grain parallel to span				Face grain perpendicular to span				Face grain parallel to span				Face grain perpendicular to span			
	Thickness, in.				Thickness, in.				Thickness, in.				Thickness, in.			
	1/2	5/8	3/4	1	1/2	5/8	3/4	1	1/2	5/8	3/4	1	1/2	5/8	3/4	1
75	20	23	26	31	15	17	21	28	20	23	26	31	15	17	21	28
100	19	21	24	29	14	16	20	26	19	21	24	29	14	16	20	26
125	18	20	23	27	13	15	19	24	18	20	23	27	13	15	19	24
150	17	19	22	26	12	14	18	23	17	19	22	26	12	14	18	23
175	16	19	21	25	11	13	17	22	16	19	21	25	11	13	17	22
200	16	18	20	24	11	13	17	22	16	18	20	24	11	13	17	22
300	14	16	18	22	10	11	15	20	13	15	17	21	9	10	14	20
400	12	14	16	20	9	10	13	18	11	13	15	18	8	9	12	17
500	11	13	15	18	8	9	12	17	10	12	13	17	7	8	11	15
600	10	12	13	17	7	8	11	16	9	11	12	15	6	7	9	14
700	9	11	12	16	7	8	10	14	8	10	11	14	6	6	8	13
800	9	10	11	15	6	7	8	14	8	9	10	13	5	6	7	11
900	8	10	11	14	6	6	8	12	7	8	10	12	5	5	6	10
1000	8	9	10	13	5	6	7	11	7	8	9	12	4	5	6	9
1100	8	9	10	12	5	5	7	10	7	7	9	11	4	4	5	9
1200	7	8	9	12	4	5	6	10	6	7	8	10	4	4	5	8
1300	7	8	9	11	4	5	6	9	6	6	8	9	4	4	5	7
1400	6	7	9	11	4	4	5	8	5	6	7	9	3	4	5	7
1500	6	7	8	10	4	4	5	8	5	6	7	8	3	4	4	7
1600	6	6	8	10	4	4	5	7	5	5	6	8	3	3	4	6
1700	6	6	7	9	4	4	5	7	5	5	6	8	3	3	4	6
1800	5	6	7	9	3	4	4	7	5	5	6	7	3	3	4	6
1900	5	6	7	8	3	4	4	7	4	5	6	7	3	3	4	5
2000	5	5	6	8	3	3	4	6	4	4	5	7	3	3	4	5
2200	5	5	6	7	3	3	4	6	4	4	5	6	3	3	3	5
2400	4	5	6	7	3	3	4	5	4	4	5	6	3	3	3	5
2600	4	4	5	6	3	3	3	5	3	4	4	5	2	3	3	4
2800	4	4	5	6	3	3	3	5	3	4	4	5	2	2	3	4
3000	4	4	5	6	3	3	3	5	3	3	4	5	2	2	3	4

Deflection controls Bending controls Rolling shear controls

NOTE: Spans are given center-to-center of supports, assuming $\ell_s = 1-1/2$ in. for spans controlled by shear. If support width is greater than 1-1/2 in., the difference can be added to the spacing when rolling shear controls but bending and deflection maximum span must be verified not to control for the resulting spacing.

3) Interacción de cuarterones y trabillas

La separación (s) calculada anteriormente aparte de dar una representación gráfica de la posición de colocación del cuarterón también va a delimitar la carga tributaria que va a pasar de ese elemento hacia las trabillas. Posteriormente, se va a utilizar algunas fórmulas que ya se

han empleado en el diseño de muros con sus respectivos valores de corrección, los mismos que están establecidos desde la Tabla 15 a la Tabla 22 del presente documento.

a) *Chequeo por flexión*

Se necesita de un valor ajustado de diseño por flexión, por lo que se va a aplicar la siguiente ecuación:

$$F'b = F_b * C_D * C_M * C_t * C_L * C_F * C_{fu} * C_i * C_r$$

Donde:

F_b = Valor referencia de diseño por flexión (psi)

$F'b$ = Valor ajustado de diseño por flexión (psi)

C_D = Coeficiente de corrección por duración

C_M = Coeficiente de corrección por humedad

C_t = Coeficiente de corrección por temperatura

C_L = Coeficiente de estabilidad de elemento

C_F = Coeficiente de corrección por tamaño de elemento

C_{fu} = Coeficiente de corrección por planicidad

C_i = Coeficiente de corrección por inserción

C_r = Coeficiente por repetición de elementos estructurales

Conocidos los valores de corrección ya se puede aplicar la ecuación (7.3 b) teniendo en cuenta que el valor de S es una propiedad geométrica intrínseca de la madera que se encuentra delimitada en la Tabla 22.

$$\ell = 3.16 \sqrt{\frac{F'b * S}{w}} \quad (7.3 b)$$

Donde:

ℓ = Longitud máxima permitida del tramo (in)

$F'b$ = Valor ajustado de diseño por flexión (psi)

S = Módulo de sección (in^3)

w = Carga distribuida uniforme (lb/in)

Por otro lado, ya que en columnas la sección transversal es relativamente pequeña a comparación de un muro. Las velocidades o tasas de colocación del hormigón tienden a ser grandes por lo que, el comportamiento de la mezcla (por lo general) se va a regir por $C_{CP} = \gamma h$. Debido a que gráficamente es una carga triangular, se necesita conocer la carga en cada punto de análisis.

$$C_{CPmax} = \gamma h - \gamma h^*$$

Donde:

C_{CPmax} : Presión máxima ejercida por el hormigón fresco (lb/ft^2)

γ : Densidad del hormigón (lb/ft^3)

h : Altura del elemento de hormigón (ft)

h^* : Altura de interés (in o ft)

El valor de la carga del hormigón fresco (w) transmitida desde el tablero hacia los cuarterones y luego a las trabillas tiene una consideración especial, si el diseño del encofrado es para columnas. La separación (s) entre cuarterones también va a ser tomada como carga tributaria y a su vez da un parámetro para la separación de trabillas.

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

Donde:

s = Espaciamiento recomendado de separación entre cuarterones (in o ft)

C_{CPmax} = Presión máxima de diseño (lb/ft^2)

w = Carga distribuida uniforme (lb/in)

Por otro lado, ya que en columnas la sección transversal es relativamente pequeña a comparación de un muro. Las velocidades o tasas de colocación del hormigón tienden a ser

grandes por lo que el comportamiento de la mezcla (por lo general) se va a regir por $C_{CP} = wh$. Debido a que gráficamente es una carga triangular se necesita conocer la carga en cada punto de análisis.

b) Chequeo por deflexión

Para realizar el chequeo por deflexión se va a tomar en cuenta una limitación de: $\frac{1}{16}$ in.

$$E' = E * C_m * C_t * C_i$$

$$\ell = 1.735 * \sqrt[4]{\frac{E'I(in)}{w}} \quad (7.4c. 1)$$

Donde:

ℓ = Longitud máxima permitida del tramo (in)

Δ_{max} = Deflexión máxima permitida

w = Carga distribuida uniforme (lb/in)

E' = Módulo de elasticidad ajustado (psi)

E = Modulo de elasticidad valor referencia de diseño (psi)

I = Inercia (in^4)

c) Chequeo por cortante

Para el chequeo de cortante es importante tener en cuenta el valor ajustado de diseño por corte establecido en la Tabla 15 con sus valores de ajuste delimitados en la Tabla 16.

$$F'_V = F_V * C_D * C_M * C_t * C_i$$

$$\ell = \frac{F'_V * b * d}{0.9w} + 1.67d + 0.83\ell_b \quad (7.11 c)$$

Donde:

F'_V = Valor ajustado para diseño por cortante (psi)

F_V = Valor referencia para diseño por cortante (psi)

ℓ = Longitud máxima permitida del tramo (in)

w = Carga distribuida uniforme (lb/in)

ℓ_b = Longitud de contacto en los soportes (in)

b = Ancho de la sección transversal del larguero (in)

d = Altura de la sección transversal del larguero (in)

4) *Espaciamiento Final*

De las longitudes calculadas por flexión, cortante y deflexión se escoge el menor valor, ya que es el más restrictivo. Ese valor es para el primer tramo, por lo que se debe tomar en cuenta la longitud de los siguientes tramos en función de la presión y la altura en un punto en específico.

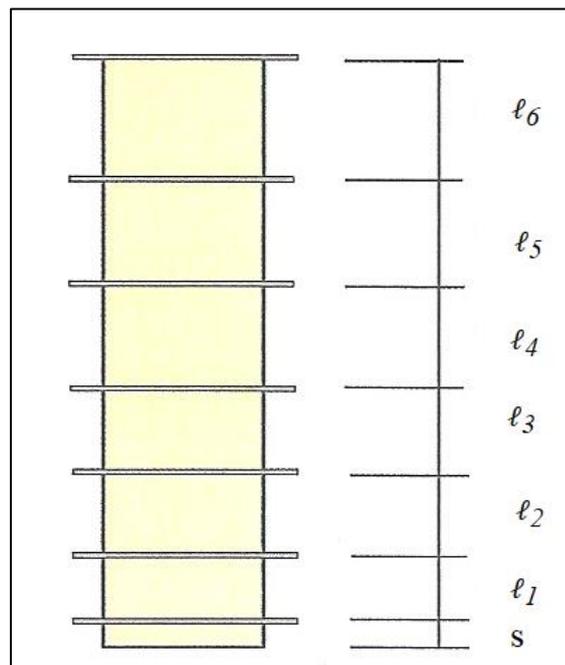


Figura No. 31 Separación de trabillas en columnas Fuente: (Johnston, 2014).

5) *Diseño del arriostramiento lateral o puntal*

El diseño del puntal se lo realiza de la misma manera que en el diseño generalizado del muro paso número 7. Se puede agregar que para un diseño de puntal sin carga de viento solo es necesario determinar la geometría y esbeltez de este.

2.2.4. Ejemplo de diseño de encofrado de columna.

A continuación, en base a la información analizada sobre diseño de muros y columnas se va a plantear un ejercicio para comprender las fórmulas, factores y elementos que componen un encofrado de columna.

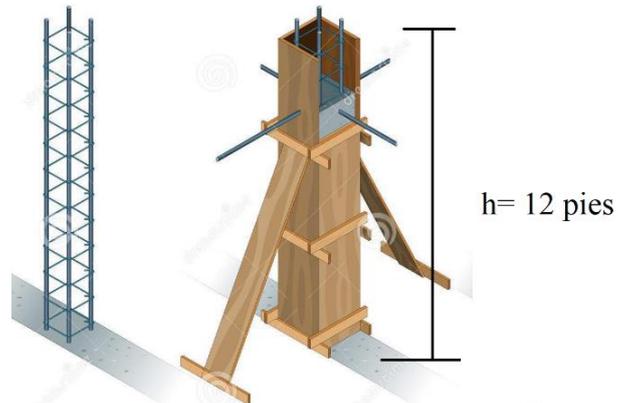


Figura No. 32 Columna ejemplo de altura 12 pies

1) Presión lateral de Diseño

Tabla 25 Presión máxima de diseño para una columna de 12 pies

Presión Máxima de Diseño		
$C_{CP\ max}$	1740	lb/ft ²
Altura del Elemento (h)	12	ft
Densidad del hormigón γ	145	lb/ft ³
Seccion Columna	20x20	in

2) Selección de Tablero

a) Espesor del tablero y espaciamiento de cuarterones

Tabla 26 Consideraciones para tableros y cuarterones

Espesor del tablero y espaciamiento de cuarterones		
Espesor Tablero	3/4"	in
Sección Cuarterón	2x4 (1.5x3.5)	in
Controlada	Cortante	
Considerar	2	in
Uso de Panel	Weak Direction of Use	
Espaciamiento inicial (s)	5	in
Espaciamiento máximo (s)	7	in
Espaciamiento asumido (s)	6	in

Tabla 27 Consideraciones de Cuartones y trabillas

Datos de Cuartones y Trabillas		
Dimensiones	4x2	Flat
Inercia (<i>I</i>)	0.98	in4
Módulo de Sección (<i>S</i>)	1.31	in3
Base (<i>b</i>)	3.5	in
Altura (<i>d</i>)	1.5	in
Área (<i>bd</i>)	5.25	in2
Longitud de Contacto (<i>lb</i>)	1.5	in

Nominal size, in., <i>bxd</i>	American Standard size, in., <i>bxd</i> , S4S, at 19% maximum moisture*	Area of section in. ² , <i>A = bd</i>		Moment of inertia, in. ⁴ , <i>I_x = bd³/12</i>		Section modulus, in. ³ , <i>S_x = bd²/6</i>		Board feet per linear foot of piece	Approximate weight, lb per linear ft, for use in form design†
		Rough	S4S	Rough	S4S	Rough	S4S		
4x1	3-1/2 x 3/4	3.17	2.62	0.20	0.12	0.46	0.33	0.33	0.6
6x1	5-1/2 x 3/4	4.92	4.12	0.31	0.19	0.72	0.52	0.50	1.0
8x1	7-1/4 x 3/4	6.45	5.44	0.41	0.25	0.94	0.68	0.67	1.3
10x1	9-1/4 x 3/4	8.20	6.94	0.52	0.32	1.20	0.87	0.83	1.7
12x1	11-1/4 x 3/4	9.95	8.44	0.63	0.39	1.45	1.05	1.00	2.0
4x1-1/4	3-1/2 x 1	4.08	3.50	0.43	0.29	0.76	0.58	0.42	0.9
6x1-1/4	5-1/2 x 1	6.33	5.50	0.68	0.46	1.19	0.92	0.63	1.3
8x1-1/4	7-1/4 x 1	8.30	7.25	0.87	0.60	1.56	1.21	0.83	1.8
10x1-1/4	9-1/4 x 1	10.55	9.25	1.11	0.77	1.98	1.54	1.04	2.3
12x1-1/4	11-1/4 x 1	12.80	11.25	1.35	0.94	2.40	1.87	1.25	2.7
4x1-1/2	3-1/2 x 1-1/4	4.98	4.37	0.78	0.57	1.14	0.91	0.50	1.0
6x1-1/2	5-1/2 x 1-1/4	7.73	6.87	1.22	0.89	1.77	1.43	0.75	1.7
8x1-1/2	7-1/4 x 1-1/4	10.14	9.06	1.60	1.18	2.32	1.89	1.00	2.2
10x1-1/2	9-1/4 x 1-1/4	12.89	11.56	2.03	1.50	2.95	2.41	1.25	2.8
12x1-1/2	11-1/4 x 1-1/4	15.64	14.06	2.46	1.83	3.58	2.93	1.50	3.4
4x2	3-1/2 x 1-1/2	5.89	5.25	1.30	0.98	1.60	1.31	0.67	1.3
6x2	5-1/2 x 1-1/2	9.14	8.25	2.01	1.55	2.48	2.06	1.00	2.0

Figura No. 33 Valores cuartones y trabillas escogidas Fuente: (Johnston, 2014).

Table 9.3: Safe spacing, in inches, of supports for B-B Plyform three or more spans

Total pressure, lb/ft ²	Stresses and spans for short duration loads (C _o = 1.25)							
	F _v ' = 1930 psi F _b ' = 72 psi E' = 1,500,000 psi							
	Face grain parallel to span				Face grain perpendicular to span			
	Thickness, in.				Thickness, in.			
	1/2	5/8	3/4	1	1/2	5/8	3/4	1
75	20	23	26	31	15	17	21	28
100	19	21	24	29	14	16	20	26
125	18	20	23	27	13	15	19	24
150	17	19	22	26	12	14	18	23
175	16	19	21	25	11	13	17	22
200	16	18	20	24	11	13	17	22
300	14	16	18	22	10	11	15	20
400	12	14	16	20	9	10	13	18
500	11	13	15	18	8	9	12	17
600	10	12	13	17	7	8	11	16
700	9	11	12	16	7	8	10	14
800	9	10	11	15	6	7	8	14
900	8	10	11	14	6	6	8	12
1000	8	9	10	13	5	6	7	11
1100	8	9	10	12	5	5	7	10
1200	7	8	9	12	4	5	6	10
1300	7	8	9	11	4	5	6	9
1400	6	7	9	11	4	4	5	8
1500	6	7	8	10	4	4	5	8
1600	6	6	8	10	4	4	5	7
1700	6	6	7	9	4	4	5	7
1800	5	6	7	9	3	4	4	7
1900	5	6	7	8	3	4	4	7
2000	5	5	6	8	3	3	4	6

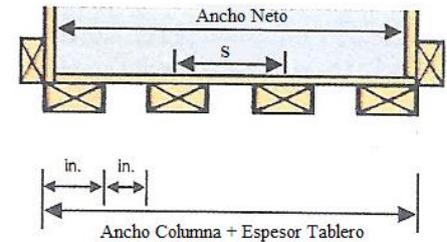


Figura No. 34 Valores escogidos de espaciamiento para cuarterones Fuente: (Johnston, 2014).

3) *Interacción de cuarterones y trabillas*

a) *Chequeo por flexión, deflexión y cortante*

$$F'b = F_b * C_D * C_M * C_t * C_L * C_F * C_{fu} * C_i * C_r$$

$$E' = E * C_M * C_t * C_i$$

$$F'_V = F_V * C_D * C_M * C_t * C_i$$

Table 4.3: Representative reference design values, psi, for visually graded sawn dimension lumber at 19% moisture

Values from requirements of AWC NDS-2012 Rev. 2013; see AWC NDS for values of sizes not listed. Tabulated values must be multiplied by applicable adjustment factors (Table 4.4).

Species, grade, and nominal size	Bending, F _b	Shear to grain, F _v	Compression ⊥ to grain, F _{c⊥}	Compression to grain, F _c	Tension to grain, F _t	Modulus of elasticity E	E _{min}
SOUTHERN PINE 2 to 4 in. thick							
No. 2, 2 to 4 in. wide	1100	175	565	1450	675	1,400,000	510,000
No. 2, 5 to 6 in. wide	1000	175	565	1400	600	1,400,000	510,000
No. 2, 8 in. wide	925	175	565	1350	550	1,400,000	510,000
Construction, 4 in. wide	875	175	565	1600	500	1,400,000	510,000

Teniendo en cuenta el tiempo de la obra y la cantidad de réusos del encofrado se va a asumir un coeficiente de duración de 1.15.

Table 4.5: Load duration factors for sawn lumber (ASD only)

Maximum cumulative load duration	Example loads	C_D
>10 years (permanent)	Dead load	0.9
10 years	Occupancy live load	1.0
2 months	Snow load	1.15
7 days	Construction load	1.25
10 minutes	Wind or earthquake	1.6
Impact	Impact	2.0

Table 4.6: Wet service factors, C_M , for sawn lumber

F_b	F_t	F_v	F_{cL}	F_c	E, E_{min}
0.85*	1.0	0.97	0.67	0.8†	0.9

*When $(F_b)(C_D) \leq 1150$ psi, $C_M = 1.0$.

†When $(F_c)(C_D) \leq 750$ psi, $C_M = 1.0$.

En el caso del coeficiente por repetición de elementos estructurales C_r , siempre es igual a 1.15 si se cumple una de las siguientes hipótesis: 1) Miembros en contacto o espaciados no más de 24 pulgadas. 2) Al menos son 3 elementos. 3) Si están unidos por un tablero o algún elemento que sea apto para soportar la carga de diseño.

Table 4.8: Size and flat use adjustment factors for dimension lumber

Nominal width of lumber	Size factor, C_F for No. 1 and No. 2 grades*			Flat use factor, C_{fu} for all grades	
	F_b		F_c	F_b	
	2 and 3 in. nominal thickness	4 in. nominal thickness		2 and 3 in. nominal thickness	4 in. nominal thickness
2 and 3 in.	1.5	1.5	1.15	1.00	—
4 in.	1.5	1.5	1.15	1.10	1.00
5 in.	1.4	1.4	1.10	1.10	1.05
6 in.	1.3	1.3	1.10	1.15	1.05
8 in.	1.2	1.3	1.05	1.15	1.05
10 in.	1.1	1.2	1.00	1.20	1.10
12 in.	1.0	1.1	1.00	1.20	1.10
14 in. and wider	0.9	1.0	0.90	1.20	1.10

* $C_F = 1.0$ for Construction and Standard grades 2, 3, and 4 in. widths.

Tabla 28 Factor de diseño para esfuerzo admisible por flexión

Valor Ajustado de Diseño por Flexión		
F_b	1100	psi
C_D	1.15	
C_M	0.85	
C_t	1	
C_L	1	
C_F	1	
C_{fu}	1.1	
C_i	1	
C_r	1.15	
F'_b	1360	psi

Tabla 29 Factor de diseño para esfuerzo admisible por cortante

Valor Ajustado de Diseño por Cortante		
F_v	175	psi
C_D	1.15	
C_M	0.97	
C_t	1	
C_i	1	
F'_v	195	psi

Tabla 30 Corrección para el módulo de elasticidad

Valor del Módulo de Elasticidad Ajustado		
E	1400000	psi
C_M	0.9	
C_t	1	
C_i	1	
E'	1260000	psi

$$\ell = 3.16 \sqrt{\frac{F'_b * S}{w}} \quad (7.3 b)$$

$$C_{CPmax} = \gamma h - \gamma h^*$$

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

$$\ell = 1.735 * \sqrt[4]{\frac{E'I(in)}{w}} \quad (7.4c.1)$$

$$\ell = \frac{F'_v * b * d}{0.9w} + 1.67d + 0.83\ell_b \quad (7.11 c)$$

Tabla 31 Cálculo para trabilla #1

Base de la Columna (1era Trabilla)		
Espaciamiento asumido (s)	6	in
Altura del Elemento (h)	144	in
Presion a una altura (h-s)	1668	lb/ft ²
Carga distribuida uniforme (w)	69.5	(lb/in)
Chequeo por Flexión		
Longitud permitida de tramo ℓ	16.0	in
Chequeo por Deflexión		
Longitud permitida de tramo ℓ	20.0	in
Chequeo por Cortante		
Longitud permitida de tramo ℓ	20.1	in
Longitud de Tramo Escogida (in)		
15.0		
Ubicacion de la trabilla desde la base de la columna (in)		
21.0		

Tabla 32 Cálculo para trabilla #2

Base de la Columna (2da Trabilla)		
Espaciamiento asumido (s)	21.0	in
Altura del Elemento (h)	144	in
Presion a una altura (h-s)	1486	lb/ft ²
Carga distribuida uniforme (w)	61.9	(lb/in)
Chequeo por Flexión		
Longitud permitida de tramo ℓ	17.0	in
Chequeo por Deflexión		
Longitud permitida de tramo ℓ	20.6	in
Chequeo por Cortante		
Longitud permitida de tramo ℓ	22.1	in
Longitud de Tramo Escogida (in)		
16.0		
Ubicacion de la trabilla desde la base de la columna (in)		
37.0		

Tabla 33 Cálculo para trabilla #3

Base de la Columna (3ra Trabilla)		
Espaciamiento asumido (s)	37.0	in
Altura del Elemento (h)	144	in
Presion a una altura (h-s)	1293	lb/ft^2
Carga distribuida uniforme (w)	53.9	(lb/in)
Chequeo por Flexión		
Longitud permitida de tramo ℓ	18.2	in
Chequeo por Deflexión		
Longitud permitida de tramo ℓ	21.3	in
Chequeo por Cortante		
Longitud permitida de tramo ℓ	24.9	in
Longitud de Tramo Escogida (in)		
17.0		
Ubicacion de la trabilla desde la base de la columna (in)		
54.0		

Tabla 34 Cálculo para trabilla #4

Base de la Columna (4ta Trabilla)		
Espaciamiento asumido (s)	54.0	in
Altura del Elemento (h)	144	in
Presion a una altura (h-s)	1088	lb/ft^2
Carga distribuida uniforme (w)	45.3	(lb/in)
Chequeo por Flexión		
Longitud permitida de tramo ℓ	19.8	in
Chequeo por Deflexión		
Longitud permitida de tramo ℓ	22.3	in
Chequeo por Cortante		
Longitud permitida de tramo ℓ	28.9	in
Longitud de Tramo Escogida (in)		
19.0		
Ubicacion de la trabilla desde la base de la columna (in)		
73.0		

Tabla 35 Cálculo para trabilla #5

Base de la Columna (5ta Trabilla)		
Espaciamiento asumido (s)	73.0	in
Altura del Elemento (h)	144	in
Presion a una altura (h-s)	858	lb/ft^2
Carga distribuida uniforme (w)	35.7	(lb/in)
Chequeo por Flexión		
Longitud permitida de tramo ℓ	22.3	in
Chequeo por Deflexión		
Longitud permitida de tramo ℓ	23.7	in
Chequeo por Cortante		
Longitud permitida de tramo ℓ	35.6	in
Longitud de Tramo Escogida (in)		
21.0		
Ubicacion de la trabilla desde la base de la columna (in)		
94.0		

Tabla 36 Cálculo para trabilla #6

Base de la Columna (6ta Trabilla)		
Espaciamiento asumido (s)	94.0	in
Altura del Elemento (h)	144	in
Presion a una altura (h-s)	604	lb/ft^2
Carga distribuida uniforme (w)	25.2	(lb/in)
Chequeo por Flexión		
Longitud permitida de tramo ℓ	26.6	in
Chequeo por Deflexión		
Longitud permitida de tramo ℓ	25.8	in
Chequeo por Cortante		
Longitud permitida de tramo ℓ	49.0	in
Longitud de Tramo Escogida (in)		
26.0		
Ubicacion de la trabilla desde la base de la columna (in)		
120.0		

Tabla 37 Cálculo para trabilla #7

Base de la Columna (7ma Trabilla)		
Espaciamiento asumido (s)	120.0	in
Altura del Elemento (h)	144	in
Presion a una altura (h-s)	290	lb/ft^2
Carga distribuida uniforme (w)	12.1	(lb/in)
Chequeo por Flexión		
Longitud permitida de tramo ℓ	38.4	in
Chequeo por Deflexión		
Longitud permitida de tramo ℓ	31.0	in
Chequeo por Cortante		
Longitud permitida de tramo ℓ	98.0	in
Longitud de Tramo Escogida (in)		
18.0		
Ubicacion de la trabilla desde la base de la columna (in)		
138.0		

Tabla 38 Cálculo para trabilla #8

Base de la Columna (8va Trabilla)		
Espaciamiento asumido (s)	138.0	in
Altura del Elemento (h)	144	in
Presion a una altura (h-s)	73	lb/ft^2
Carga distribuida uniforme (w)	3.0	(lb/in)
Chequeo por Flexión		
Longitud permitida de tramo ℓ	76.7	in
Chequeo por Deflexión		
Longitud permitida de tramo ℓ	43.9	in
Chequeo por Cortante		
Longitud permitida de tramo ℓ	380.7	in
Longitud de Tramo Escogida (in)		
6.0		
Ubicacion de la trabilla desde la base de la columna (in)		
144.0		

4) Espaciamiento Final

En teoría este primer espaciamiento de la Tabla 39 ya cumple con las longitudes de tramo permitidas. Pero por temas de practicidad en el proceso constructivo se puede modificar esos espaciamientos siempre y cuando se respete la longitud máxima entre trabillas, como se propone en la Tabla 40.

Tabla 39 Primer espaciamiento de trabillas para ejemplo de columna

Espaciamiento de Trabillas			
# de Trabilla	Espaciamiento entre trabillas	Distancia desde la base de la columna	Presion lateral (lb/ft ²)
Altura Superior de la Columna			0
-	6	-	-
8	-	138.0	3
-	18.0	-	-
7	-	120.0	290
-	26.0	-	-
6	-	94.0	604
-	21.0	-	-
5	-	73.0	858
-	19.0	-	-
4	-	54.0	1088
-	17.0	-	-
3	-	37.0	1293
-	16.0	-	-
2	-	21.0	1486
-	15.0	-	-
1	-	6.0	1668
-	6.0	-	-
Altura Inferior de la Columna			1740

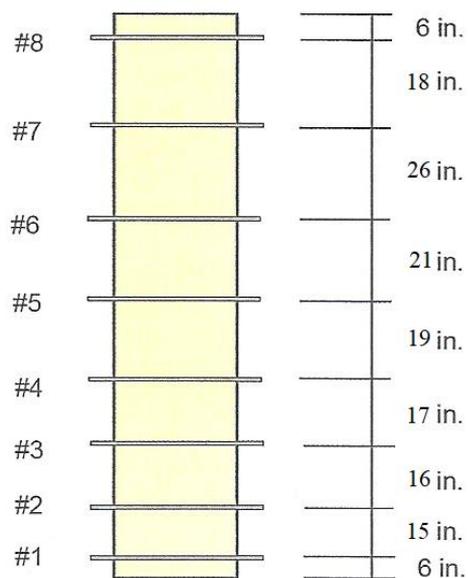
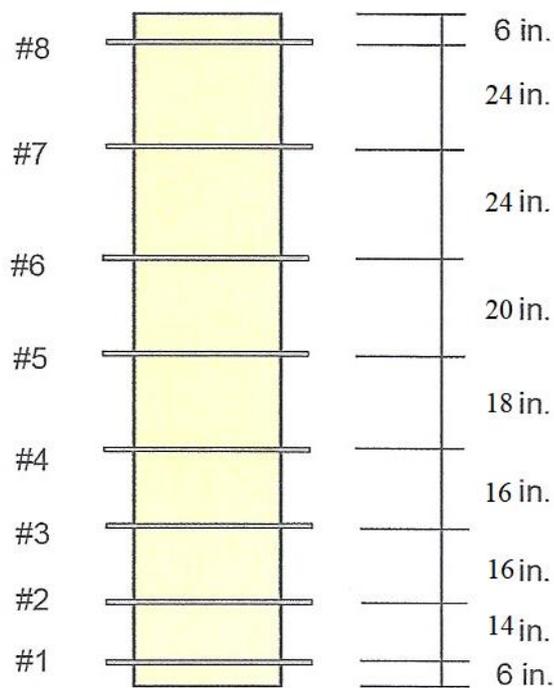


Figura No. 35 Primer espaciamiento de trabillas para ejemplo de columna

Tabla 40 Segundo espaciamiento de trabillas para ejemplo de columna

Espaciamiento Final de Trabillas		
# de Trabilla	Espaciamiento entre trabillas	Distancia desde la base de la columna
Altura Superior de la Columna		
-	6	-
8	-	138.0
-	24.0	-
7	-	114.0
-	24.0	-
6	-	90.0
-	20.0	-
5	-	70.0
-	18.0	-
4	-	52.0
-	16.0	-
3	-	36.0
-	16.0	-
2	-	20.0
-	14.0	-
1	-	6.0
	6.0	-
Altura Inferior de la Columna		

**Figura No. 36** Segundo espaciamiento de trabillas para ejemplo de columna

2.3. Adaptacion del método ACI Manual Formwork for Concrete 8th Edition para el caso ecuatoriano

En el Anexo B se propone el desarrollo de un borrador o proyecto de código. Este documento anexo se va a componer de información recabada dentro de la NEC-SE-MD (2015) especialmente en la parte de las maderas y sus tipos. Por otro lado, se va a usar como referencia el ACI Manual Formwork for Concrete 8th Edition en el uso de fórmulas que corroboren el correcto diseño de encofrados y cálculo de presiones máximas.

2.4. Artículo/ Boletín técnico para revista ecuatoriana

En el Anexo C se expone un artículo en el cual se sintetiza un método para poder calcular la presión que ejerce el hormigón sobre encofrados. El método para poder obtener esa presión corresponde al procedimiento de ACI Manual Formwork for Concrete 8th Edition con unidades adaptadas al sistema internacional (SI).

3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1. Conclusiones

El presente proyecto integrador culminó y cumplió con los objetivos propuestos, en el cual se analizó y elaboró una revisión literaria de métodos para la estimación de la presión del hormigón fresco sobre encofrados. Paralelamente, se propuso una metodología de cálculo y diseño de encofrados para el caso ecuatoriano y un artículo resumido en el que se puede observar el desarrollo de los temas previamente establecidos. Adicionalmente, se puede concluir que:

Ecuador carece de una metodología para la estimación de la presión del hormigón fresco, así como el cálculo y diseño de encofrados. Se evidenció que Estados Unidos y Alemania son los países que más investigación han dedicado a este tema en particular. Generalmente, en Sudamérica no hay guías específicas por lo que no tienen carácter obligatorio, consecuentemente el diseño y construcción de encofrados quedan a discreción del constructor.

El comportamiento del hormigón al ser un material heterogéneo sigue el principio de ley hidrostática similar al de cualquier líquido con la diferencia que, la presión se puede llegar a bloquear en un punto específico. En tal caso el comportamiento pasa a delimitarse como una envolvente de presión lateral bilineal.

El principio de ley hidrostática funciona de manera correcta para elementos estructurales (muros y columnas) no mayores a cinco metros de altura. En el caso de las columnas, debido a su sección transversal las tasas de colocación de hormigón tienden a ser elevadas, por lo que podría no haber un bloqueo de presión en su distribución de cargas hidrostáticas.

El método de esfuerzos admisibles se muestra como un método confiable que dota al profesional en ejercicio una guía de cálculo precisa y segura. Se obtuvo de manera satisfactoria

una metodología adaptada al caso ecuatoriano de cálculo de presiones y diseño de encofrados para muros y columnas en base a NEC (2015) y ACI SP-4 (14).

3.2. Recomendaciones

Se recomienda incorporar el proyecto de código correspondiente al Anexo B del presente documento al código NEC (2015), para que pueda constar como un anexo al capítulo de hormigón armado NEC-SE-HM o en el capítulo de estructuras de madera NEC-SE-MD.

Es importante determinar los coeficientes químicos para cementos que son usados con regularidad en Ecuador. Se recomienda investigar el comportamiento de los hormigones compuestos (IP) que sigan la norma ASTM C595 y hormigones por desempeño (GU, HE) conformes a la norma ASTM C1157.

Es recomendable actualizar las maderas usadas en Ecuador provistas por el Manual Junac de Maderas del Grupo Andino, debido a que muchas especies en los últimos años se han declarado en peligro de extinción y está prohibida su comercialización.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACI Committee 347. (2014). *Guide to Formwork for Concrete*. ACI 347R-14.
- Adam, M. (1975). *Aspectos del Hormigón: técnicas, realizaciones, patología*. (E. t. asociados, Ed.) Recuperado el 14 de Junio de 2020, de https://books.google.com.ec/books?id=KhX3CaaskaYC&pg=PA29&lpg=PA29&dq=empuje+del+hormigon+fresco&source=bl&ots=Pn8JcvNCw7&sig=ACfU3U0B8MwMtBjW2Of--ssO7IyIKxHIHw&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjEhpHUX__pAhUeRDABHQPoDhYQ6AEwC3oECAkQAQ#v=onepage&q=empuje%20del%20
- CAMICON. (8 de Enero de 2017). *El 60% de las edificaciones son informales en el Distrito Metropolitano de Quito*. Obtenido de El Comercio: <https://www.elcomercio.com/actualidad/municipio-quito-regulacion-viviendas-informales.html>
- CIRIA Report 108. (1985). *Concrete Pressure on Formwork*. Construction Industry Research and Information Association.
- DIN 18218. (2010). *Frischbetondruck auf Lotrechte Schalungen (Pressure of Fresh Concrete on Vertical Formwork)*. Berlín: Deutsches Institut für Normung.
- EN 1992-3. (2006). *Eurocode 2: Design of concrete structures*.
- Gallego, E., Fuentes, J., Ramírez, A., Navamuel, B., & Ayuga, F. (2006). *Determinación de las Presiones Ejercidas por el Hormigón Fresco en Encofrados de Gran Altura*.
- Gardner, N. (1980). *Pressure of Concrete Against Formwork* (Vol. 77). ACI Journal Proceedings.
- Gardner, N. (1982). *The Effect of Superplasticizer and Flyash on Formwork Pressures*. Skokie: Forming Economical Concrete Buildings.
- Giancoli, D. (2008). *Física para Ciencias e Ingeniería* (Cuarta ed.). Pearson Education.

- Hurd, M. (2005). *Formwork for Concrete* (7th ed.). American Concrete Institute.
- Johnston, D. (2014). *An ACI Manual Formwork for Concrete, ACI SP-4(14)* (8th ed.). American Concrete Institute.
- Neville, A. (2013). *Properties of Concrete* (4th ed.).
- Neville, A., & Brooks, J. (2010). *Concrete Technology* (Second ed.). Harlow, England: Pearson Education Limited.
- Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2015). *Estructuras de hormigón armado*.
- Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2015). *Estructuras de Madera*.
- PADT-REFORT/JUNAC. (1984). *Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino* (4ta Edición ed.). Lima, Perú.
- Palanca, M. J. (1982). *Presión del Hormigón Fresco*. España: Monografía 371 Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción.
- Pallett, P. (2009). *Concrete Groups for Formwork Pressure Determination*.
- Portugal Barriga, P. (2007). *Tecnología del Concreto de Alto Desempeño* (Primera ed.).
- Quiroz, M., & Salamanca, L. (Diciembre de 2007). *Apoyo Didáctico para la Enseñanza y Aprendizaje sobre "Tecnología del Hormigón"*. Recuperado el 11 de Julio de 2020, de https://issuu.com/fank2/docs/libro_b__sico_sobre_tecnolog__a_del
- Sánchez, D. (2001). *Tecnología del Concreto y del Mortero* (5ta ed.). Bogotá.
- Tapia, G., & Recalde, J. (2018). *Lateral pressure of fresh cement concrete on formwork using composite cement Type IP*. Cumbaya.
- UNE EN 12350-5. (2006). *Ensayos de Hormigón Fresco Parte 5: Ensayo de la mesa de sacudidas*.
- UNE EN 197-1. (2000). *Cemento, Parte 1: Composición, Especificaciones y Criterios de conformidad de los cementos comunes*.
- USFQ. (2018). *Capítulo 1 Cemento Materia: Laboratorio de Hormigón*. Cumbaya.

Yu, D. (2000). *Modeling and Predicting Concrete Lateral Pressure on Formwork*. Raleigh: Institute of Construction, PHD Thesis.

ANEXO A: SIMPLIFICACIÓN DE FÓRMULAS DE ESTIMACIÓN DE PRESIÓN

Table 5.6: Base column form pressure for concrete other than SCC

Apply weight and chemistry coefficients to obtain design pressure. Internal vibration depth ≤ 4 ft and slump ≤ 7 in.

Rate of placement <i>R</i> , ft/h	[150 + 9000 <i>R</i> / <i>T</i>] for temperature indicated					
	90°F	80°F	70°F	60°F	50°F	40°F
1	250	263	279	300	330	375
2	350	375	407	450	510	600
3	450	488	536	600	690	825
4	550	600	664	750	870	1050
5	650	713	793	900	1050	1275
6	750	825	921	1050	1230	1500
7	850	938	1050	1200	1410	1725
8	950	1050	1179	1350	1590	1950
9	1050	1163	1307	1500	1770	2175
10	1150	1275	1436	1650	1950	2400
11	1250	1388	1564	1800	2130	2625
12	1350	1500	1693	1950	2310	2850
13	1450	1613	1821	2100	2490	3075
15	1550	1725	1950	2250	2670	3300
16	1750	1950	2207	2550	3030	3750
18	1950	2175	2464	2850	3390	4200
20	2150	2400	2721	3150	3750	4650
22	2350	2625	2979	3450	4110	5100
24	2550	2850	3236	3750	4470	5550
26	2750	3075	3493	4050	4830	6000
28	2950	3300	3750	4350	5190	6450

NOTES: Above bold line, depending on coefficient values, the minimum of $600C_w$ lb/ft² may govern.
Do not use pressure in excess of *wh*.

Table 5.7: Base wall form pressure for concrete other than SCC

Apply weight and chemistry coefficients to obtain design pressure. Internal vibration depth ≤ 4 ft and slump ≤ 7 in.

Rate of placement, <i>R</i> , ft/h	[150 + 43,400/ <i>T</i> + 2800 <i>R</i> / <i>T</i>] applies where placement height is more than 14 ft. Where placement height is 14 ft or less [150 + 9000 <i>R</i> / <i>T</i>] shown in the boxed areas may be applied for <i>R</i> less than 7 ft per hr.											
	90°F	80°F	70°F	60°F	50°F	40°F						
1	663	250	728	263	810	279	920	300	1074	330	1305	375
2	694	350	763	375	850	407	967	450	1130	510	1375	600
3	726	450	798	488	890	536	1013	600	1186	690	1445	825
4	757	550	833	600	930	664	1060	750	1242	870	1515	1050
5	788	650	868	713	970	793	1107	900	1298	1050	1585	1275
6	819	750	903	825	1010	921	1153	1050	1354	1230	1655	1500
7	850	938	1050	1200	1410	1725						
8	881	973	1090	1247	1466	1795						
9	912	1008	1130	1293	1522	1865						
10	943	1043	1170	1340	1578	1935						
11	974	1078	1210	1387	1634	2005						
12	1006	1113	1250	1433	1690	2075						
13	1037	1148	1290	1480	1746	2145						
14	1068	1183	1330	1527	1802	2215						
15	1099	1218	1370	1573	1858	2285						

NOTES: Above bold line, depending on coefficient values, the minimum of $600C_w$ lb/ft² may govern.
Do not use pressure in excess of *wh*. For *R* > 15 ft/h, use *wh*.

**ANEXO B: DESARROLLO DE UN PROYECTO DE CÓDIGO EN BASE A NEC-SE-
MD (2015) Y ACI – SP4(14). CÁLCULO DE PRESIONES DEL HORMIGÓN
FRESCO SOBRE ENCOFRADOS Y DISEÑO DE ENCOFRADOS PARA MUROS Y
COLUMNAS**

Tabla de Contenido

1.	Cálculo de la presión lateral del hormigón	94
1.1.	Fórmulas	94
1.2.	Coeficiente Químico C_c	96
1.3.	Coeficiente de densidad del hormigón C_w	96
2.	Definiciones y referencias.....	97
2.1.	Definiciones	97
2.2.	Referencias	97
3.	Maderas del Ecuador.....	97
3.1.	Clasificación de maderas en Ecuador.....	97
3.2.	Clases de uso de la madera.....	99
3.3.	Calidad de la madera	100
3.4.	Consideraciones generales para el diseño de encofrados.....	100
3.5.	Condiciones de uso de las maderas para la conformación de encofrados.....	101
4.	Diseño por esfuerzos admisibles.....	101
4.1.	Valores de diseño de esfuerzos admisibles	101
4.2.	Módulos de elasticidad.....	102
4.3.	Factores de reducción/corrección de resistencia	102
4.3.1.	Factor de corrección por duración de carga C_D	103
4.3.2.	Factor de corrección por condición de humedad C_M	103
4.3.3.	Factor de corrección por temperatura C_t	104

4.3.4.	Factor de corrección por elemento repetitivos C_r y Factor de corrección por estabilidad de viga C_L	104
4.3.5.	Factor de corrección por tamaño de elemento C_F y Factor de corrección por uso plano de elemento C_{fu}	105
4.3.6.	Factor de corrección por incisión C_i	105
4.3.7.	Factor de corrección por longitud de contacto C_b	106
4.4.	Valores de diseño para tableros.....	106
5.	Diseño de muros	107
5.1.	Elementos del encofrado de un muro.....	107
5.2.	Secuencia generalizada para el diseño de encofrado para un muro	108
5.3.	Procedimiento de diseño del encofrado de un muro	108
6.	Diseño de columnas	124
6.1.	Elementos de encofrado de una columna.....	124
6.2.	Secuencia generalizada para el diseño de encofrado de una columna	125
6.3.	Procedimiento de diseño del encofrado de una columna	126

Índice de Tablas

Tabla No. 1 Aplicabilidad de fórmulas para obtener la presión máxima de diseño Fuente: ACI 347 R-14.....	95
Tabla No. 2 Valores para coeficiente químico del hormigón Fuente: ACI 347 R-14	96
Tabla No. 3 Coeficientes de densidad Fuente: ACI 347 R-14.....	96
Tabla No. 4 Clasificación de maderas ecuatorianas Fuente: (NEC, 2015).....	98
Tabla No. 5 Maderas de uso común en el Ecuador y su densidad básica.....	98
Tabla No. 6 Conformación de tableros en Ecuador	99
Tabla No. 7 Valores de esfuerzos admisibles en mega pascales Fuente: (NEC, 2015).....	101
Tabla No. 8 Valores de esfuerzos admisibles en (kg/cm ²)	102
Tabla No. 9 Valores para módulos de elasticidad en MPa Fuente: (NEC, 2015).....	102
Tabla No. 10 Valores para módulos de elasticidad en (kg/cm ²).....	102
Tabla No. 11 Aplicabilidad de factores de corrección Fuente: (Johnston, 2014).....	103
Tabla No. 12 Factor de reducción por duración acumulada de carga Fuente: (Johnston, 2014).	103
Tabla No. 13 Factor de reducción por condición de humedad de la madera Fuente: (Johnston, 2014).	104
Tabla No. 14 Factor de reducción por temperatura ambiental Fuente: (Johnston, 2014).....	104
Tabla No. 15 Corrección por estabilidad de viga y por cantidad de miembros repetitivos Fuente: (Johnston, 2014).....	104
Tabla No. 16 Coeficientes de reducción por tamaño de elemento y uso plano Fuente: (Johnston, 2014).....	105
Tabla No. 17 Factor de corrección por incisión Fuente: (Johnston, 2014).....	105
Tabla No. 18 Longitud de contacto y coeficiente de corrección Fuente: (Johnston, 2014). .	106
Tabla No. 19 Valores de diseño y corrección para tableros Clase B Fuente: (Johnston, 2014).	106
Tabla No. 20 Propiedades de sección efectiva para tableros tipo B Fuente: (Johnston, 2014).	107
Tabla No. 21 Espaciamientos para cuarterones de columna.....	126

Índice de Figuras

Figura No: 1 Comportamiento del hormigón en un encofrado Fuente: ACI 347 R-14.....	94
Figura No: 2 Elementos de encofrado de muro	107
Figura No: 3 Uso fuerte y débil de la madera según la ubicación de los apoyos Fuente: (Johnston, 2014).....	109
Figura No: 4 Ubicación y espaciamiento de montantes en el tablero Fuente: (Johnston, 2014).	111
Figura No: 5 Centroides para obtener momento de inercia y módulo de sección Fuente: (Johnston, 2014).....	113
Figura No: 6 Esquema general y longitud de contacto Fuente: (Johnston, 2014).	114
Figura No: 7 Distribución de largueros en altura del muro Fuente: (Johnston, 2014).	115
Figura No: 8 Contacto entre la placa del pasador y los largueros Fuente: (Johnston, 2014).	118
Figura No: 9 Área de contacto entre largueros y montantes Fuente: (Johnston, 2014).....	119
Figura No: 10 Geometría del puntal Fuente: (Johnston, 2014).	121
Figura No: 11 Longitud efectiva Fuente: (Johnston, 2014).....	123
Figura No: 12 Esquema de colocación de puntal Fuente: (Johnston, 2014).....	124
Figura No: 13 Elemento del encofrado de una columna Fuente: (Johnston, 2014).....	125
Figura No: 14 Interacción del tablero y cuartones.....	127
Figura No: 15 Distribución de trabillas en altura de la columna Fuente: (Johnston, 2014). .	130

1. Cálculo de la presión lateral del hormigón

En base al documento ACI 347 R-14 “Guía de Encofrados para Hormigón” homónima al ACI-SP4(14), se presenta las fórmulas pertinentes para poder estimar la presión que ejerce el hormigón en estado fresco sobre un encofrado. Se sigue un principio de ley hidrostática, pero la presión se puede bloquear o mantener constante en un punto hasta el pie del encofrado. Los factores influyentes son:

- Asentamiento del hormigón
- Tasa o velocidad de colocación
- Tipo de elemento a fundir
- Profundidad de Vibrado
- Densidad del hormigón

En la Figura No: 1 se puede visualizar el comportamiento del hormigón sobre un encofrado, también se puede identificar la altura de bloqueo de presión.

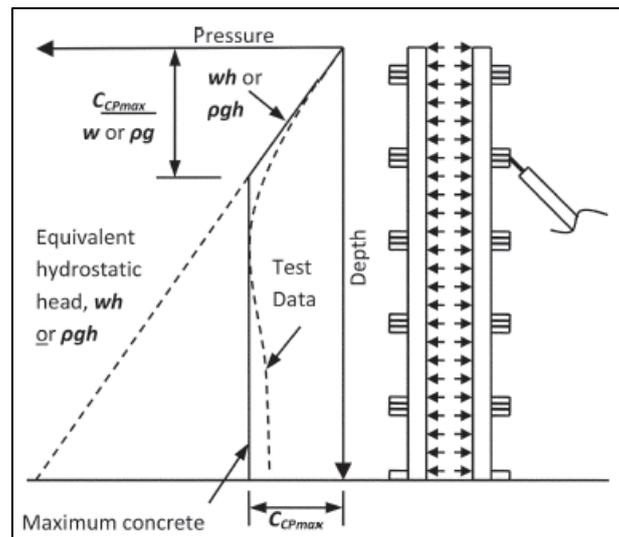


Figura No: 1 Comportamiento del hormigón en un encofrado Fuente: ACI 347 R-14

1.1. Fórmulas

Las fórmulas por utilizar se muestran a continuación. A pesar de que el resultado, es decir, la presión máxima del hormigón fresco está en unidades de (kPa) se recomienda transformar ese valor a $\left(\frac{Kg}{cm^2}\right)$ para que en las fórmulas de diseño de muros y columnas sea de más fácil aplicación.

98.06	1
kPa	kg/cm ²

$$C_{CP} = \rho \cdot g \cdot h \quad Ec (1)$$

$$C_{CP \max} = C_c C_w \left[7.2 + \frac{785R}{T + 17.8} \right] \quad Ec (2)$$

$$C_{CP \max} = C_c C_w \left[7.2 + \frac{1156}{T + 17.8} + \frac{244R}{T + 17.8} \right] \quad Ec (3)$$

Donde:

$C_{CP \max}$ = Presión máxima ejercida por el hormigón fresco (kPa)

R = Tasa de colocación del hormigón (m/h)

ρ = Densidad del hormigón (kg/m³)

g = Gravedad (m/s²)

h = Altura del elemento de hormigón (m)

T = Temperatura de colocación (°C)

C_c = Coeficiente químico

C_w = Coeficiente del peso específico

La aplicabilidad de cada una de las ecuaciones mostradas se determina por medio de la Tabla No. 1, en la que se puede analizar cualquier tipo de elemento estructural.

Tabla No. 1 Aplicabilidad de fórmulas para obtener la presión máxima de diseño
Fuente: ACI 347 R-14

Asentamiento	Profundidad de Vibración Interna	Elemento	Tasa de Colocación	Ecuación de presión
> que 175 mm	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	<i>Ec (1)</i>
≤ a 175 mm	> que 1.20 metros	Cualquiera	Cualquiera	<i>Ec (1)</i>
≤ a 175 mm	≤ a 1.20 metros	Columna	Cualquiera	<i>Ec (2)</i>
		Muro ≤ 4.20 metros de altura	< que 2.1 m/h	<i>Ec (2)</i>
		Muro > 4.20 metros de altura	< que 2.1 m/h	<i>Ec (3)</i>
		Muro	2.1 m/h a 4.5 m/h	<i>Ec (3)</i>
			> que 4.5 m/h	<i>Ec (1)</i>

1.2. Coeficiente Químico C_c

El coeficiente químico C_c se determina a partir de la Tabla No. 2 en la que es importante identificar qué tipo de cemento se va a utilizar y si el mismo contiene escoria o ceniza volante, adicionalmente la tabla también considera el uso de retardantes o superplastificantes. Actualmente no existe en el Ecuador una caracterización del coeficiente químico para hormigones por desempeño.

Tabla No. 2 Valores para coeficiente químico del hormigón Fuente: ACI 347 R-14

Tipo de Cemento	Escoria	Ceniza Volante	Aditivo	C_c
I, II o III	No incluido	No incluido	Ninguno	1.0
			Se incluye	1.2
Cualquiera	Menor al 70%	Menor al 40%	Ninguno	1.2
			Se incluye	1.4
	Mayor o igual al 70%	Mayor o igual al 40%	Ninguno	1.4
			Se incluye	1.5

1.3. Coeficiente de densidad del hormigón C_w

El coeficiente C_w corresponde a una corrección de la densidad del hormigón. En la Tabla No. 3 se puede encontrar que el valor para hormigones de densidad convencional es 1 pero se propone otras fórmulas en el caso de que el hormigón sea de mayor o menor densidad a la típica.

Tabla No. 3 Coeficientes de densidad Fuente: ACI 347 R-14

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

*En el proceso de cálculo de la presión máxima, las ecuaciones E_c (2) y E_c (3) deben respetar estos límites: $30C_w(\text{kPa}) \leq C_{CP\ max} \leq \rho gh$. Si el valor no está dentro de esas condiciones se escogerán los límites como valores de diseño.

2. Definiciones y referencias

2.1. Definiciones

- Contenido de Humedad: Cantidad de agua que contiene una pieza de madera en un momento específico, que se expresa como un porcentaje de su peso anhidro.
- Anhidro: Estado de la madera sin contenido de humedad.
- Densidad básica: Relación entre el peso de la madera en estado anhidro y su volumen en estado verde o saturado.
- Densidad verde o saturada: Relación entre la masa y el volumen de la madera cuando se tiene un contenido de humedad mayor al 30%.
- Densidad seca al aire: Relación que existe entre el peso y el volumen de la madera en estado seco al aire, el contenido de humedad se sitúa en el 12%.
- Densidad seca al horno o anhidra: Relación que existe entre el peso y el volumen de la madera en estado anhidro, es decir con un contenido de humedad del 0%.
- Madera estructural: Aquella que, en uso a más de soportar su propio peso. Estará sujeta a esfuerzos diversos.
- Madera aserrada: Es la pieza que se obtiene de una troza de madera, mediante corte longitudinales y/o transversales realizados con sierras normales o con sierra eléctrica.

2.2. Referencias

- NEC-SE-MD. Norma Ecuatoriana de la Construcción (2015). Estructuras de Madera
- PADT-REFORT/JUNAC, Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino, 4ta edición, Lima-Peru,1984.
- Johnston, D. (2014). An ACI Manual Formwork for Concrete, ACI SP-4(14) (8th ed.). American Concrete Institute.

3. Maderas del Ecuador

3.1. Clasificación de maderas en Ecuador

Por medio de NEC-SE-MD se puede conocer la clasificación de las maderas las cuales se desglosan en Tipo A, B, C o D y están en función de su densidad básica $\left(\frac{g}{cm^3}\right)$.

Tabla No. 4 Clasificación de maderas ecuatorianas Fuente: (NEC, 2015).

Clasificación de Maderas Ecuatorianas en Función de la Densidad Básica		
Densidad Básica	Valor (g/cm ³)	Clasificación
	0.71-0.90	A
	0.56-0.70	B
	0.40-0.55	C
	<0.40	D

	Madera Estructural
	Madera No Estructural

A continuación, se muestra una recopilación de las maderas ecuatorianas más conocidas en el ámbito de armado de encofrados. El uso de cada una de las siguientes maderas dependerá de la disponibilidad y costo para cumplir con objetivos equilibrados de seguridad y economía.

De igual manera se muestra las maderas usadas para tableros de encofrado en la Tabla No. 6. Es importante resaltar que la categorización MDP, MDF o Trípex se hace por medio de la Tabla No. 4 aunque esta información se podría obtener directamente del proveedor para obtener datos más exactos. Los tableros también pueden ser elaborados de otras maderas de la Tabla No. 5 dando un proceso de cepillado para mejorar el acabado de este.

Tabla No. 5 Maderas de uso común en el Ecuador y su densidad básica

Maderas Típicas para la Conformación de Encofrados			
Nombre	Nombre Científico	Densidad Básica (g/cm ³)	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

Tabla No. 6 Conformación de tableros 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 tríples	Edimca	0.57	B
Tríples Marino	Edimca	0.61-0.48	B-C
Tríples Corriente	Edimca	0.53-0.34	C-D

3.2. Clases de uso de la madera

- a) **Clase de uso Categoría A:** Maderas consideradas de densidad alta por lo que son pesadas y duras. Las maderas clase A son utilizadas como: pilotes, elementos de puentes, vigas, columnas, viguetas, puntales, pisos, puertas, muebles tallados y chapas decorativas.

Este tipo de maderas no deben tener, o en menor magnitud, defectos físicos ni mecánicos.

- b) **Clase de uso Categoría B:** Las maderas clase B se consideran semi pesadas o maderas semiduras. Se utilizan para: paneles de encofrados, puertas, ventanas, pasamanos, tablas, tablones. Si son adecuadamente tratados se los puede usar como elementos estructurales tales como: viguetas, dinteles, columnas y puntales.

En encofrados no requiere una estricta clasificación visual, pero deben ser secadas y preservadas para aumentar su durabilidad natural.

- c) **Clase de uso Categoría C:** Son maderas consideradas como livianas o blandas. Esta madera es usada para elementos que conforman un encofrado, así como también: contrachapados, aglomerados, cerchas, diafragmas, revestimientos, cielos rasos, cuerdas y listones.

- d) **Clase de uso Categoría D:** Son consideradas maderas muy livianas o blandas, se usan ciertas maderas en elementos de encofrados, pero también se utiliza para: cajonería, aislantes termo acústicos, etc.

Debido a que no están sujetos a esfuerzos permanentes y son de uso temporal, su durabilidad natural es menor.

3.3. Calidad de la madera

- a) **Calidad Tipo A:** Tienen las mejores características mecánicas y físicas, así como la no presencia de defectos que se puedan apreciar visualmente. La calidad también se asocia con la sanidad de la madera, es decir, que no haya sufrido ataques de hongos o insectos, o en que hayan sido de menor magnitud.
- b) **Calidad Tipo B:** Se aprecia algunas fallas físicas y mecánicas a lo largo del elemento pero que pueden ser corregidos. Se produce desperdicios en menor magnitud. Puede presentar problemas de sanidad, pero no se compromete todo el espesor.
- c) **Calidad Tipo C:** Tiene fallas visibles tanto mecánicamente como visualmente en el elemento. Se puede corregir imperfecciones de manera parcial, genera desperdicios en el proceso de terminado y re aserrado.
- d) **Calidad Tipo D:** Tiene desperfectos mecánicos, físicos y de sanidad, no se las puede re aserrar o darle un terminado bueno. Para ciertos elementos de encofrados se utilizan como de uso temporal.

3.4. Consideraciones generales para el diseño de encofrados

- El cálculo de la presión máxima que ejerce el hormigón se basa en el documento ACI 347 R-14 y ACI-SP4(14) con la consideración de que el valor de la presión se transforma de (kPa) a $\left(\frac{Kg}{cm^2}\right)$ para poder desarrollar el método de forma más simplificada. Los valores de coeficientes químicos deberán en un futuro ser comprobados para hormigones por desempeño.
- La clasificación de la madera está en base a la NEC (2015) Capítulo de Estructuras de Madera. También se describen maderas de uso típico con sus respectivas densidades básicas.
- En el diseño de esfuerzos admisibles los valores de diseño por flexión, tracción, compresión y cortante están dados por la NEC (2015) Capítulo de Estructuras de Madera. En el caso de los factores de corrección para cada uno de esos efectos están dados por ACI-SP4(14).
- El diseño de muros y columnas se componen de fórmulas generalizadas en el ACI-SP4(14), las cuales van a ser replicadas adaptadas para el caso ecuatoriano.

3.5. Condiciones de uso de las maderas para la conformación de encofrados

- Se debe evitar el uso de estructuras de madera en donde la temperatura ambiente sobrepase los 65 °C.
- El material de encofrado debido a los esfuerzos que está sometido por las cargas se va a considerar como homogéneo, isotrópico y que su comportamiento está dentro del rango lineal.
- Para reducir los cambios de dimensión de los miembros de madera, es aconsejable secar la madera hasta llegar a un contenido de humedad entre el 12 y 15% previo a su utilización.
- Se debe secar la madera hasta un contenido de humedad % lo más cercano al contenido de humedad equilibrio con el medio ambiente (humedad de servicio).
- El contenido máximo de humedad para elementos que conforman el encofrado debe ser menor al 19% y en el caso de tableros o madera laminada el porcentaje máximo es del 12%.

4. Diseño por esfuerzos admisibles

Todos los elementos que van a conformar el encofrado de un muro o columna deben ser diseñados, contruidos y empalmados para resistir los esfuerzos producidos por la interacción de estos y por las cargas a recibir. En general se debe cumplir que:

$$\text{Esfuerzos aplicados} < \text{Esfuerzos admisibles}$$

4.1. Valores de diseño de esfuerzos admisibles

En función de la densidad básica de cada madera se desglosa en tres grupos: A, B y C, los cuales también delimitan el valor de esfuerzos admisibles para fenómenos de esfuerzo de: flexión, tracción, compresión y cortante.

1	10.197
MPa	kg/cm ²

Tabla No. 7 Valores de esfuerzos admisibles en mega pascales Fuente: (NEC, 2015).

Esfuerzos Admisibles (Mpa)					
Grupo	Flexión F_m	Tracción paralela F_t	Compresión Paralela F_c	Compresión Perpendicular $F_{c\perp}$	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

Tabla No. 8 Valores de esfuerzos admisibles en (kg/cm²)

Esfuerzos Admisibles (kg/cm ²)					
Grupo	Flexión F_m	Tracción paralela F_t	Compresión Paralela F_c	Compresión Perpendicular $F_{c\perp}$	Corte Paralelo F_v
A	214	148	148	41	15
B	153	107	112	29	12
C	102	76	82	15	8

4.2. Módulos de elasticidad

Es necesario tener valores del módulo Young o módulo de elasticidad, el cual también va a variar en función de la clasificación asignada por el tipo de madera. Por lo general, se va a utilizar el módulo de elasticidad promedio para el diseño de elementos en los que exista una acción en conjunto como para viguetas y tabiques.

1	10.197
MPa	kg/cm ²

Tabla No. 9 Valores para módulos de elasticidad en MPa Fuente: (NEC, 2015).

Módulo de Elasticidad (MPa)		
Grupo	E min (0.05)	E promedio
A	9500	13000
B	7500	10000
C	5500	9000

Tabla No. 10 Valores para módulos de elasticidad en (kg/cm²)

Módulo de Elasticidad (kg/cm ²)		
Grupo	E min (0.05)	E promedio
A	96872	132561
B	76478	101970
C	56084	91773

4.3. Factores de reducción/corrección de resistencia

La aplicabilidad de cada una de las correcciones de resistencia se muestra a continuación en la Tabla No. 11. Esta pauta es clara y determina en qué condiciones se debe considerar ciertas reducciones de resistencia.

Tabla No. 11 Aplicabilidad de factores de corrección Fuente: (Johnston, 2014).

Valor Ajustado de Diseño	Valor Referencia de Diseño	Coefficiente de Duración	Coefficiente por Humedad	Coefficiente por Temperatura	Coefficiente por Estabilidad viga	Coefficiente por Tamaño	Coefficiente por Uso Plano	Coefficiente de Incisión	Coefficiente de Elem. repetitivos	Coefficiente Estabilidad Columna	Rigidez de Pandeo	Coefficiente de contacto
$F'_m =$	$F_{m \ x}$	C_D	C_M	C_t	C_L	C_F	C_{Fu}	C_i	C_r	-	-	-
$F'_t =$	$F_{t \ x}$	C_D	C_M	C_t	-	C_F	-	C_i	-	-	-	-
$F'_V =$	$F_{V \ x}$	C_D	C_M	C_t	-	-	-	C_i	-	-	-	-
$F'_{c\perp} =$	$F_{c\perp \ x}$	-	C_M	C_t	-	-	-	C_i	-	-	-	C_b
$F'_c =$	$F_{c \ x}$	C_D	C_M	C_t	-	C_F	-	C_i	-	C_p	-	-
$E' =$	$E \ x$	-	C_M	C_t	-	-	-	C_i	-	-	-	-
$E'_{min} =$	$E_{Min \ x}$	-	C_M	C_t	-	-	-	C_i	-	-	C_T	-

4.3.1. Factor de corrección por duración de carga C_D

Normalmente para encofrados el valor de reducción de resistencia por duración de carga es igual a $C_D = 1.25$, pero en el caso de que haya un número considerable de reúsos repetitivos (Ej. Columnas) en un período entre 7 días a 2 meses el valor será $C_D = 1.15$. Se debe considerar que si se va a utilizar encofrados de obras pasadas y no se tiene registro de la cantidad de usos que se le ha dado a esos elementos se toma un valor de $C_D = 1.00$. En la Tabla No. 12 se muestra otros tipos de cargas.

Tabla No. 12 Factor de reducción por duración acumulada de carga Fuente: (Johnston, 2014).

Factor de Corrección por Duración de Carga		
Duración de Carga Acumulada	Ejemplo de Carga	C_D
> de 10 años	Carga muerta	0.9
10 años	Carga viva	1.0
2 meses	Carga de nieve	1.15
7 días	Carga de construcción	1.25
10 minutos	Viento o terremoto	1.6
Impacto	Impacto	2.0

4.3.2. Factor de corrección por condición de humedad C_M

En la Tabla No. 13 se puede mostrar el valor para cada fenómeno de deformación, aunque normalmente el coeficiente de humedad es $C_M = 1.00$ si el contenido de humedad del elemento es menor o igual al 19%. Sin embargo, se recomienda tomar en cuenta los siguientes valores:

Tabla No. 13 Factor de reducción por condición de humedad de la madera Fuente: (Johnston, 2014).

Factor de Corrección por Condición de Humedad C_M					
Flexión F_m	Tracción paralela F_t	Compresión Paralela F_c	Compresión Perpendicular $F_{c\perp}$	Corte Paralelo F_V	Mod. E, E_{Min} Elasticidad
0.85*	1.0	0.8**	0.67	0.97	0.9

* Si $F_b(C_f) \leq 8$ Mpa, $C_m = 1$

**Si $F_c(C_f) \leq 5.5$ Mpa, $C_m = 1$

4.3.3. Factor de corrección por temperatura C_t

Se va a tomar en cuenta la temperatura ambiental, ya que la temperatura que emite el hormigón al ser hidratado y colocado en el encofrado no es relativamente significativa en este caso. En la Tabla No. 14 se muestra las condiciones, se recuerda que la NEC (2015) no permite que se construya con elementos de madera si la temperatura excede los 65°C.

Tabla No. 14 Factor de reducción por temperatura ambiental Fuente: (Johnston, 2014).

Factor de Corrección por Temperatura C_t				
Valor Referencia de Diseño	Condición de Humedad	Temperatura $\leq 38^\circ\text{C}$	Temperatura $38^\circ\text{C} - 52^\circ\text{C}$	Temperatura $52^\circ\text{C} - 66^\circ\text{C}$
$E, E_{Min} F_t$	Seca o mojada	1.0	0.9	0.9
$F_m, F_V, F_c, F_{c\perp}$	Seca	1.0	0.8	0.7
	Mojada	1.0	0.7	0.5

4.3.4. Factor de corrección por elemento repetitivos C_r y Factor de corrección por estabilidad de viga C_L

El factor C_r siempre es igual a 1.15 si se cumple una de las siguientes hipótesis: 1) Miembros en contacto o espaciados no más de 60 centímetros. 2) Al menos son 3 elementos. 3) Si están unidos por un tablero o algún elemento que sea apto para soportar la carga de diseño.

Tabla No. 15 Corrección por estabilidad de viga y por cantidad de miembros repetitivos Fuente: (Johnston, 2014).

Factor de Corrección debido a Elementos Repetitivos C_r	
Flexión	Otros fenómenos
1.15	No aplica
Factor de Corrección por Estabilidad de Viga y Columna C_L	
1.00	

4.3.5. Factor de corrección por tamaño de elemento C_F y Factor de corrección por uso plano de elemento C_{fu}

El valor de C_F va a ser generalmente 1 pero se establece en la Tabla No. 16 cada uno de sus valores en función del espesor nominal del elemento. Por otro lado, el valor de C_{fu} únicamente es considerado cuando los elementos se utilizan del lado débil con relación a las fibras naturales de la madera.

Tabla No. 16 Coeficientes de reducción por tamaño de elemento y uso plano
Fuente: (Johnston, 2014).

Ancho Nominal de la madera	Coeficiente Corrección por Tamaño* C_F			Coeficiente Uso Plano C_{fu}	
	5 a 7.5 cm de espesor	10 cm de espesor	F_c	5 a 7.5 cm de espesor	10 cm de espesor
5-7.5 cm	1.5	1.5	1.15	1.00	-
10 cm	1.5	1.5	1.15	1.10	1.00
12.7 cm	1.4	1.4	1.10	1.10	1.05
15.2 cm	1.3	1.3	1.10	1.15	1.05
20.3 cm	1.2	1.3	1.05	1.15	1.05
25.4 cm	1.1	1.2	1.00	1.20	1.10
30.5 cm	1.0	1.1	1.00	1.20	1.10
35.6 cm o mayor	0.9	1.0	0.90	1.20	1.10

* $F_c=1$ para Construcción y anchos de elementos hasta 10 cm

4.3.6. Factor de corrección por incisión C_i

Algunas maderas son cortadas o tienen incisiones para poder mejorar la impregnación de preservativos. En la Tabla No. 17 se muestra los factores de reducción.

Tabla No. 17 Factor de corrección por incisión Fuente: (Johnston, 2014).

Factor de Corrección por Incisión	
Valor de Diseño	C_i
$F_m F_V F_c F_t$	0.80
$F_{c\perp}$	1.00
E, E_{Min}	0.85

4.3.7. Factor de corrección por longitud de contacto C_b

Se debe tener en cuenta la longitud en la que dos elementos que conforman un encofrado están en contacto directo, en ese caso existe un factor de corrección por contacto descrito en la Tabla No. 18.

Tabla No. 18 Longitud de contacto y coeficiente de corrección Fuente: (Johnston, 2014).

Longitud de Contacto (cm) ℓ_b	1.2	2.5	3.8	5	6.35	7.6	8.9	10	15 o más
C_b	1.75	1.38	1.25	1.19	1.15	1.13	1.11	1.09	1

4.4. Valores de diseño para tableros

En el diseño de muros en la parte del tablero es importante conocer algunas características que se muestran en las posteriores tablas. Debido a que en Ecuador no se dispone de estos datos se ha realizado una transformación directa del ACI-SP4(14) de valores de diseños para tableros de encofrados Clase B. Estos valores varían de proveedor a proveedor por lo que deberían ser comprobados y analizados según el tipo de tablero que se haya escogido.

Tabla No. 19 Valores de diseño y corrección para tableros Clase B Fuente: (Johnston, 2014).

Valores de Diseño para Tableros Clase B					
	Factor de Fraguado del Hormigón $C_s=C_e \cdot C_d$			Valor Ajustado	
	Valor Referencia de Diseño (kg/cm ²)	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 $F'_{c\perp}$	$F'_{c\perp}$ 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

Tabla No. 20 Propiedades de sección efectiva para tableros tipo B Fuente: (Johnston, 2014).

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 ⁴)	KS (cm ³)	lb/Q (cm ²)	I (cm ⁴)	KS (cm ³)	lb/Q (cm ²)
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

5. Diseño de muros

El procedimiento de diseño de encofrado para muro y el desarrollo de las fórmulas propuestas en el presente Anexo B se proponen en base al ACI-SP4 (14).

5.1. Elementos del encofrado de un muro

El diseño de encofrados de muros se compone de elementos verticales, horizontales y elementos de soporte que garantizan la uniformidad en cuanto a unión de sus piezas individuales. Es importante identificar esos elementos en el Figura No: 2.

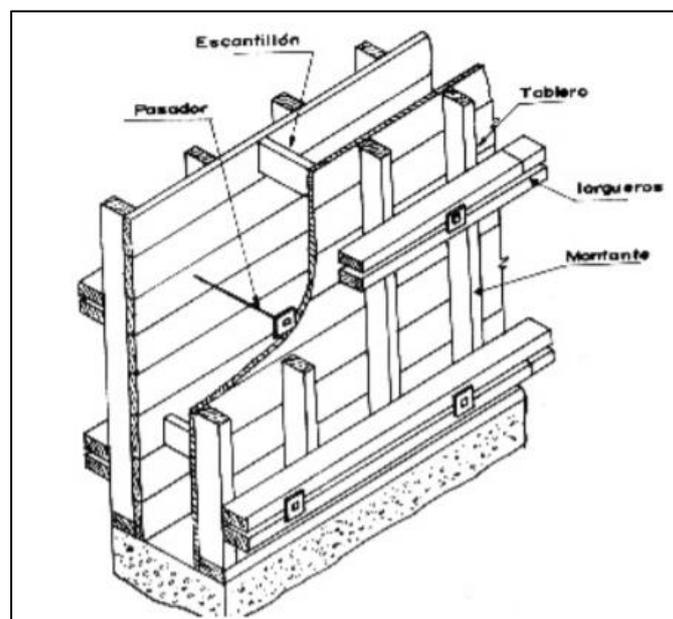
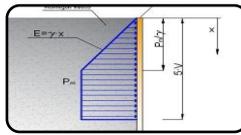
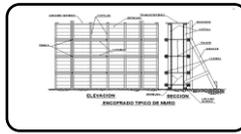


Figura No: 2 Elementos de encofrado de muro

5.2. Secuencia generalizada para el diseño de encofrado para un muro



- 1) Presión Lateral de Diseño
- Estimación de presión máxima



- 2) Espesor de Tablero y Espaciado de Montantes
- Chequeo por flexión
 - Chequeo por deflexión
 - Chequeo por cortante



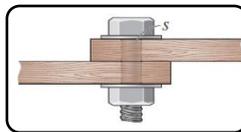
- 3) Tamaño del Montante y Espaciado de Largueros
- Chequeo por flexión
 - Chequeo por deflexión
 - Chequeo por cortante



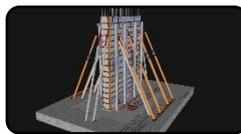
- 4) Tamaño de Largueros y espaciamiento de soportes
- Chequeo por flexión
 - Chequeo por deflexión
 - Chequeo por cortante



- 5) Diseño del Soporte o Pasador



- 6) Chequeo de Tensiones por Contacto



- 7) Arriostamiento Lateral para Encofrados de Muro

5.3. Procedimiento de diseño del encofrado de un muro

1) Presión lateral de Diseño

Se obtiene la presión máxima lateral de diseño $C_{CP\ max}$ en base al Anexo B Sección 1 sobre presión lateral que ejerce el hormigón fresco sobre un encofrado.

2) Selección de Tablero

La selección del tablero va a considerar los materiales disponibles dentro de la zona de trabajo. Como se analizó en la sección de maderas, se puede elaborar paneles/tableros de maderas aserradas o también se puede usar materiales más trabajados como el: MDP, MDF o Tabla Tríplex. Es importante seleccionar e identificar las características del tablero tales como: material, dimensiones, espesor y demás consideraciones del resto de elementos del encofrado.

a. Ubicación del tablero e interacción con montantes

La colocación de los apoyos se la debe tener presente al momento de hacer el diseño, ya que escoger el lado fuerte o débil de la madera tiene sus consideraciones. El armado que considera el uso de la fibra frontal paralela al vano (dirección fuerte de uso) va a tener en general mayor resistencia que en el caso de usar la fibra frontal perpendicular al vano (dirección débil de uso).

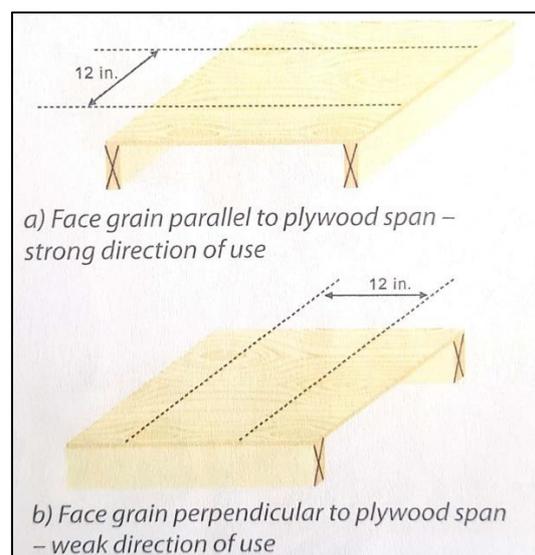


Figura No: 3 Uso fuerte y débil de la madera según la ubicación de los apoyos

Fuente: (Johnston, 2014).

b. Chequeo por Flexión y espaciamiento de montantes

Para poder realizar el chequeo por flexión es necesario asumir un espaciamiento (s) el cual se va a comprobar posteriormente. Los valores de $F'm$ y KS se los encuentra en Anexo B Sección 4.4 Tabla No.19 y 20.

$$w = C_{CP\ max} * s$$

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

Donde:

ℓ = Longitud máxima permitida del tramo (cm)

$F'm$ = Valor ajustado de diseño por flexión (kg/cm^2)

KS = Módulo de sección requerido (cm^3)

w = Carga distribuida uniforme (kg/cm)

s = Espaciamiento asumido de montantes (cm)

$C_{CP\ max}$ = Presión máxima de diseño (kg/cm^2)

*Tomar en cuenta que Anexo B Sección 4.4 da una primera recomendación de espaciado (s) y es que este valor sea menor a 30 centímetros. Por otro lado, el valor de la longitud máxima permitida del tramo (ℓ) es la que rige en cuanto a espaciamiento de elementos que conforman el encofrado.

c. *Chequeo por deflexión*

Dentro del ACI-SP4(14) propone varias limitaciones de deflexión tales como: ($\frac{\ell}{180}, \frac{\ell}{240}, \frac{\ell}{360}, \frac{\ell}{400}$). En el caso de la NEC (2015) Capítulo de Hormigón Armado también delimita las mismas deflexiones.

En el caso de tableros para encofrados se va a tomar una limitación de $\frac{\ell}{360}$ por lo que se puede aplicar la siguiente ecuación:

$$\text{Tres vigas continuas: } \Delta_{max} = \frac{w\ell^4}{145E'I}$$

- Para deflexión máxima permitida de $\frac{\ell}{360}$. Despejar ℓ :

$$\frac{\ell}{360} = \frac{w\ell^4}{145E'I}$$

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

Donde:

ℓ = Longitud máxima permitida del tramo (cm)

Δ_{max} = Deflexión máxima permitida

w = Carga distribuida uniforme (kg/cm)

E' = Módulo de elasticidad (kg/cm^2)

I = Inercia (cm^4)

d. *Chequeo por cortante*

Para el caso de chequeo por cortante se tiene en cuenta que los valores de F'_{rs} y $\left(\frac{lb}{Q}\right)$ se encuentran en Anexo B Sección 4.4 Tabla No.19 y 20.

$$\text{Tres vigas continuas: } \ell_c = \frac{F'_{rs} * \left(\frac{lb}{Q}\right)}{0.6 w}$$

Donde:

ℓ_c = Longitud máxima permitida del tramo (cm)

F'_{rs} = Valor ajustado de diseño por cortante para madera (kg/cm^2)

$\left(\frac{lb}{Q}\right)$ = Constante para cortante (cm^2)

w = Carga distribuida uniforme (kg/cm)

e. *Esquema del tablero y espaciamiento final de montantes*

Conocidas las longitudes máximas permitidas de tramo (ℓ) para: flexión, deflexión y cortante, se escoge el menor valor de (ℓ), por lo que el elemento estará controlado bajo ese fenómeno. El espaciamiento asumido (s) puede ser menor a (ℓ), lo que usualmente se hace por consideraciones de practicidad en la construcción.

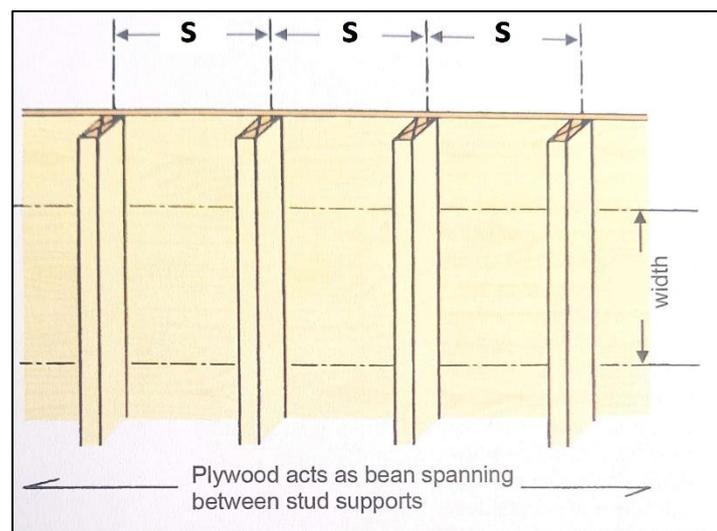


Figura No: 4 Ubicación y espaciamiento de montantes en el tablero Fuente: (Johnston, 2014).

3) Sección de montantes y espaciamiento de largueros

La sección del montante la escoge el diseñador, por lo general, en los aserraderos para este tipo de elementos se ven secciones típicas de 4x8 cm o 5x10 cm, pero se aclara que la sección dependerá de las consideraciones del proyecto y del constructor/diseñador. La carga de igual manera va a ser calculada con la siguiente ecuación, teniendo en cuenta que el valor de (s) será el valor de la separación máxima entre montantes o en efecto la carga tributaria aportante.

$$w(\text{montante}) = C_{CP \max} * s$$

Donde:

s = Espaciamiento asumido de montantes (cm)

$C_{CP \max}$ = Presión máxima de diseño (kg/cm^2)

w = Carga distribuida uniforme (kg/cm)

a. Chequeo por flexión

Como el material del tablero puede ser diferente al que se utiliza en montantes, primero se escoge la madera, se la categoriza (A, B, C o D) y en función de la densidad básica se selecciona del Anexo B Sección 4.1 Tabla No. 7 y 8 los valores de esfuerzos admisibles para flexión. En el caso de los factores de corrección o reducción en Anexo B Sección 4.3 se explica cómo obtener el valor final de diseño.

$$F'm = F_m * C_D * C_M * C_t * C_L * C_F * C_{fu} * C_i * C_r$$

Donde:

F_m = Valor referencia de diseño por flexión (kg/cm^2)

$F'm$ = Valor ajustado de diseño por flexión (kg/cm^2)

C_D = Coeficiente de corrección por duración

C_M = Coeficiente de corrección por humedad

C_t = Coeficiente de corrección por temperatura

C_L = Coeficiente de estabilidad de elemento

C_F = Coeficiente de corrección por tamaño de elemento

C_{fu} = Coeficiente de corrección por planicidad

C_i = Coeficiente de corrección por inserción

C_r = Coeficiente por repetición de elementos estructurales

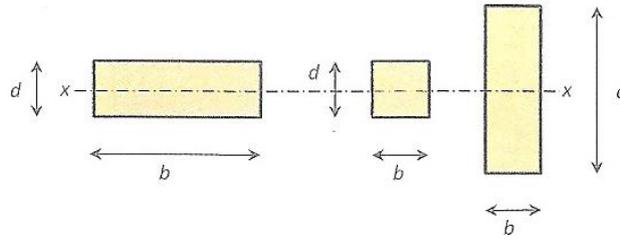


Figura No: 5 Centroide para obtener momento de inercia y módulo de sección Fuente: (Johnston, 2014).

$$\ell = 3.16 \sqrt{\frac{F'm * Sx}{w}}$$

$$Sx = \frac{1}{6} (b \cdot d^2)$$

Donde:

ℓ = Longitud máxima permitida del tramo (cm)

$F'm$ = Valor ajustado de diseño por flexión (kg/cm^2)

Sx = Módulo de sección (cm^3)

w = Carga distribuida uniforme (kg/cm)

b y d = Dimensiones de sección transversal (cm)

b. *Chequeo por deflexión*

Nuevamente para el chequeo por flexión se considera una limitación de $\frac{\ell}{360}$.

Particularmente, el valor del módulo de elasticidad E se obtiene de Anexo B Sección 4.2 Tabla No.9 y 10.

$$E' = E * C_M * C_t * C_i$$

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

$$I = \frac{1}{12} (b \cdot d^3)$$

Donde:

ℓ = Longitud máxima permitida del tramo (cm)

Δ_{max} = Deflexión máxima permitida

w = Carga distribuida uniforme (kg/cm)

E' = Módulo de elasticidad ajustado (kg/cm^2)

E = Modulo de elasticidad valor referencia de diseño(kg/cm^2)

I = Inercia (cm^4)

b y d = Dimensiones de sección transversal (cm)

c. *Chequeo por cortante*

El valor de esfuerzo de diseño por cortante se obtiene de la madera ya categorizada, es decir del Anexo B Sección 4.1 Tabla No.7 y 8. El valor de ℓ_b va a ser explicado en el esquema de montantes y largueros.

$$F'_V = F_V * C_D * C_M * C_t * C_i$$

$$\ell = \frac{F'_V * b * d}{0.9w} + 1.67d + 0.83\ell_b$$

Donde:

F'_V = Valor ajustado para diseño por cortante (kg/cm^2)

F_V = Valor referencia para diseño por cortante (kg/cm^2)

ℓ = Longitud máxima permitida del tramo (cm)

w = Carga distribuida uniforme (kg/cm)

ℓ_b = Longitud de contacto en los soportes (cm)

b = Ancho de la sección transversal del larguero (cm)

d = Altura de la sección transversal del larguero (cm)

d. *Esquema del tablero, montantes y largueros*

A continuación, se muestra el esquema general donde se ve la interacción de casi todos los elementos que componen un encofrado de muro.

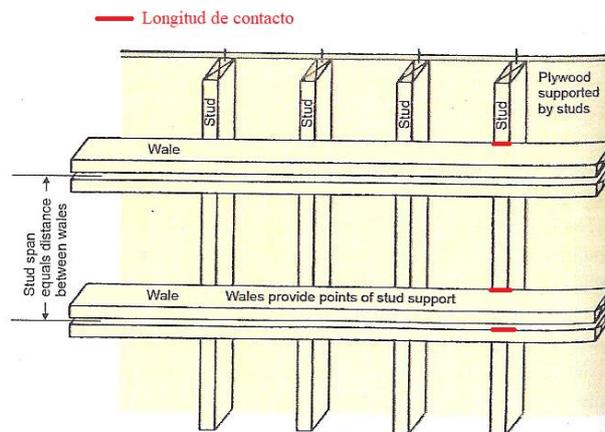


Figura No: 6 Esquema general y longitud de contacto Fuente: (Johnston, 2014).

e. *Esquema y distribución de largueros*

Conocidas las longitudes máximas permitidas de tramo (ℓ) para: flexión, deflexión y cortante, se escoge el menor valor de (ℓ) por lo que el elemento estará controlado bajo ese fenómeno. La distribución de los largueros dependerá del criterio del diseñador o constructor, respetando las limitantes ya expuestas.

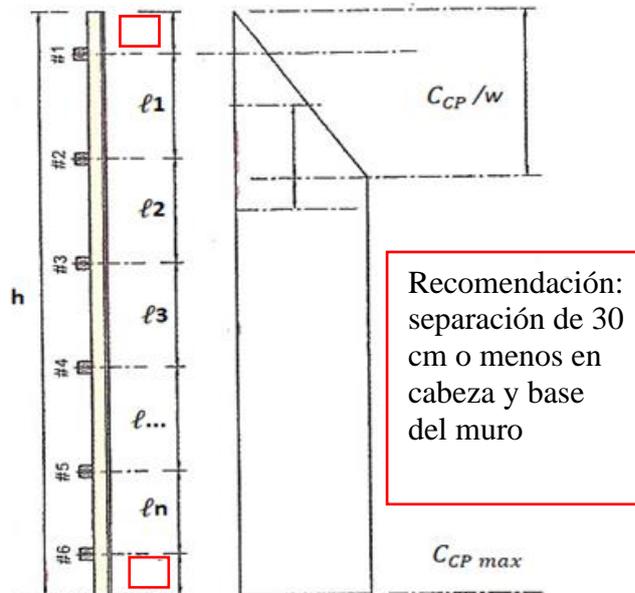


Figura No: 7 Distribución de largueros en altura del muro Fuente: (Johnston, 2014).

4) *Tamaño del larguero y espaciamiento de pasadores o soporte*

Dentro de este apartado se va a analizar la distribución final de largueros y la interacción de estos con los pasadores. Se aproxima e intenta acercar el espaciamiento de los pasadores con el de los largueros para que en altura puedan ser colocados en la misma posición. De igual manera, se va a tomar en cuenta un espaciamiento a lo largo del muro para tener en cuenta el número de soportes a colocar.

a. *Chequeo por flexión*

$$w(\text{larguero}) = C_{CP \max} * S_1$$

Donde:

S_1 = Espaciamiento más grande entre todos los largueros (cm)

$C_{CP \max}$ = Presión máxima de diseño (kg/cm^2)

w = Carga distribuida uniforme (kg/cm)

$$F'm = F_m * C_D * C_M * C_t * C_L * C_F * C_{fu} * C_i * C_r$$

Se debe tomar en cuenta que en el cálculo del valor ajustado de diseño por flexión el valor de C_r es igual a 1 si la separación de los largueros al momento de hacer el esquema definitivo sobrepasa los 60 centímetros.

$$F'm \cdot S = \frac{w \cdot (\ell_1)^2}{10}$$

Despejar S :

$$S(\text{mínimo}) = \frac{w \cdot (\ell_1)^2}{10 \cdot F'm}$$

Donde:

$S(\text{mínimo})$ = Modulo de sección requerido (cm^3)

w = Carga distribuida uniforme (kg/cm)

$F'm$ = Valor ajustado de diseño por flexión (kg/cm^2)

ℓ_1 = Longitud de tramo asumida para diseño del pasador (cm)

*El valor de $S(\text{mínimo})$ debe ser menor al modulo de sección S que se calcule para la utilización de largueros. En el caso de utilizar dos largueros es positivo, ya que se evita perforar la madera y se aumenta el módulo de sección S el cual debe ser comparado con $S(\text{mínimo})$.

b. *Chequeo por cortante*

$$\ell = \frac{F'_v * b * d}{0.9w} + 1.67d + 0.83\ell_b$$

Donde:

F'_v = Valor ajustado para diseño por cortante (kg/cm^2)

F_v = Valor referencia para diseño por cortante (kg/cm^2)

ℓ = Longitud máxima permitida del tramo (cm)

w = Carga distribuida uniforme (kg/cm)

ℓ_b = Longitud de contacto en los soportes (cm)

b = Ancho de la sección transversal del larguero (cm)

d = Altura de la sección transversal del larguero (cm)

5) *Diseño del pasador o soporte*

En el diseño del soporte se va a comprobar en primera instancia la longitud de tramo asumida para diseño del pasador ℓ_1 . En este apartado es importante tener en cuenta el tipo de pasador que se va a utilizar, ya que se debe tener el dato sobre la capacidad permisible del pasador.

$$w(\text{larguero}) = C_{CP \max} * s_1$$

Donde:

s_1 = Espaciamiento más grande entre todos los largueros (cm)

$C_{CP \max}$ = Presión máxima de diseño (kg/cm^2)

w = Carga distribuida uniforme (kg/cm)

$$R_b = R_c = 1.1w\ell_2$$

$$\ell_2(\text{Espaciamiento de pasador}) = \frac{\text{Capacidad permisible del pasador}}{w(\text{larguero}) * 1.1}$$

*El valor obtenido del espaciamiento de pasador ℓ_2 debe ser mayor o igual al valor asumido de la longitud permitida de tramo (ℓ_1) analizado previamente. De cumplir se da por terminado el diseño del pasador.

6) *Chequeo de Tensiones por contacto*

En el chequeo de tensiones por contacto se va a considerar dos tipos de interacciones. El primero es la unión de los pasadores con los largueros y el segundo es el contacto de los montantes con los largueros.

a. *Tensión por contacto de pasador y largueros*

$$w(\text{larguero}) = C_{CP \max} * s_1$$

$$R_b = R_c = 1.1w\ell_1$$

El valor que se obtenga de R_b o R_c es la capacidad ajustada permisible del pasador. El área de contacto se puede visualizar en la Figura No: 8

$$\text{Esfuerzos por contacto}(kg/cm^2) = \frac{\text{Cap. permisible del pasador}[R_b \text{ o } R_c](kg)}{\text{Area de Contacto}(cm^2)}$$

El valor obtenido de esfuerzo por contacto se lo compara con el valor ajustado de diseño por compresión de un elemento, el cual se calcula de la siguiente manera:

$$F'_{c\perp} = F_{c\perp} * C_M * C_t * C_i * C_b$$

Donde:

$F'_{c\perp}$ = Valor ajustado de diseño para compresión (kg/cm^2)

$F_{c\perp}$ = Valor referencia de diseño para compresión (kg/cm^2)

C_b = Factor de área de contacto

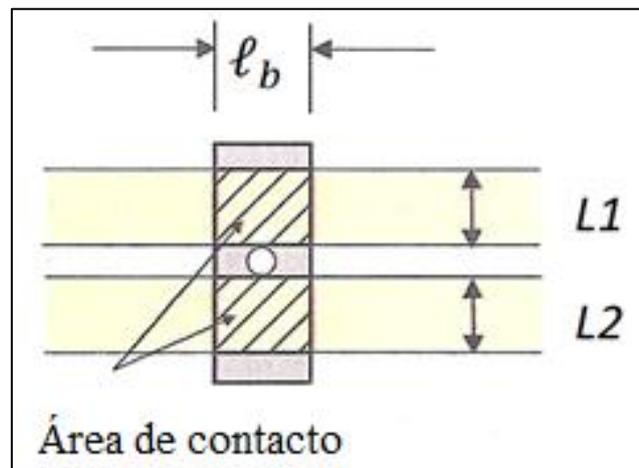


Figura No: 8 Contacto entre la placa del pasador y los largueros Fuente:
(Johnston, 2014).

$$\text{Esfuerzos por contacto}(kg/cm^2) < F'_{c\perp}$$

Si se cumple que los esfuerzos de contacto generados por la fricción de la placa del pasador y los largueros es menor al valor ajustado de diseño para compresión se comprueba que el diseño del pasador y la comprobación de esfuerzos por contacto está realizado correctamente.

b. *Tensión por contacto de largueros y montantes*

$$R_b = R_c = w \cdot \ell$$

$$w(\text{montante}) = C_{CP \max} * s$$

Donde:

s = Espaciamiento asumido de montantes (cm)

$C_{CP \max}$ = Presión máxima de diseño (kg/cm^2)

w = Carga distribuida uniforme (kg/cm)

ℓ = Espaciamiento más grande entre todos los largueros (cm)

Al igual que en el literal a) se va a calcular los esfuerzos por contacto producidos por el contacto de largueros y montantes. Ese valor se lo va a comparar con un valor ajustado de diseño por compresión. El área de contacto se puede visualizar en la Figura No: 9

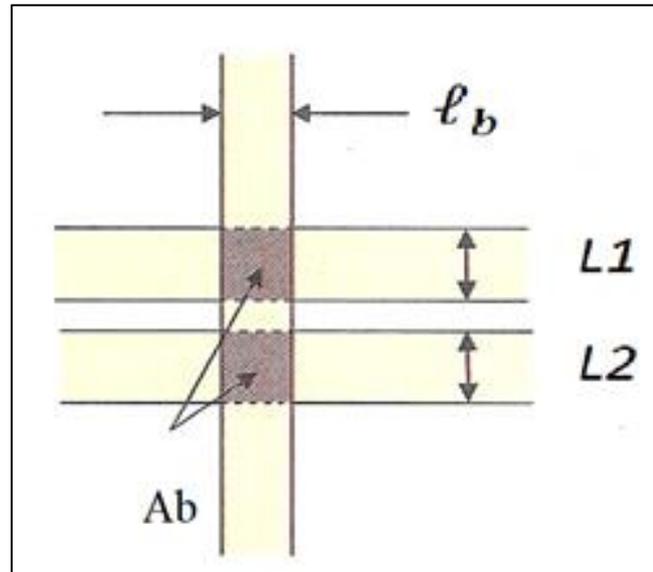


Figura No: 9 Área de contacto entre largueros y montantes Fuente: (Johnston, 2014).

$$f_{c\perp}(\text{kg/cm}^2) = \frac{R_b(\text{kg})}{A_b(\text{cm}^2)}$$

Donde:

$f_{c\perp}$ = Esfuerzo actual de compresión

R_b = Reacción de la carga transmitida del montante hacia el larguero

A_b = Área de contacto de esfuerzos de contacto

El valor del esfuerzo actual de compresión que se obtuvo en el paso anterior debe ser comparado con el valor ajustado de diseño para compresión.

$$F'_{c\perp} = F_{c\perp} * C_M * C_t * C_i * C_b$$

Donde:

$F'_{c\perp}$ = Valor ajustado de diseño para compresión (kg/cm^2)

$F_{c\perp}$ = Valor referencia de diseño para compresión (kg/cm^2)

C_b = Factor de área de contacto

Finalmente, para que el chequeo por contacto entre largueros y montantes sea correcto se debe cumplir que:

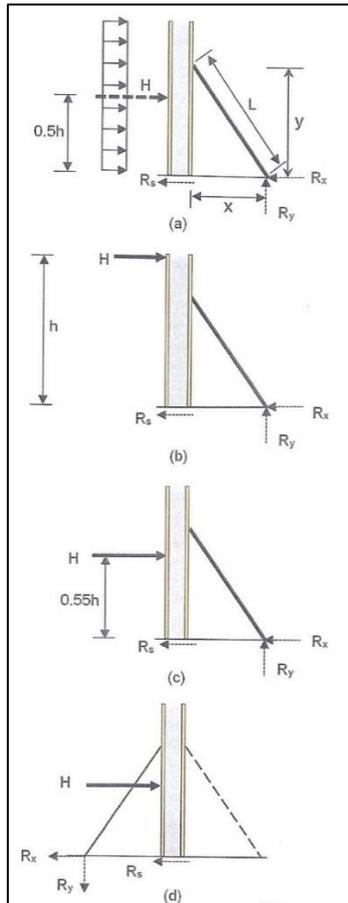
$$f_{c\perp} < F'_{c\perp}$$

7) *Diseño del arriostramiento lateral o puntal*

La colocación del puntal muchas veces en la práctica se la hace en base a la experiencia de la persona que esté a cargo del proyecto. Los puntales o arriostramientos cumplen la función principal de resistir cargas laterales de cualquier tipo. En esta sección en específica se va a calcular una carga de referencia de viento y se va a comprobar el pandeo del puntal.

a. *Geometría del puntal e interacción con carga lateral*

Se debe tomar en cuenta la posición en la que se va a colocar el puntal y la dirección carga de viento. Vale aclarar que para arriostrar lateralmente se puede usar tanto puntales (tensión y compresión) como cables (solo tensión).



En la Figura No: 10 literal a) se puede observar la interacción entre el puntal y el viento que es idealizada como una carga uniforme y que posteriormente pasa a ser puntal. También se denota las distancias x , y , L correspondientes a la geometría del puntal. Se **recomienda** colocar el puntal a $\frac{L}{8}$ o $\frac{L}{9}$ de la altura del elemento.

En el literal b) la carga H se encuentra en la parte superior del elemento.

En el caso del literal c) el ASCE/SEI posiciona la carga H a una altura de 0.55 veces el valor de la altura del elemento para representar de mejor manera la no uniformidad de la presión del viento.

El literal d) se puede observar el uso de cables, en el cual se debe usar al menos uno por lado.

Figura No: 10 Geometría del puntal Fuente: (Johnston, 2014).

La carga mínima de viento especificada en ACI-SP4(14) es de 100 (lb/ft) o 15 lb/ft^2 . A partir de estos datos se puede obtener la velocidad del viento, la cual se calcula con la siguiente fórmula obtenida de ASCE:

$$P = 0.00256 V^2$$

Despejar V :

$$V = \sqrt[2]{\frac{P}{0.00256}}$$

Donde:

P = Presión del viento (lb/ft^2)

V = Velocidad del viento (mph)

El coeficiente de 0.00256 es el resultado de un cálculo basado en valores típicos para la densidad del aire y la aceleración gravitatoria. Si se reemplaza los 15 lb/ft^2 en la fórmula previa se obtiene que la velocidad de diseño mínima

para EE. UU. es de 76.5 (mph) lo que en unidades SI es igual a 123 (km/h). Según el Inamhi (2014) una de las velocidades más fuertes registradas en Ecuador ocurrió en Tababela, Quito la cual superó los 50 (km/h).

Tomando en cuenta la recomendación del ACI-SP4(14) la carga de $H = 100$ (lb/ft) se la puede transformar a $H = 149$ (kg/m) cumpliendo con holgura la velocidad del viento máxima registrada en Ecuador.

Para obtener el valor de H a una altura de $0.55h$ se debe aplicar:

$$H' = \frac{H * h}{0.55h} = \frac{H}{0.55}$$

Donde:

H' = Valor de la carga de viento a una altura de $0.55h$ (kg/m)

H = Valor de la carga de viento en la parte superior del elemento (kg/m)

h = Altura total del elemento estructural (*m o cm*)

$$P_{puntal} = z \cdot H' \cdot (0.55h) \left(\frac{L}{x \cdot y} \right)$$

$$R_y = P \cdot \left(\frac{y}{L} \right)$$

$$R_x = P \cdot \left(\frac{x}{L} \right)$$

Donde:

P_{puntal} = Reacción del puntal (kg)

z = Separación asumida entre puntales a lo largo del elemento (*m*)

x = Distancia horizontal del puntal (*m*)

y = Distancia vertical del puntal (*m*)

R_y = Reacción vertical del puntal (kg)

R_x = Reacción horizontal del puntal (kg)

b. *Esbeltez del puntal*

El pandeo tiene que ver con la relación de esbeltez del elemento estructural usado a compresión, en este caso el puntal. Es importante comprobar que el pandeo no sea excesivo como se muestra en la Figura No: 11. En el caso de no cumplir la relación de esbeltez se añade líneas de refuerzo para asegurar que no haya pandeo en el puntal.

$$\frac{\ell_e}{d} < 50$$

Donde:

ℓ_e = Longitud efectiva del elemento analizado

d = Dimensiones de la sección transversal del elemento

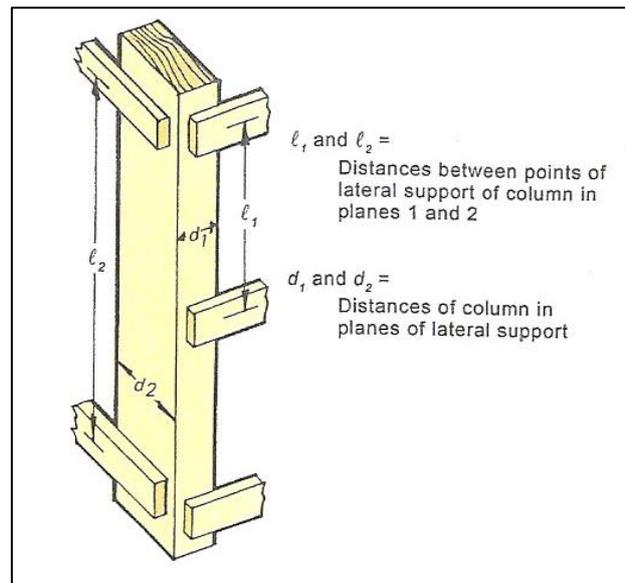


Figura No: 11 Longitud efectiva Fuente: (Johnston, 2014).

c. *Diseño final*

El valor de esfuerzo por tracción paralela y módulo de elasticidad mínimo se describen de esta manera, se debe considerar los factores de reducción de resistencia propuestos en Anexo B Sección 4.3.

$$E'_{min} = E_{min} * C_M * C_t * C_i * C_T$$

$$F^*_c = F_c * C_D * C_M * C_t * C_F * C_i$$

$$F_{cE} (kg/cm^2) = \frac{0.822 \cdot E'_{min}}{\left(\frac{\ell_e}{d}\right)^2}$$

$$C_p (kg/cm^2) = \frac{1 + \left(\frac{F_{cE}}{F^*_c}\right)}{2 \cdot c} - \sqrt{\left[\frac{1 + \left(\frac{F_{cE}}{F^*_c}\right)}{2 \cdot c} \right]^2 - \frac{\left(\frac{F_{cE}}{F^*_c}\right)}{c}}$$

F_{cE} y C_p son factores de corrección. Es conveniente primero resolver las ecuaciones en ese orden planteado. El valor de c en la ecuación de C_p se va a tomar típicamente el valor de 0.80. El valor de A es el área de la sección transversal del puntal que se haya escogido y comprobado previamente evitando el fenómeno de pandeo.

$$F'_c(kg/cm^2) = F^*_c \cdot C_p$$

$$P_{max}(kg) = F'_c \cdot A$$

Finalmente, para que el diseño sea óptimo se debe cumplir que:

$$P_{max} \geq P_{puntal}$$

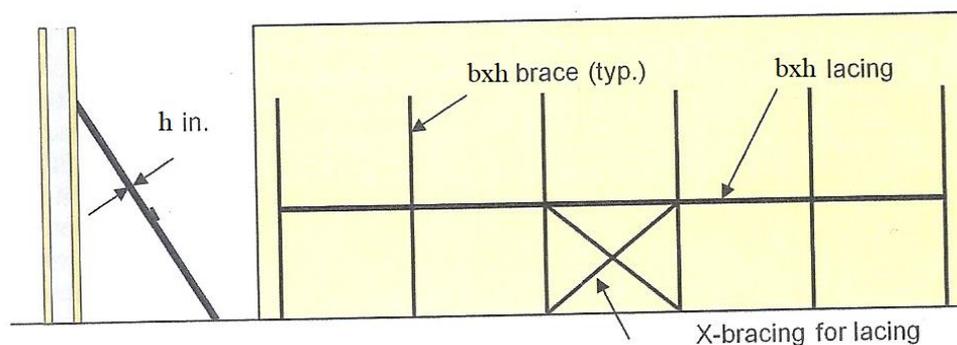


Figura No: 12 Esquema de colocación de puntal Fuente: (Johnston, 2014).

6. Diseño de columnas

El procedimiento de diseño de encofrado para columna y el desarrollo de las fórmulas propuestas en el presente Anexo B se proponen en base al ACI-SP4 (14).

6.1. Elementos de encofrado de una columna

El diseño de encofrados de columnas también se compone de elementos verticales y horizontales que interactúan entre sí para permitir un correcto funcionamiento de este. El método de encofrado dependerá de la disponibilidad de equipo, materiales, costo, tamaño de columna y reutilización de los materiales. En la Figura No: 13 se puede observar los elementos que componen el encofrado de una columna.

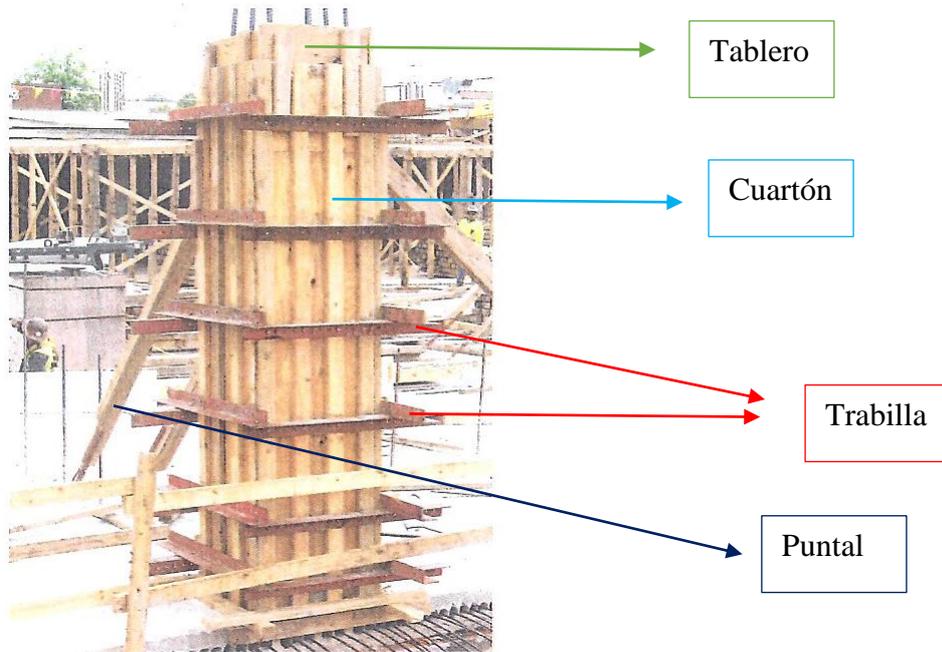
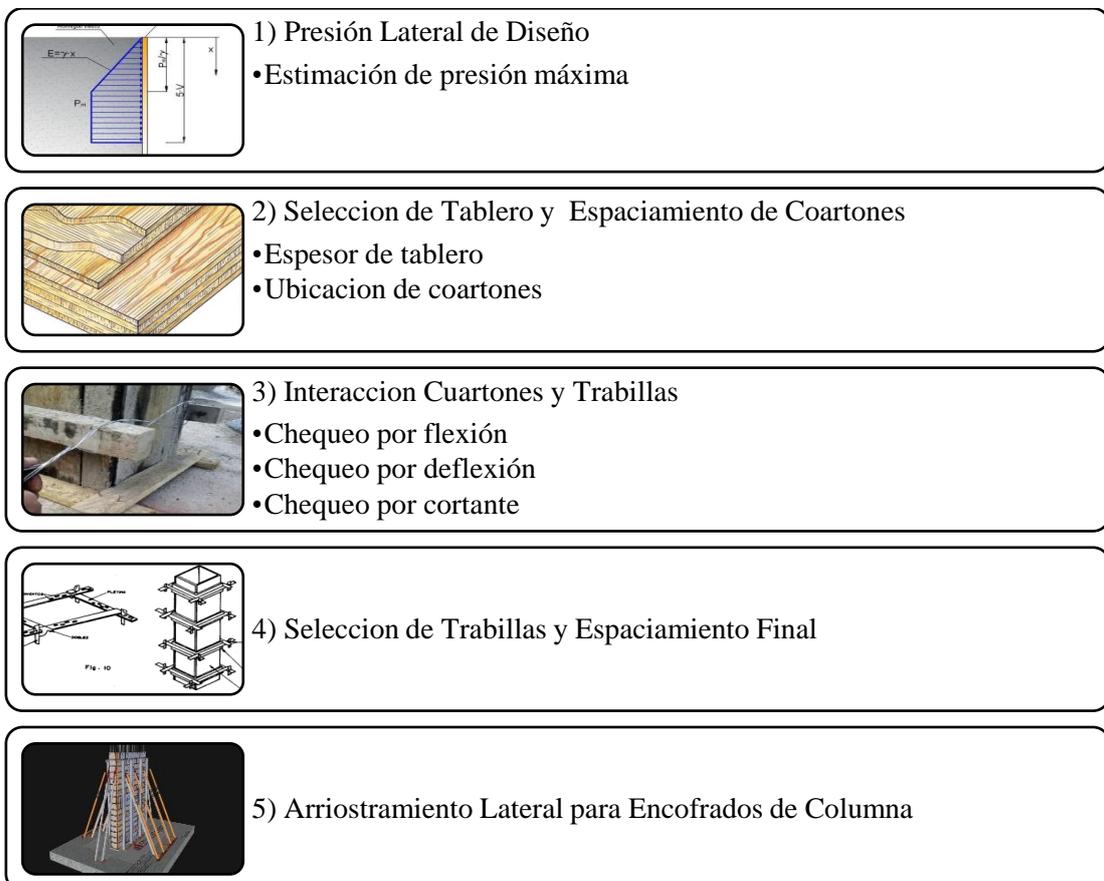


Figura No: 13 Elemento del encofrado de una columna Fuente: (Johnston, 2014).

6.2. Secuencia generalizada para el diseño de encofrado de una columna



6.3. Procedimiento de diseño del encofrado de una columna

1) Presión lateral de Diseño

Se obtiene la presión máxima lateral de diseño $C_{CP\ max}$ en base al Anexo B Sección 1 sobre presión lateral que ejerce el hormigón fresco sobre un encofrado.

2) Selección de Tablero

La selección del tablero va a considerar los materiales disponibles dentro de la zona de trabajo. Como se analizó en la sección de maderas, se puede elaborar paneles/tableros de maderas aserradas o también se puede usar materiales más trabajados como el: MDP, MDF o Tabla Tríplex. Es importante seleccionar e identificar las características del tablero tales como: material, dimensiones, espesor y demás consideraciones del resto de elementos del encofrado.

a. Espesor del tablero y espaciamiento de cuartones

El espesor del tablero compone una parte primordial al momento de espaciar los cuartones. Este factor sumado a la presión máxima de diseño $C_{CP\ max}$, se permite utilizar la Tabla No. 21 la cual delimita eficientemente el espaciado seguro de los cuartones.

Tabla No. 21 Espaciamientos para cuartones de columna

Espaciamiento seguro para tableros Tipo B para tres o más vigas continuas								
Presión Lateral del Hormigón	Esfuerzos para cargas corta duración $C_d=1.25$				Esfuerzos para cargas larga duración $C_d=1.25$			
	Cara Frontal Paralela al Vano Espesor en mm Espaciamiento en cm				Cara Frontal Perpendicular al Vano Espesor en mm Espaciamiento en cm			
kg/cm ²	12mm	16mm	18mm	25mm	12mm	16mm	18mm	25mm
0.048	48	53	61	74	38	43	53	66
0.061	45	51	58	69	36	41	51	61
0.73	43	48	56	66	33	38	48	58
0.085	40	48	53	64	30	36	46	56
0.097	41	46	51	61	28	33	43	56
0.146	36	41	46	56	25	33	43	51
0.195	30	36	41	51	23	28	38	46
0.244	28	33	38	46	20	25	33	43
0.292	25	30	33	43	18	23	30	41
0.341	23	28	30	41	18	20	28	36
0.391	48	25	28	38	15	20	25	36
0.439	20	25	28	36	15	18	20	30

0.488	20	23	25	33	13	15	20	28
0.537	20	23	25	30	13	15	18	25
0.585	18	20	23	30	10	13	18	25
0.634	18	20	23	28	10	13	15	23
0.683	15	18	23	28	10	13	15	20
0.732	15	18	20	25	10	10	13	20
0.781	15	15	20	25	10	10	13	18
0.831	15	15	18	23	10	10	13	18
0.878	13	15	18	23	8	10	13	18
0.927	13	15	18	20	8	10	10	18
0.976	13	13	15	20	8	8	10	15
1.074	13	13	15	18	8	8	10	15
1.171	10	13	15	18	8	8	10	13
1.269	10	10	13	15	8	8	8	13
1.367	10	10	13	15	8	8	8	13
1.464	10	10	13	15	8	8	8	13

Los casilleros de color blanco están controlados bajo deflexión o flexión mientras que los casilleros en color azul claro están controlados bajo cortante. En el caso de ser controlados por cortante y que el elemento estructural sea mayor a 4 centímetros, se añade la diferencia del valor de las dimensiones de la sección transversal. Un bosquejo de distribución se muestra en la Figura No: 14.

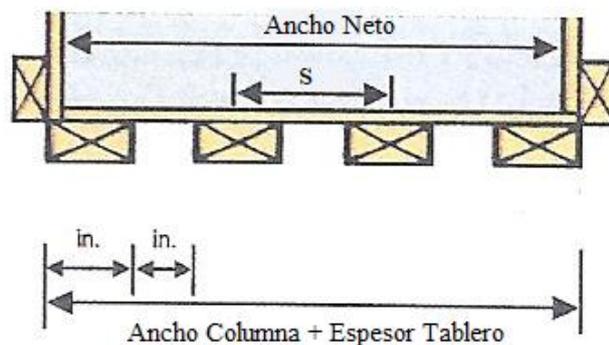


Figura No: 14 Interacción del tablero y cuartones

3) Interacción de cuartones y trabillas

La separación (s) calculada anteriormente aparte de dar una representación gráfica de la posición de colocación del cuartón también va a delimitar la carga tributaria que va a pasar de ese elemento hacia las trabillas.

a. Chequeo por flexión

$$F'm = F_m * C_D * C_M * C_t * C_L * C_F * C_{fu} * C_i * C_r$$

Donde:

F_m = Valor referencia de diseño por flexión (kg/cm^2)

$F'm$ = Valor ajustado de diseño por flexión (kg/cm^2)

C_D = Coeficiente de corrección por duración

C_M = Coeficiente de corrección por humedad

C_t = Coeficiente de corrección por temperatura

C_L = Coeficiente de estabilidad de elemento

C_F = Coeficiente de corrección por tamaño de elemento

C_{fu} = Coeficiente de corrección por planicidad

C_i = Coeficiente de corrección por inserción

C_r = Coeficiente por repetición de elementos estructurales

$$\ell = 3.16 \sqrt{\frac{F'm * Sx}{w}}$$

$$Sx = \frac{1}{6} (b \cdot d^2)$$

Donde:

ℓ = Longitud máxima permitida del tramo (cm)

$F'm$ = Valor ajustado de diseño por flexión (kg/cm^2)

Sx = Módulo de sección (cm^3)

w = Carga distribuida uniforme (kg/cm)

b y d = Dimensiones de sección transversal (cm)

Por otro lado, ya que en columnas la sección transversal es relativamente pequeña a comparación de un muro. Las velocidades o tasas de colocación del hormigón tienden a ser grandes por lo que, el comportamiento de la mezcla (por lo general) se va a regir por $C_{CP} = \gamma h$. Debido a que gráficamente es una carga triangular se necesita conocer la carga en cada punto de análisis.

$$C_{CPmax} = \gamma h - \gamma h^*$$

Donde:

C_{CPmax} : Presión máxima ejercida por el hormigón fresco (kg/cm^2)

γ : Densidad del hormigón (kg/cm^3)

h : Altura del elemento de hormigón (m o cm)

h^* : Altura de interés (m o cm)

La separación (s) entre cuarterones también va a ser tomada como carga tributaria y a su vez da un parámetro para la separación de trabillas.

$$w = C_{CP\ max} * s$$

Donde:

s = Espaciamiento recomendado de separación entre cuarterones (m o cm)

$C_{CP\ max}$ = Presión máxima de diseño (kg/cm^2)

w = Carga distribuida uniforme (kg/cm)

Por otro lado, ya que en columnas la sección transversal es relativamente pequeña a comparación de un muro. Las velocidades o tasas de colocación del hormigón tienden a ser grandes por lo que el comportamiento de la mezcla (por lo general) se va a regir por $C_{CP} = wh$. Debido a que gráficamente es una carga triangular se necesita conocer la carga en cada punto de análisis.

b. *Chequeo por deflexión*

$$E' = E * C_M * C_t * C_i$$

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

$$I = \frac{1}{12} (b \cdot d^3)$$

Donde:

ℓ = Longitud máxima permitida del tramo (cm)

Δ_{max} = Deflexión máxima permitida

w = Carga distribuida uniforme (kg/cm)

E' = Módulo de elasticidad ajustado (kg/cm^2)

E = Modulo de elasticidad valor referencia de diseño (kg/cm^2)

I = Inercia (cm^4)

b y d = Dimensiones de sección transversal (cm)

c. *Chequeo por cortante*

$$F'_V = F_V * C_D * C_M * C_t * C_i$$

$$\ell = \frac{F'_V * b * d}{0.9w} + 1.67d + 0.83\ell_b$$

Donde:

F'_V = Valor ajustado para diseño por cortante (kg/cm^2)

F_V = Valor referencia para diseño por cortante (kg/cm^2)

ℓ = Longitud máxima permitida del tramo (cm)

w = Carga distribuida uniforme (kg/cm)

ℓ_b = Longitud de contacto en los soportes (cm)

b = Ancho de la sección transversal del larguero (cm)

d = Altura de la sección transversal del larguero (cm)

4) *Espaciamiento Final*

De las longitudes máximas permitidas de tramo calculadas para flexión, cortante y deflexión se escoge el menor valor, ya que es el más restrictivo. Ese valor corresponde para el primer tramo, por lo que teniendo en cuenta la altura total de la columna se debe repetir este proceso hasta llegar al tope del elemento estructural.

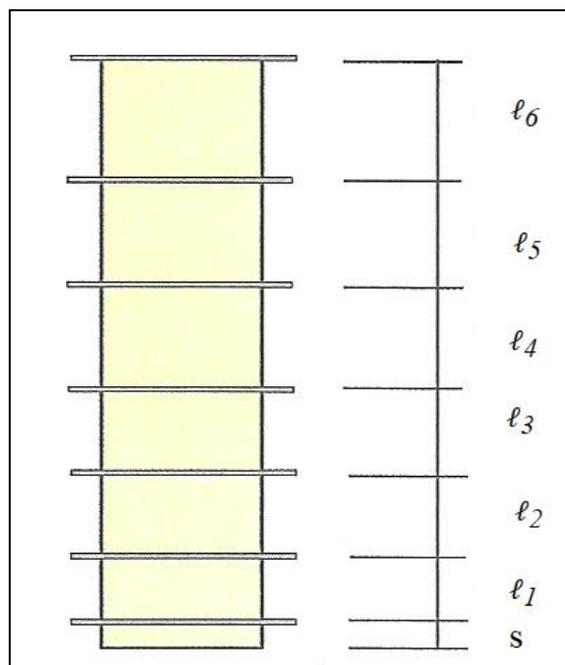


Figura No: 15 Distribución de trabillas en altura de la columna Fuente: (Johnston, 2014).

5) *Diseño del arriostramiento lateral o puntal*

Para el diseño del puntal se toma en cuenta el mismo procedimiento realizado en Anexo B Sección 5.3 Paso 7 Diseño de arriostramiento lateral o puntal. Se puede agregar que para un diseño de puntal sin carga de viento solo es necesario determinar la geometría y comprobar la esbeltez del elemento.

ANEXO C: ARTÍCULO PARA REVISTA ECUATORIANA. CÁLCULO DE PRESIONES LATERALES SOBRE ENCOFRADOS.

Cálculo de presiones laterales del hormigón sobre encofrados

Autores: Sebastián Beltrán Álvarez, Juan José Recalde, PhD, USFQ

“El uso de encofrado en estructuras de hormigón puede llegar a costar entre el 40 y 60% de su costo” (Hurd, 2005).

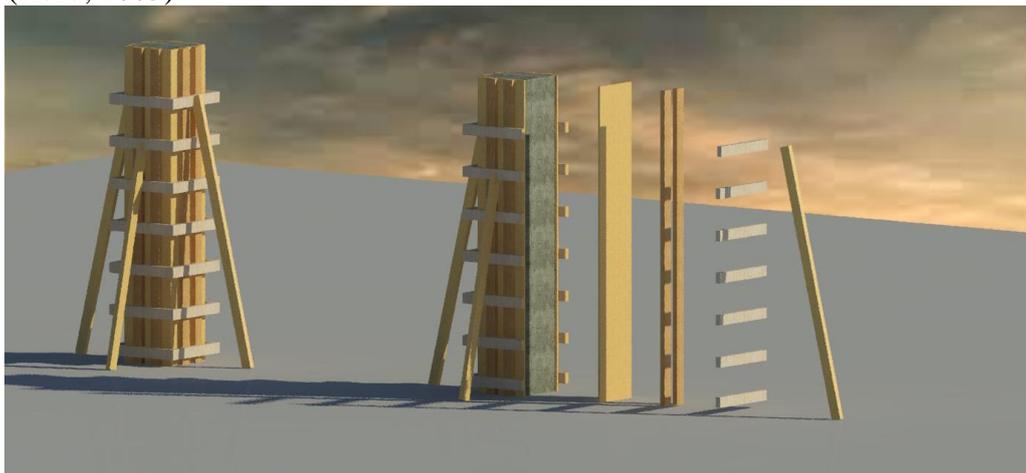


Figura No. 1 Esquema de encofrado de columna. Elaboración propia

Los encofrados son los encargados de contener el hormigón hasta que este endurezca a tal punto que el elemento fundido pueda sostenerse por sí mismo. El proceso de cambio de estado líquido a sólido del hormigón se conoce como fraguado, dentro de ese cambio el comportamiento sigue el principio de ley hidrostática similar al que tiene cualquier líquido como por ejemplo el agua. La diferencia radica en que el hormigón se compone de varios elementos y la mezcla tiene características granulares por lo que el comportamiento de la presión podría llegar a bloquearse en un punto específico.

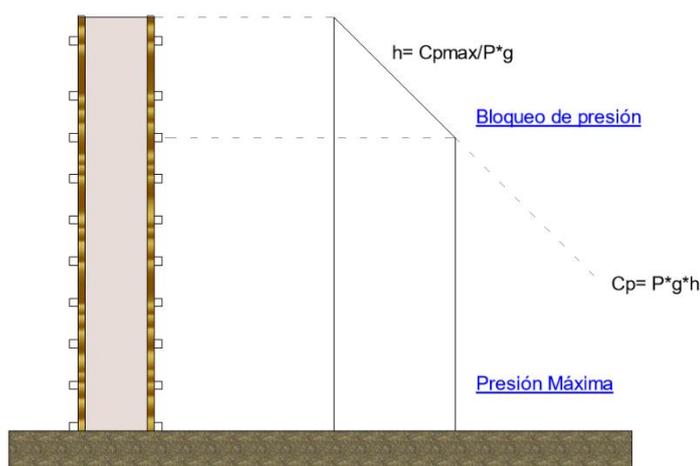


Figura No. 2 Distribución de presión lateral ejercida por el hormigón. Elaboración propia

En Ecuador no se dispone de una guía fundamental para poder estimar la presión del hormigón por lo que en base al ACI 347 R-14, se adaptó fórmulas en unidades del sistema internacional (SI) para poder tener un valor referencia de la presión máxima:

$$C_{CP} = \rho \cdot g \cdot h \quad Ec (1)$$

$$C_{CP\ max} = C_c C_w \left[7.2 + \frac{785R}{T + 17.8} \right] \quad Ec\ (2)$$

$$C_{CP\ max} = C_c C_w \left[7.2 + \frac{1156}{T + 17.8} + \frac{244R}{T + 17.8} \right] \quad Ec\ (3)$$

Donde:

$C_{CP\ max}$ = Presión máxima ejercida por el hormigón fresco (kPa)

R = Tasa de colocación del hormigón (m/h)

ρ = Densidad del hormigón (kg/m^3)

g = Gravedad (m/s^2)

h = Altura del elemento de hormigón (m)

T = Temperatura de colocación ($^{\circ}C$)

C_c = Coeficiente químico

C_w = Coeficiente del peso específico

Es importante determinar en qué casos se aplica cada una de las fórmulas y sus condiciones. Por otro lado, dentro del método se plantea el uso de un coeficiente químico C_c y un coeficiente de corrección por densidad C_w los cuales se presentan de esta manera:

Tabla No. 1 Aplicabilidad de ecuaciones Fuente: ACI 347 R-14

Asentamiento	Profundidad de Vibración Interna	Elemento	Tasa de Colocación	Ecuación de presión
> que 175 mm	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	<i>Ec (1)</i>
\leq a 175 mm	> que 1.20 metros	Cualquiera	Cualquiera	<i>Ec (1)</i>
\leq a 175 mm	\leq a 1.20 metros	Columna	Cualquiera	<i>Ec (2)</i>
		Muro \leq 4.20 metros de altura	< que 2.1 m/h	<i>Ec (2)</i>
		Muro > 4.20 metros de altura	< que 2.1 m/h	<i>Ec (3)</i>
		Muro	2.1 m/h a 4.5 m/h	<i>Ec (3)</i>
			> que 4.5 m/h	<i>Ec (1)</i>

Tabla No. 2 Coeficiente químico de corrección Fuente: ACI 347 R-14

Tipo de Cemento	Escoria	Ceniza Volante	Aditivo	C_c
I, II o III	No incluido	No incluido	Ninguno	1.0
			Se incluye	1.2
Cualquiera	Menor al 70%	Menor al 40%	Ninguno	1.2
			Se incluye	1.4
	Mayor o igual al 70%	Mayor o igual al 40%	Ninguno	1.4
			Se incluye	1.5

Tabla No. 3 Coeficiente de corrección por densidad del hormigón Fuente: ACI 347 R-14

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

Ejemplo: Calcular la presión que ejerce el hormigón sobre un encofrado de muro. La mezcla tiene un asentamiento de 200 milímetros, su densidad es de 2400 kg/m^3 , la temperatura es de 18°C y es vibrada a una profundidad de 1.25 metros. El muro mide 3 metros de altura y se vierte con una velocidad de 2 m/h. Se usa un cemento puro Tipo I con aditivos.

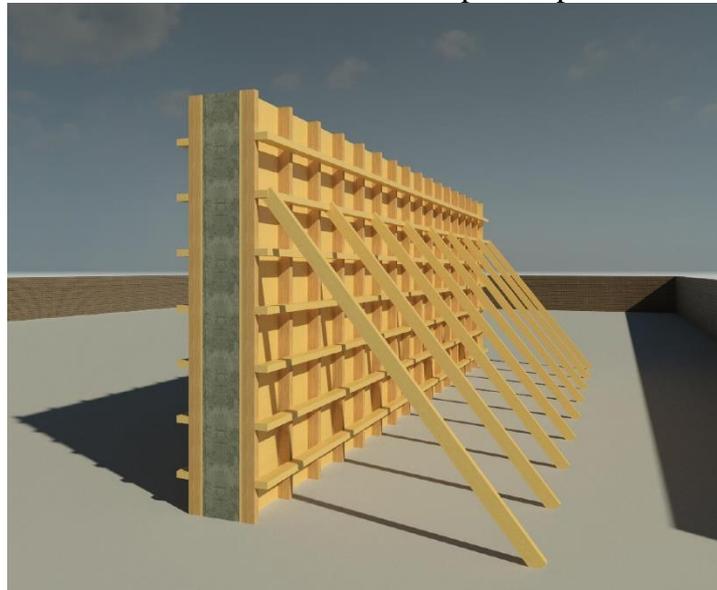


Figura No. 3 Encofrado de muro. Elaboración propia

$$C_{CP \max} = C_c C_w \left[7.2 + \frac{785R}{T + 17.8} \right]$$

$$\rho g h = 2400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 3 \text{ m} = 70632 \text{ Pa} = 70.6 \text{ kPa}$$

$$C_{CP \max} = 1.2 * 1.0 \left[7.2 + \frac{785(2)}{(18) + 17.8} \right] = 61.3 \text{ kPa}$$

$$30 C_w (\text{kPa}) \leq C_{CP \max} \leq \rho g h$$

$$30 \text{ kPa} \leq 61.3 \text{ kPa} \leq 70.6 \text{ kPa}$$

Valor de Diseño = 61.3 kPa

Estimar la presión de manera correcta permitirá diseñar y construir encofrados con seguridad, eficacia y responsabilidad. Consecuentemente, se evitará desperdicios de material o modificaciones de cronogramas preestablecidos.