

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

**Herramienta de Cálculo Para el Diseño de Encofrados de Madera  
de Elementos Verticales**

**Rodrigo Hidrobo Pérez**

**Ingeniería Civil**

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

Quito, 19 de Julio de 2021

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

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

**Herramienta de Cálculo Para el Diseño de Encofrados de Madera de  
Elementos Verticales de Hormigón**

**Rodrigo Hidrobo Pérez**

**Nombre del profesor, Título académico**

**Juan José Recalde, Ph.D.**

Quito, 19 de Julio de 2021

## © 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: Rodrigo Hidrobo Pérez

Código: 00116514

Cédula de identidad: 1720044377

Lugar y fecha: Quito, 19 de Julio de 2021

## **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## **UNPUBLISHED DOCUMENT**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 diseño de encofrados en el Ecuador, donde su principal material es la madera en la mayoría de los casos, se basa principalmente en métodos realizados de manera empírica sostenidos en la experiencia de los constructores, en la NEC no hay un procedimiento específico para este tipo de diseños que requieren de un procedimiento previo tanto analítico como matemático para obtener mejores resultados en la construcción que podrían implicar un ahorro de dinero significativo en comparación a los resultados que se obtienen por malas prácticas constructivas llevadas a cabo con frecuencia en el Ecuador aparte de brindar estructuras más seguras. En este proyecto se ha diseñado una herramienta de cálculo la cual permite un diseño de encofrados de madera para elementos verticales de hormigón específicamente para muros y columnas sostenida por fórmulas extraídas del ACI y de la NEC, el cual calcula la presión lateral que se genera en el proceso de fraguado del hormigón fresco, en los dos sistemas de unidades, la cual puede llegar a altos valores dependiendo de la altura del elemento, densidad del hormigón, asentamientos entre otros. Además, permite realizar un diseño de tableros, montantes, largueros y puntales con los cuales se pueden establecer ya las plantillas físicas de dibujo para planos de taller que de igual manera fueron realizadas en este proyecto como plantillas.

**Palabras clave:** Diseño de Encofrados, Madera, Hormigón, Presión Lateral, Herramienta de Cálculo.

## ABSTRACT

The design of foundries in Ecuador, where its main material is wood in most cases, is based mainly on methods carried out empirically and supported by the experience of builders, in the NEC there is no specific procedure for this type of designs that require a prior analytical and mathematical procedure to obtain better results in the construction that could imply a significant saving of money compared to the results obtained by bad construction practices carried out frequently in Ecuador apart from providing more structures. safe. In this project, a calculation tool has been designed which allows a design of wooden formwork for vertical concrete elements specifically for walls and columns, supported by formulas taken from the ACI and the NEC, which calculates the lateral pressure generated in the process of setting fresh concrete, in the two systems of units, which can reach high values depending on the height of the element, the density of the concrete, the settlements among others. In addition, it allows the design of boards, uprights, beams and struts with which the final drawing templates for workshop plans can be established, which were also made in this project as templates.

**Key words:** Design of foundries, Wooden, Concrete, Lateral Pressure, Calculation Tool.

## TABLA DE CONTENIDO

1. Introducción .....	13
1.1 Antecedentes.....	13
1.2 Justificación.....	14
1.3 Objetivos.....	15
1.4 Actividades.....	16
1.5 Resultados Esperados.....	16
1.6 Definiciones.....	16
2. Desarrollo del Tema.....	18
2.1 Revisión de Literatura.....	18
2.1.1 Propiedades del Hormigón Fresco.....	18
2.1.2 Presión Lateral del Hormigón Fresco.....	20
2.1.3 Sistema de Encofrados para Elementos Verticales.....	26
2.1.4 Propiedades de la Madera.....	42
2.2 Desarrollo.....	49
2.2.1 Arquitectura del Programa.....	50
2.2.2 Cálculo de la Presión Lateral.....	51
2.2.3 Diseño de Encofrado de Muro.....	54
2.2.3.1 Diseño de Tablero y Espaciamiento de Montantes.....	54
2.2.3.1.1 Diseño de Tableros Mediante la Adaptación de la NEC 2015.....	55
2.2.3.1.2 Diseño de Tableros Mediante el ACI-SP4.....	56
2.2.3.2 Diseño de Montantes y Espaciamiento de Largueros.....	61
2.2.3.3 Diseño del Tamaño de Largueros y Espaciamiento de Sujetadores....	62
2.2.3.4 Diseño de Sujetadores.....	63

2.2.3.5 Diseño de Puntales.....	64
2.2.4 Diseño de Encofrados de Columnas.....	65
2.2.4.1 Selección del Tablero y Espaciamiento de Cuartones.....	65
2.2.4.2 Interacción de Cuartones y Trabillas.....	67
2.2.4.3 Diseño de Puntales.....	69
3. Conclusiones y Recomendaciones.....	70
3.1 Conclusiones.....	70
3.2 Recomendaciones.....	71
Referencias bibliográficas .....	73
Anexo A: PLANTILLA DE DISEÑO PARA DISEÑO DE ENCOFRADO DE MADERA PARA MUROS.....	75
Anexo B: PLANTILLA DE DISEÑO PARA DISEÑO DE ENCOFRADO DE MADERA PARA COLUMNAS .....	76

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla No.1:</b> Aplicabilidad de fórmulas para el cálculo de la presión que ejerce el concreto. Fuente: (Johnston, 2014).....	24
<b>Tabla No.2:</b> Valores para Coeficiente Químico. Fuente: (Johnston, 2014).....	24
<b>Tabla No.3:</b> Valores para Coeficiente de Peso Unitario. Fuente: (Johnston, 2014).....	25
<b>Tabla No.4:</b> Aplicabilidad de fórmulas para el cálculo de la presión que ejerce el concreto. Fuente: (Beltrán, 2020).....	26
<b>Tabla No.5:</b> Valores para Coeficiente Químico. Fuente: (Beltrán, 2020).....	26
<b>Tabla No.6:</b> Valores para Coeficiente de Peso Unitario. Fuente: (Beltrán, 2020).....	27
<b>Tabla No.7:</b> Tipos de Madera Ecuatorianas según su densidad. Fuente: (NEC, 2015).....	43
<b>Tabla No.8:</b> Maderas Típicas para Encofrados en el Ecuador. Fuente: (Beltrán, 2020).....	43
<b>Tabla No.9:</b> Esfuerzos Admisibles (MPa). Fuente: (NEC, 2015).....	46
<b>Tabla No.10:</b> Esfuerzos Admisibles $\left(\frac{kg}{cm^2}\right)$ . Fuente: (Beltrán, 2020).....	47
<b>Tabla No.11:</b> Módulos de Elasticidad (MPa). Fuente: (NEC, 2015).....	47
<b>Tabla No.12:</b> Módulos de Elasticidad $\left(\frac{kg}{cm^2}\right)$ . Fuente: (Beltrán, 2020).....	47
<b>Tabla No.13:</b> Conformación de Tableros en el Ecuador. Fuente: (NEC, 2015).....	48
<b>Tabla No.14:</b> Valores de Diseño para Tableros Clase B. Fuente: (Johnston, 2014).....	49
<b>Tabla No.15:</b> Propiedades de Sección Efectiva para Tableros Tipo B. Fuente: (Johnston, 2014).....	49
<b>Tabla No.16:</b> Factor de Corrección por Duración de Carga. Fuente: (Johnston, 2014).....	56
<b>Tabla No.17:</b> Factor de Corrección por Condición de Humedad. Fuente: (Johnston, 2014).....	56

<b>Tabla No.18:</b> Factor de Corrección por Temperatura. Fuente: (Johnston, 2014).....	56
<b>Tabla No.19:</b> Factor de Corrección por Elementos Repetitivos. Fuente: (Johnston, 2014)...	57
<b>Tabla No.20:</b> Factor de Corrección por Tamaño y por Uso Plano. Fuente: (Johnston, 2014).....	57
<b>Tabla No.21:</b> Factor de Corrección por Incisión. Fuente: (Johnston, 2014).....	57
<b>Tabla No.22:</b> Propiedades para Tableros para el Diseño ACI-SP4. Factor KS. Fuente: (Johnston, 2014).....	58
<b>Tabla No.23:</b> Procedimiento de Cálculo para los factores para el Diseño ACI-SP4. Fuente: (Johnston, 2014).....	58
<b>Tabla No.24:</b> Espaciamiento de Cuartones para Tableros. Fuente: (Johnston, 2014).....	65

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura No.1:</b> Costos de elementos de construcción para estructuras de Hormigón. Fuente: (Hurd, 2005).....	15
<b>Figura No.2:</b> Fallo de Pilar en Puerto Quito en el 2016 por mal encofrado. Fuente: (El Comercio, 2016).....	16
<b>Figura No.3:</b> Hormigón en estado fresco en colocación. Fuente: (Pavex,2018).....	19
<b>Figura No.4:</b> Distribución de la presión lateral de hormigón. Fuente: (Johnston, 2014).....	22
<b>Figura No.5:</b> Elementos para el encofrado de un Muro. Fuente: (Beltrán, 2020).....	28
<b>Figura No.6:</b> Elementos para el encofrado de una Columna. Fuente: (Johnston, 2014).....	38
<b>Figura No.7:</b> Tabla de Datos de Entrada para el Cálculo de la Presión Lateral. Fuente: (Autor, 2021).....	49
<b>Figura No.8:</b> Tabla de Aplicabilidad de Fórmulas para Cálculo de la Presión Lateral. Fuente: (Autor, 2021).....	50
<b>Figura No.9:</b> Tabla No.1 de Cálculo de la Presión Lateral. Fuente: (Autor, 2021).....	50
<b>Figura No.10:</b> Tabla No.2 de Cálculo de la Presión Lateral. Fuente: (Autor, 2021).....	51
<b>Figura No.11:</b> Tabla No.3 de Cálculo de la Presión Lateral. Fuente: (Autor, 2021).....	51
<b>Figura No.12:</b> Gráfico de la Presión Lateral del Hormigón Calculada.Fuente: (Autor, 2021).....	52
<b>Figura No.13:</b> Tabla de Datos de Entrada para el Diseño de Tablero. Fuente: (Autor, 2021).....	53

<b>Figura No.14:</b> Tabla de Datos de Entrada para el Diseño de Tablero mediante la NEC.	
Fuente: (Autor, 2021).....	53
<b>Figura No.15:</b> Tabla del Diseño de Tablero mediante la NEC. Fuente: (Autor, 2021).....	53
<b>Figura No.16:</b> Tabla Datos de Entrada para el Diseño de Tablero ACI. Fuente: (Autor, 2021).....	57
<b>Figura No.17:</b> Tabla del Diseño de Tablero mediante el ACI-SP4. Fuente: (Autor, 2021)...	57
<b>Figura No.18 :</b> Tabla de Datos de Entrada para Diseño de Montantes. Fuente: (Autor, 2021).....	58
<b>Figura No.19 :</b> Tabla del Diseño de Montantes. Fuente: (Autor, 2021).....	59
<b>Figura No.20 :</b> Tabla del Diseño de Largueros y Espaciamiento de Sujetadores. Fuente: (Autor, 2021).....	60
<b>Figura No.21 :</b> Tabla de Datos de Entrada para el Diseño de Sujetadores. Fuente: (Autor, 2021).....	60
<b>Figura No.22 :</b> Tabla del Diseño de Sujetadores. Fuente: (Autor, 2021).....	61
<b>Figura No.23 :</b> Tabla de Datos de Entrada para Diseño de Puntales. Fuente: (Autor, 2021)..	61
<b>Figura No.24 :</b> Tabla del Diseño de Puntales. Fuente: (Autor, 2021).....	62
<b>Figura No.25 :</b> Tabla de Datos de Entrada para Selección de Tablero y Espaciado de Cuartones. Fuente: (Autor, 2021).....	63
<b>Figura No.26 :</b> Tabla de Espaciado de Cuartones. Fuente: (Autor, 2021).....	64
<b>Figura No.27 :</b> Tabla de Datos de Entrada para la Interacción de Cuartones y Trabillas. Fuente: (Autor, 2021).....	64
<b>Figura No.28 :</b> Tabla de Interacción de Cuartones y Trabillas. Fuente: (Autor, 2021).....	66

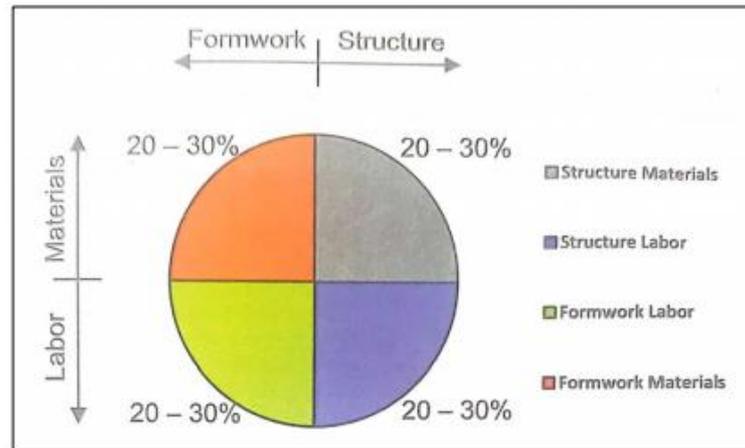
**Figura No.29** :Tabla de Datos de Entrada para Diseño de Puntales. Fuente: (Autor, 2021)..67

**Figura No.30** :Tabla del Diseño de Puntales. Fuente: (Autor, 2021).....67

## 1. Introducción

### 1.1 Antecedentes

Los encofrados, en la mayoría de casos, son hechos de madera los cuales sirven para contener, moldear y sostener al hormigón, que es el material que se usa para las construcciones en su mayoría de veces, hasta que haya cumplido con el proceso de endurecimiento mientras se encuentra en estado fresco. “En el Ecuador no existe una guía específica para el diseño de encofrados de madera, en este caso específico para elementos verticales como muros y columnas, por lo cual se terminan habituando practicas empíricas para estos procesos de diseño, que terminan afectando, por lo general, en un 30-40 % del rendimiento de la estructura del hormigón.”(Gonzales, 2009). Adicionalmente, esto se suma al costo que puede implicar una falla en dicha estructura por una mala practica constructiva que se llevan acabo en el país. Por otra parte tampoco se cuenta con una herramienta de cálculo la cual pueda determinar la presión lateral ejercida por el hormigón en estado fresco cuando se encuentra ya colocado el encofrado, se usan estimaciones empíricas, las cuales podrían llegar a terminar en eventos como la flejación del encofrado, pérdidas en la resistencia del hormigón, desparramiento del material por los costados, lo cual eventualmente puede llevar a una falla futura en los elementos en cuestión, lo cual terminaría en un alto costo para el responsable, esto lo podemos evidenciar en la siguiente figura la cual muestra como las malas practicas constructivas terminan siendo un costo adicional y en casos mayores excesivo para el constructor:



**Figura No.1:** Costos de elementos de construcción para estructuras de Hormigón.

Fuente: (Hurd, 2005).

## 1.2 Justificación

Es necesario y de suma importancia la incorporación de una herramienta de cálculo de Diseño de encofrados de madera la cual permita cálculos como la presión lateral del hormigón en estado fresco, diseño de geometría de tableros, largueros, montantes y puntales, la cuál permita ingresar las propiedades de los materiales tales como la madera, basándose en las especificaciones de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2015), para un mejor funcionamiento. Es por eso que en este proyecto se ha creado una herramienta para el uso de los ingenieros ecuatorianos, la cual permita un diseño seguro, es decir que evite en su mayor capacidad, las fallas de las estructuras por malos hábitos constructivos que se llevan a cabo en el Ecuador. Una de las ventajas de esta herramienta es que automatizará los cálculos que engloban a todo el proceso del diseño del encofrado, ya que no hay una guía específica en la NEC para este tipo de diseños y cálculos. Por otra parte esta herramienta evitará que se sigan haciendo prácticas empíricas, o estimaciones basadas en las experiencias de los constructores u ingenieros, llevando a cabo resultados que son perjudiciales tanto para el constructor en costos a futuro o en ese momento debido a algún tipo de falla como la pérdida de resistencia, flejación en los encofrados por una mala estimación de la presión ejercida por el mismo, o

aun mas grave, la falla de la estructura que podría ocasionar pérdidas irreparables, como también para el usuario al no encontrarse bajo estructuras seguras, disminuyendo asi la cantidad de estructuras informales llevadas a cabo por malas prácticas constructivas en el Ecuador. “El 60% de viviendas en Quito son de tipo informales, es decir, que no han sido aprobadas con planos.” (CAMICON, 2017).



**Figura No.2:** Fallo de Pilar en Puerto Quito en el 2016 por mal encofrado.

Fuente: (El Comercio, 2016).

### 1.3 Objetivos

A continuación se presenta el objetivo general y los objetivos específicos planteados para la resolución de la investigación:

El objetivo general del proyecto planteado es:

- a) Desarrollar una herramienta de cálculo para el diseño de encofrados de madera de elementos verticales de hormigón.

Los objetivos específicos planteados para el proyecto son los siguientes:

- a) Debe calcular la presión lateral del hormigón fresco.

- b) Diseña la geomtería y espaciamiento de apoyos de tableros, montantes, largueros y puntales.
- c) Permite ingresar propiedades mecánicas de la madera, o de la NEC.

#### 1.4 Actividades

Las actividades a realizarse en el proyecto son las siguientes:

- a) Realizar una revisión de literatura y ejemplos de diseño.
- b) Desarrollar herramienta de cálculo de la presión lateral del hormigón fresco.
- c) Desarrollar herramienta de diseño de tablero.
- d) Desarrollar herramienta de diseño de montantes y largueros.
- e) Desarrollar herramienta de diseño de puntales.
- f) Desarrollar plantillas de dibujo para planos de taller.

#### 1.5 Resultados Esperados

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

- a) Herramienta de cálculo de la presión lateral del hormigón fresco.
- b) Herramienta de diseño de tableros, montantes, largueros y puntales.
- c) Plantillas de dibujo para planos de taller.

#### 1.6 Definiciones

- a)  $C_{CP\ max}$ : Presión máxima ejercida por el hormigón fresco
- b)  $R$ : Tasa de colocación del hormigón
- c)  $w$ : Densidad del hormigón
- d)  $\rho$ : Densidad del hormigón
- e)  $g$ : Gravedad
- f)  $h$ : Altura del elemento del hormigón
- g)  $T$ : Temperatura de colocación

- h)  $C_C$ : Coeficiente químico
- i)  $C_w$ : Coeficiente del peso específico
- j)  $F_m$ : Esfuerzo Admisible de Flexión.
- k)  $F_t$ : Esfuerzo Admisible de Tracción Paralela.
- l)  $F_c$ : Esfuerzo Admisible de Compresión Paralela.
- m)  $F_{c\perp}$
- n) : Esfuerzo Admisible de Compresión Perpendicular.
- o)  $F_V$ : Esfuerzo Admisible de Corte Paralelo.

## 2. DESARROLLO DEL TEMA

### 2.1 Revisión Literaria

#### 2.1.1 Propiedades del Hormigón Fresco

El hormigón es un material que se encuentra constituido por elementos como el cemento, el agua, agregado fino y grueso, y en varias ocasiones se conforma de aditivos que influyen en sus características y comportamiento dependiendo de lo que se requiere. “El hormigón en estado fresco es aquel que ha terminado su proceso de mezclado y aun no ha sido colocado, sin sobrepasar un tiempo de 2 horas en C° corrientes y 1 hora en C° alta resistencia, desde el comienzo del amasado.”(Sanhueza, 2017).



**Figura No.3:** Hormigón en estado fresco en colocación.

Fuente: (Pavex,2018).

A continuación presentaremos las propiedades del hormigón en estado fresco las cuales son de suma importancia considerar al momento de su colocación en la obra:

#### **I. Asentamiento del Hormigón (Slump):**

“El asentamiento es una medida de la consistencia de concreto, que se refiere al grado de fluidez de la mezcla e indica qué tan seco o fluido está el concreto.”(Construmática,

2021). La presión lateral del hormigón comienza a generarse cuando el asentamiento del concreto sobrepasa las 7 pulgadas, cuando es inferior a dicha magnitud no tiene efecto. Para los casos en los que si hay una influencia, el ACI 347-R recomienda el uso de cabezas de presión líquida, el hormigón autoconsolidante de igual manera tiene varias ventajas al momento de su colocación sin embargo su alto impacto de fluidez se ve reflejado en cambios en la presión lateral.

No obstante hay un tipo de cemento Portland puzolánico llamado IP el cual cumple mediante los requerimientos de la norma ASTM C-595 por el cual se genera materiales tales como Clinker, la misma puzolona y el yeso mediante el proceso de molienda. (UNACEM, 2012).

## **II. Temperatura**

La temperatura del concreto juega un rol importante al momento de su colocación en obra ya que esta afecta directamente en el tiempo del proceso en el cual se coloca el hormigón. Cuando la temperatura es baja, el concreto procede a endurecerse de manera temprana, es por esta razón por lo que se puede colocarlo a una gran profundidad antes de que el fondo esté completamente endurecido antes de que se convierta en autoportante.

## **III. Densidad**

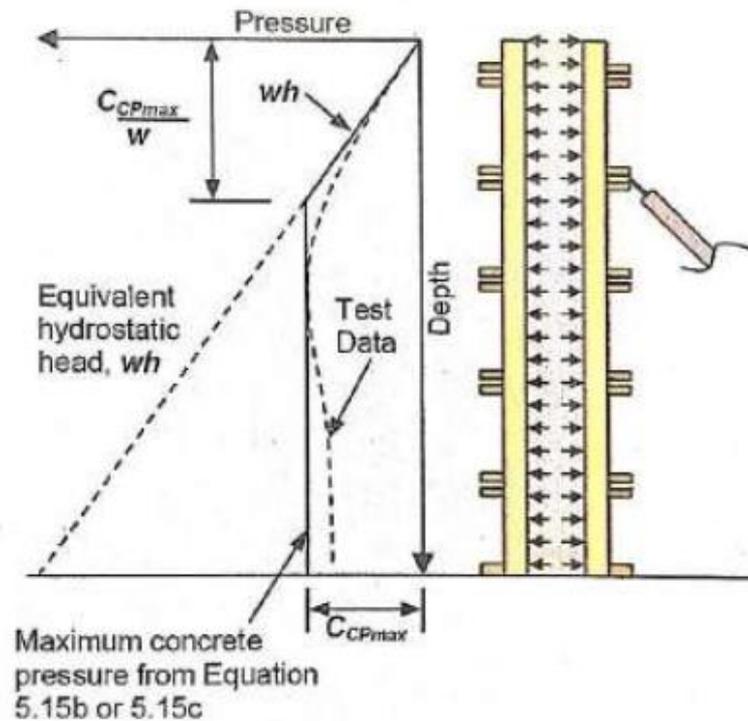
“El hormigón o concreto convencional, normalmente usado en pavimentos, edificios y otras estructuras, tiene un peso específico (densidad, peso volumétrico, masa unitaria) que varía de 2200 hasta 2400 kg/m<sup>3</sup>”.(Construmática, 2021). Dicha densidad del hormigón tiene una relación directa con la presión lateral ejercida en estado fresco cuando se lo encofra, esto debido a que la presión líquida, en un punto cualquiera del fluido en el que se encuentre, se produce por el peso del fluido superpuesto en cuestión, esto se debe a que el concreto en si es una combinación de elementos sólidos y líquidos, y no se comporta como un líquido en el

proceso de fundición. Además, los agregados finos que lo componen, reducen la densidad, mientras que en las fases principales de su colocación no hay una reducción del efecto de la presión de poros en el agua. Es por esta razón que el ACI 347-R hace énfasis en la inclusión de un coeficiente de densidad del hormigón denominado  $C_w$ , el cual se encarga de la corrección de la densidad del concreto.

### **2.1.2 Presión Lateral del Hormigón Fresco**

Para elementos verticales de la construcción, específicamente para muros y columnas, la presión lateral se va produciendo con respecto a la altura a la que se encuentre el material como principal factor de dependencia. Por otra parte hay factores menores de los que igual depende la presión lateral, tales como la densidad del concreto, la temperatura, su tasa de colocación y por último el tipo del concreto que se use para el caso en particular.

La presión lateral en su mayoría de casos, tiene una distribución completamente triangular para elementos verticales, sin embargo en algunos casos dicha presión llega a su punto máximo y en la parte inferior se genera una línea recta creando así una forma rectangular por debajo de la triangular, en la siguiente figura podemos observar la distribución de la presión lateral para casos generales:



**Figura No.4:** Distribución de la presión lateral de hormigón.

Fuente: (Johnston, 2014).

Para este proyecto se han implementado los dos sistemas de unidades más utilizados en el Ecuador, tanto el sistema inglés como el sistema internacional, para el diseño de encofrados empezando por la presión lateral. Ahora veremos las dos formas de cálculo de la presión lateral, en el sistema inglés propuesta por el ACI-SP4, y en el sistema internacional se usará la traducción realizada por Sebastián Beltrán en el año 2020.

### I. Ecuaciones por el ACI-SP4 (Sistema Inglés):

El ACI-SP4 propone las siguientes ecuaciones para el cálculo de la presión lateral en unidades del sistema inglés:

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

$$C_{CP\ max} = C_C * C_W * \left[ 150 + \frac{900R}{T} \right] \quad (2)$$

$$C_{CP \max} = C_C * C_w * \left[ 150 + \frac{43400}{T} + \frac{2800R}{T} \right] \quad (3)$$

Donde:

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

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

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

$h$ : Altura del elemento del hormigón  $[ft]$

$T$ : Temperatura de colocación  $[^{\circ}F]$

$C_C$ : Coeficiente químico

$C_w$ : Coeficiente del peso específico

Estas fórmulas se las aplican con respecto a la tabla que se presenta a continuación donde se encuentran parámetros como el asentamiento, la profundidad de vibrado, el tipo de elemento y la tasa de colocación:

**Tabla No.1:** Aplicabilidad de fórmulas para el cálculo de la presión que ejerce el concreto.

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

El asentamiento para determinar la presión lateral debe ser medido después de agregar aditivos.  
 Las columnas son definidas como elementos verticales sin plano de dimensión que exceda 6.5 [ft]  
 Los muros se definen como elementos verticales con por lo menos 1 plano de dimensión que exceda 6.5 [ft]

Fuente: (Johnston,2014).

Por otra parte se determina el coeficiente químico, dado esto se necesita saber varios parámetros tales como el tipo de cemento que se usa en el proceso de fundición, la ceniza volante, la escoria del concreto y los retardantes:

**Tabla No.2:** Valores para Coeficiente Químico.

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

Fuente: (Johnston,2014).

Por último, se determina el coeficiente de peso unitario el cual sirve para corregir la densidad del concreto:

**Tabla No.3:** Valores para Coeficiente de Peso Unitario.

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

Fuente: (Johnston,2014).

## II. Ecuaciones transcritas al sistema internacional por Sebastián Beltrán:

Las siguientes ecuaciones son las mismas ecuaciones del ACI-SP4 traducidas por Sebastián Beltrán en el año 2020, del sistema inglés al sistema internacional:

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

$$C_{CP \max} = C_C * C_w * \left[ 150 + \frac{900R}{T} \right] \quad (5)$$

$$C_{CP \max} = C_C * C_w * \left[ 150 + \frac{43400}{T} + \frac{2800R}{T} \right] \quad (6)$$

Donde:

$C_{CP \max}$ : Presión máxima ejercida por el hormigón fresco [kPa]

$R$ : Tasa de colocación del hormigón  $\left[ \frac{m}{h} \right]$

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

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

$h$ : Altura del elemento del hormigón [m]

$T$ : Temperatura de colocación [°C]

$C_C$ : Coeficiente químico

$C_w$ : Coeficiente del peso específico

De igual manera estas fórmulas se las aplican con respecto a la tabla que se presenta a continuación:

**Tabla No.4:** Aplicabilidad de fórmulas para el cálculo de la presión que ejerce el concreto.

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

Fuente: (Beltrán, 2020)

De igual manera se determina el coeficiente químico:

**Tabla No.5:** Valores para Coeficiente Químico.

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

Fuente: (Beltrán, 2020)

Y por último, de la misma manera se determina el coeficiente de peso unitario el cual sirve para corregir la densidad del concreto:

**Tabla No.6:** Valores para Coeficiente de Peso Unitario.

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

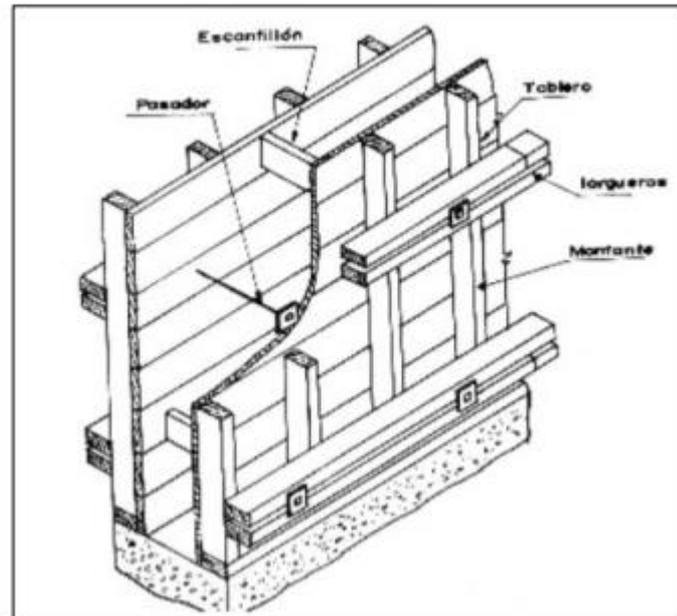
Fuente: (Beltrán, 2020)

### 2.1.3 Sistemas de Encofrados para Elementos Verticales

Un diseño de encofrado especifica la forma como deben armarse los elementos que lo componen. Al realizar un diseño de encofrado se buscan los siguientes objetivos: minimizar la cantidad de formaletas requeridas y minimizar el área no cubierta por elementos normalizados. (Martinez, 2019). Ahora se procederá a explicar el sistema de encofrado para Muros y Columnas.

#### I. Sistema de Encofrados para Muros

Los diseños de encofrados para muros están compuestos por elementos verticales, elementos horizontales, y elementos de soporte los cuales permiten una unión de sus piezas individuales de manera uniforme. Es de suma importancia que el usuario tenga la habilidad de reconocer cada uno de estos elementos ya que forman parte del diseño de encofrados en general, se los mostrará detalladamente en la siguiente figura:



**Figura No.5:** Elementos para el encofrado de un Muro.

Fuente: (Beltrán, 2020).

Los pasos a seguir para el diseño de encofrado para muros tiene pasos muy importantes a tomar en cuenta, los cuales deben ser realizados de manera secuencial y ordenada, son los siguientes:

a) Presión Lateral de Diseño

En donde se estima la presión máxima ejercida por el material mediante las fórmulas presentadas con anterioridad.

b) Espesor de Tablero y Espaciado de Montantes

En donde se deben realizar 3 chequeos: Chequeo por flexión, Chequeo por Deflexión y Chequeo por Cortante. “Los tableros de madera son elementos integrantes de los encofrados horizontales y se emplean para soportar y contener el vaciado del hormigón para forjados, losas y vigas, a fin de amoldarlo a la forma indicada en proyecto según especificaciones de la documentación correspondiente.”(Construmática, 2021). Mientras que

“Montante es toda pieza vertical que sin que pueda ser considerada como pilastra o columna sostiene a alguna construcción.” (Construmática, 2021).

Se utilizarón las siguientes ecuaciones:

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

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

Donde:

$C_{CP\ max}$ : Presión máxima ejercida por el hormigón fresco [kPa]

$S$ : Espaciamiento Asumido de Montantes[m]

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

$l$ : Longitud Máxima Permitida del Tramo[m]

$F'_m$ : Valor Ajustado de Diseño por Flexión [MPa]

$KS$ : Módulo de Sección Requerido[m<sup>3</sup>]

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

Donde:

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

$l$ : Longitud Máxima Permitida del Tramo[m]

$E'$ : Valor Ajustado de Módulo de Elasticidad [MPa]

$I$ : Inercia[m<sup>4</sup>]

$$l_c = \frac{F'_{rs} * \left(\frac{lb}{Q}\right)}{0.6 w}$$

Donde:

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

$l$ : Longitud Máxima Permitida del Tramo  $[m]$

$F'_v$ : Valor Ajustado de Diseño por Cortante por Madera  $[MPa]$

$\frac{lb}{Q}$ : Constante de Corte  $[m^2]$

c) Tamaño del Montante y Espaciado de Largueros

En donde se deben realizar 3 chequeos: Chequeo por flexión, Chequeo por Deflexión y Chequeo por Cortante. “ Los largueros son elementos estructurales que están apoyados en vigas o trabes, y sirven para soportar cargas de la losa, están colocados en forma horizontal, comúnmente son elementos de acero, y sirven para rigidizar la estructura total en donde están apoyadas.” (Construmática, 2021).

Se utilizarán las siguientes ecuaciones:

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

Donde:

$C_{CP \max}$ : Presión máxima ejercida por el hormigón fresco  $[kPa]$

$S$ : Espaciamiento Asumido de Montantes  $[m]$

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

$$I = \frac{b * h^3}{12}$$

Donde:

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

$b$ : Ancho del Montante [ $m$ ]

$h$ : Espesor del Montante [ $m$ ]

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

Donde:

$S_x$ : Módulo de Sección Requerido [ $m^3$ ]

$b$ : Ancho del Montante [ $m$ ]

$h$ : Espesor del Montante [ $m$ ]

$$l = 3.16 * \sqrt{\frac{F \cdot b \cdot S_x}{w}}$$

Donde:

$l$ : Longitud Máxima Permitida del Tramo [ $m$ ]

$F_m$ : Valor de Diseño por Flexión Admisible [ $MPa$ ]

$S_x$ : Módulo de Sección Requerido [ $m^3$ ]

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

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

Donde:

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

$l$ : Longitud Máxima Permitida del Tramo[m]

$E$ : Módulo de Elasticidad [MPa]

$I$ : Inercia[m<sup>4</sup>]

$$l = \frac{F_v * b * d}{0.9 * w} + 1.67 * d + 0.83 * l_b$$

Donde:

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

$l$ : Longitud Máxima Permitida del Tramo[m]

$F_v$ : Valor de Diseño por Cortante por Madera Admisible [MPa]

$b$ : Ancho del Larguero[m]

$h$ : Espesor del Larguero[m]

$l_b$ : Longitud de Contacto de Soportes[m]

d) Tamaño de Largueros y Espaciamiento de Soportes

En donde se deben realizar 3 chequeos: Chequeo por flexión, Chequeo por Deflexión y Chequeo por Cortante. “La función de un sujetador es crear un amarre con los largueros evitando que estos se desprendan o se abra, además de soportar los largueros” (Construmática, 2021).

Se utilizarán las siguientes ecuaciones:

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

Donde:

$C_{CP\ max}$ : Presión máxima ejercida por el hormigón fresco [kPa]

$S$ : Espaciamiento de Largueros[m]

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

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

Donde:

$S_x$ : Módulo de Sección Requerido[m<sup>3</sup>]

$b$ : Ancho del Larguero[m]

$h$ : Espesor del Larguero[m]

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

Donde:

$S_{x \min}$ : Módulo de Sección Mínimo[m<sup>3</sup>]

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

$l$ : Longitud Máxima Permitida del Tramo[m]

$F'_m$ : Valor de Diseño por Flexión Admisible [MPa]

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

Donde:

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

$l$ : Longitud Máxima Permitida del Tramo[m]

$F'_v$ : Valor de Diseño por Cortante por Madera Admisible [MPa]

$b$ : Ancho del Larguero[m]

$h$ : Espesor del Larguero[m]

$l_b$ : Longitud de Contacto de Soportes[m]

e) Diseño del Soporte o Pasador

En el diseño del soporte se va a comprobar en primera instancia la longitud de tramo asumida para diseño del pasador.

Se utilizarán las siguientes ecuaciones:

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

Donde:

$C_{CP \max}$ : Presión máxima ejercida por el hormigón fresco [kPa]

$S$ : Espaciamiento de Largueros[m]

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

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

Donde:

$A$ : Área de la Varilla de Refuerzo[m<sup>2</sup>]

$w$ : Diámetro de la Varilla de Refuerzo[m]

$$F_u = F_y * A$$

Donde:

$F_u$ : Capacidad Permisible del Sujetador[kN]

$F_y$ : Esfuerzo de Fluencia [MPa]

A: Área de la Varilla de Refuerzo [ $m^2$ ]

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

f) Chequeo de Tensiones por Contacto

En el chequeo de tensiones por contacto vamos a tomar en cuenta dos tipos de interacciones. El uno trata sobre la unión de los pasadores con los largueros y el último sobre el contacto de los montantes con los largueros.

Se utilizarán las siguientes ecuaciones:

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

Donde:

$C_{CP \max}$ : Presión máxima ejercida por el hormigón fresco [ $kPa$ ]

$S$ : Espaciamiento de Largueros [ $m$ ]

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

$$P = 1.1 * w * l$$

Donde:

$P$ : Reacción de la Carga Transmitida del Montante al Larguero [ $kN$ ]

$l$ : Espaciamiento de Largueros [ $m$ ]

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

$$A_{\text{contacto}} = b_{\text{placa}} * \# \text{ largueros} * b_{\text{largueros}}$$

Donde:

$A_{contacto}$ : Área de Contacto [ $m^2$ ]

$b_{placa}$ : Ancho de Placa de Sujetadores [ $m$ ]

$b$ : Ancho del Larguero [ $m$ ]

$$f_{perp.} = \frac{P}{A}$$

Donde:

$f_{perp.}$ : Esfuerzo Actante de Compresión Perpendicular [ $MPa$ ]

$P$ : Reacción de la Carga Transmitida del Montante al Larguero [ $kN$ ]

$A_{contacto}$ : Área de Contacto [ $m^2$ ]

g) Arriostramiento Lateral para Encofrados de Muros

Para el procedimiento de colocación del puntal, por lo general en obra se crea en base a la experiencia del constructor, es decir se lo realiza de manera empírica. “Los puntales o arriostramientos cumplen la función principal de resistir cargas laterales de cualquier tipo.” (Construmática, 2021). Para este tema debemos calcular una carga de referencia de viento donde necesitamos hacer una comprobación con respecto al pandeo del puntal.

Se utilizarán las siguientes ecuaciones:

$$F_w = H * h$$

Donde:

$F_w$ : Fuerza del Viento [ $kN$ ]

$H$ : Carga de Viento Mínima por el ACI – SP4  $\left[ \frac{kN}{m} \right]$

$h$ : Altura del Muro [ $m$ ]

$$H' = 0.55 * h$$

Donde:

$H'$ : Carga de Viento Mínima a una distancia 0.55 h[m]

$h$ : Altura del Muro[m]

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

Donde:

$P$ : Reacción del Puntal[kN]

$z$ : Separación Asumida entre Puntales a lo Largo del Elemento[m]

$H$ : Carga de Viento Mínima por el ACI – SP4  $\left[ \frac{kN}{m} \right]$

$h$ : Altura del Muro[m]

$L$ : Longitud del Puntal[m]

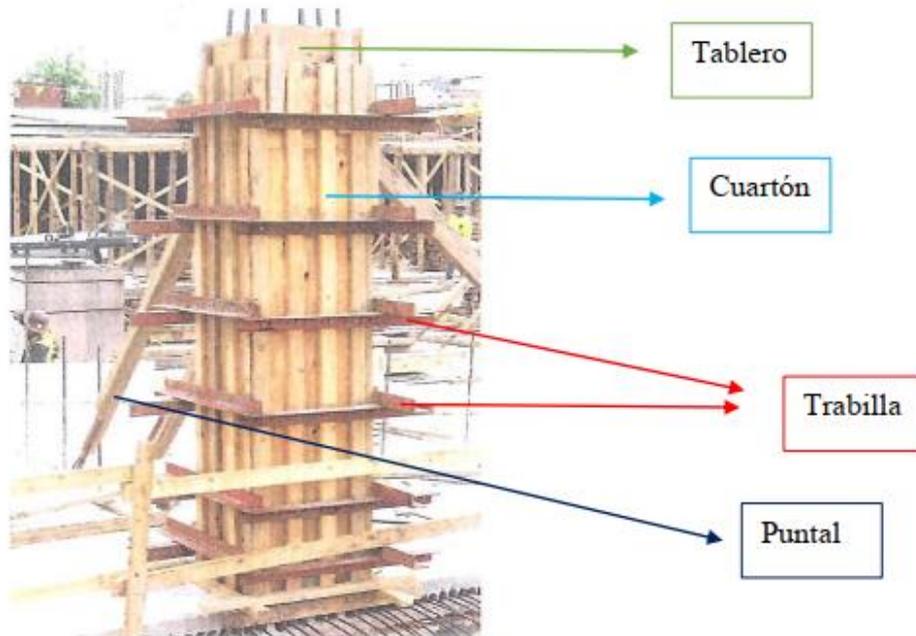
$x$ : Distancia Horizontal del Puntal[m]

$y$ : Distancia Vertical del Puntal[m]

## II. Sistema de Encofrados para Columnas

Los diseños de encofrados para columnas, de igual manera, están compuestos por elementos verticales y elementos horizontales, los cuales trabajan entre sí creando un funcionamiento ideal para los encofrados. La disponibilidad de los equipos de trabajo, los materiales, su costo, las dimensiones de la columna y la realización de los materiales, es lo que englobarán a un proceso correcto para este método de diseño de encofrado. Es de suma

importancia que el usuario tenga la habilidad de reconocer cada uno de estos elementos ya que forman parte del diseño de encofrados en general, se los mostrará detalladamente en la siguiente figura:



**Figura No.6:** Elementos para el encofrado de una Columna.

Fuente: (Johnston, 2014).

Los pasos a seguir para el diseño de encofrado para muros tiene pasos muy importantes a tomar en cuenta, los cuales deben ser realizados de manera secuencial y ordenada, son los siguientes:

a) Presión Lateral de Diseño

En donde se estima la presión máxima ejercida por el material mediante las fórmulas presentadas con anterioridad.

b) Selección del Tablero y Espaciamiento de Cuartones

En donde se deben realizar los cálculos del espesor del tablero y ubicación de los cuartones . “El cuartón es una pieza de madera con secciones inferiores a la viga y superiores a los listones, que resulta de cortar longitudinalmente una pieza entera. Por lo general los cuartones son utilizados en el área de la construcción para armar encofrados y hacer tableros.” (Construmática, 2021).

c) Interacción de Cuartones y Trabillas

En donde se deben realizar 3 chequeos: Chequeo por flexión, Chequeo por Deflexión y Chequeo por Cortante. “La trabilla es una Viga horizontal de madera o acero destinada a asegurar una estructura provisional o para contener las tierras en el borde de un terraplén; también llamada larguero..” (Construmática, 2021).

Se utilizarán las siguientes ecuaciones:

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

Donde:

$C_{CP\ max}$ : Presión máxima ejercida por el hormigón fresco [kPa]

$S$ : Espaciamiento de Cuartones[m]

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

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

Donde:

$S_x$ : Módulo de Sección Requerido[m<sup>3</sup>]

$b$ : Ancho del Cuartón[m]

$h$ : Espesor del Cuartón[m]

$$l = 3.16 * \sqrt{\frac{F_m * S_x}{w}}$$

Donde:

$l$ : Longitud Máxima Permitida del Tramo[m]

$F_m$ : Valor de Diseño por Flexión Admisible [MPa]

$S_x$ : Módulo de Sección Requerido[m<sup>3</sup>]

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

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

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

Donde:

$I$ : Inercia[m<sup>4</sup>]

$b$ : Ancho del Cuartón[m]

$h$ : Espesor del Cuartón[m]

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

$l$ : Longitud Máxima Permitida del Tramo[m]

$E$ : Módulo de Elasticidad [MPa]

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

Donde:

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

$l$ : Longitud Máxima Permitida del Tramo  $[m]$

$F_v$ : Valor de Diseño por Cortante por Madera Admisible  $[MPa]$

$b$ : Ancho de la Trabilla  $[m]$

$h$ : Espesor de la Trabilla  $[m]$

$l_b$ : Longitud de Contacto de Soportes  $[m]$

d) Selección de Trabillas y Espaciamiento Final

En esta sección debemos de las longitudes máximas permitidas de tramo calculadas para flexión, cortante y deflexión se escoge el menor valor.

e) Arriostamiento Lateral para Encofrados de Columnas

Para el procedimiento de colocación del puntal, de igual forma que para los muros, por lo general en obra se crea en base a la experiencia del constructor, es decir se lo realiza de manera empírica. Para el diseño del puntal que no contiene carga de viento únicamente se necesita determinar la geometría y hacer la comprobación de su esbeltez.

Se utilizarán las siguientes ecuaciones:

$$F_w = H * h$$

Donde:

$F_w$ : Fuerza del Viento  $[kN]$

$H$ : Carga de Viento Mínima por el ACI – SP4  $\left[\frac{kN}{m}\right]$

$h$ : Altura del Muro  $[m]$

$$H' = 0.55 * h$$

Donde:

$H'$ : Carga de Viento Mínima a una distancia 0.55 h[m]

$h$ : Altura del Muro[m]

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

Donde:

$P$ : Reacción del Puntal[kN]

$z$ : Separación Asumida entre Puntales a lo Largo del Elemento[m]

$H$ : Carga de Viento Mínima por el ACI – SP4  $\left[ \frac{kN}{m} \right]$

$h$ : Altura del Muro[m]

$L$ : Longitud del Puntal[m]

$x$ : Distancia Horizontal del Puntal[m]

$y$ : Distancia Vertical del Puntal[m]

#### 2.1.4 Propiedades de la Madera

La madera es el material que se usa de manera más común para cualquier tipo de encofrados. “La Madera es un material extraído del tronco de los árboles que se utiliza en muchos elementos constructivos y también como combustible, está constituida por el conjunto de tejido que forman la masa de los troncos de los árboles, desprovistos de su

corteza. Es el material de construcción más ligero, resistente y fácil de trabajar, utilizado por el hombre desde los primeros tiempos.” (Construmática, 2021).

La madera en el Ecuador es clasificada por la NEC en varios tipos según su densidad básica que se encuentra en  $\left(\frac{g}{cm^3}\right)$  como se muestra a continuación en la siguiente tabla:

**Tabla No.7:** Tipos de Madera Ecuatorianas según su densidad.

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

	Madera Estructural
	Madera No Estructural

Fuente: (NEC, 2015).

En la siguiente tabla se prosigue con una muestra de un conjunto de maderas del Ecuador las cuáles se distinguen por ser las más usadas en el ámbito de encofrados. Estas maderas basan su uso en las construcciones dependiendo de su disponibilidad y costo, en donde se debe extraer la mejor relación costo:seguridad.

**Tabla No.8:** Maderas Típicas para Encofrados en el Ecuador.

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

Fuente: (Beltrán, 2020)

## I. La Madera y su Clasificación según sus Clases de Uso

### a) Tipo A

Este tipo de maderas son de características pesadas y con dureza considerable, esto se debe a su alta densidad. Las maderas de Tipo A son utilizadas para elementos como: pilotes, elementos para construcción de puentes, columnas, vigas, puntales, viguetas, puertas, pisos, muebles con procedimiento de tallado y chapas que sirven para la decoración de los hogares. Por lo general, este tipo de maderas no logran tener defectos físicos los cuales se presentan en mínimos casos.

### b) Tipo B

Este tipo de maderas son de características semi pesadas y clasificada en su dureza como semidura. Las maderas de tipo B son usadas para elementos como: paneles de encofrados, ventanillas o ventanas, puertas, tablones, pasamanos y tablones. Cuando este tipo de maderas tienen un buen tratamiento para su desempeño, estas pueden ser utilizadas como elementos estructurales como: columnas, viguetas, puntales y

dinteles. Para los sistemas de encofrados no es necesario tener una alta clasificación de estilo visual para el usuario, sin embargo si deben tener un tratamiento adecuado y un secado para mejorar su rendimiento intrínseco.

c) Tipo C

Este tipo de maderas son de características livianas o blandas. La madera tipo C es utilizada comunmente para elementos que son encargados de formar los encofrados, por otra parte sirven para realizar este tipo de parámetros como: diafragmas, cerchas, aglomerados, contrachapados, cuerdas, listones, revestimientos y cielos rasos.

d) Tipo D

Este tipo de maderas son de características muy livianas o muy blandas. La madera de tipo D es utilizada para ciertos tipos de elemento para sistemas de encofrado, sin embargo también puede ser usada para actividades o elementos como: cajonería, aislantes termo acústicos, etc. Su durabilidad natural es menor en comparación con los otros tipos de madera ya que al no estar sujeta a esfuerzos permanentes y su uso es temporal y no permanente.

## **II. La Madera y su Clasificación según su Calidad**

a) Tipo A

Este tipo de maderas tienen las mejores características tanto mecánicas como físicas, una de sus mayores ventajas es que su alta calidad disminuye a una nulidad cisible de defectos superficiales. Por otra parte, esta clasificación de maderas se las hace en base a su estado de sanidad, es decir que no hayan tenido manifestación de hongos o ataques de insectos.

b) Tipo B

Este tipo de maderas pueden manifestar algunas fallas tanto físicas como mecánicas afectando directamente al elemento, no obstante estas fallas pueden ser corregidas.

Una de las ventajas de esta madera es que su producción produce desperdicios en muy baja cantidad. Por otro lado esta madera si puede presentar problemas en su estado de sanidad, sin embargo no afectan considerablemente al espesor o la calidad del elemento.

c) Tipo C

Este tipo de maderas tienen fallas visibles tanto mecánicas como visualmente a lo largo del objeto. Estas imperfecciones son más complicadas de corregir sin embargo se lo puede hacer de manera parcial, mientras que sus desperdicios son generados de igual manera en una cantidad más elevada y se torna complicado su limpieza.

d) Tipo D

Este tipo de maderas tienen desperfectos tanto mecánicos, como físicos y por último de sanidad. A este tipo de maderas no se las puede reaserrar o realizar un terminado de manera correcta. Es utilizada de manera temporal para determinados elementos de encofrado.

### **III. Propiedades Mecánicas de la Madera**

a) Diseño por Esfuerzos Admisibles

Se debe diseñar, construir y empalmar a todos los elementos que serán parte del sistema de encofrados, tanto para muros como para columnas, esto se lo realiza con la finalidad de resistir los esfuerzos que se generan por la interacción entre elementos y por las cargas que deben soportar. Es por esta razón que debemos cumplir con la siguiente condición:

$$\text{Esfuerzos Aplicados} < \text{Esfuerzos Admisibles}$$

b) Valores de Diseño de Esfuerzos Admisibles

A la madera la podemos clasificar en A, B y C, dependiendo de su densidad, esta clasificación determina el valor de los esfuerzos admisibles para fenómenos de una variedad de esfuerzos como los siguientes: flexión, tracción, compresión y cortante.

**Tabla No.9:** Esfuerzos Admisibles (MPa).

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

Fuente: (NEC, 2015).

**Tabla No.10:** Esfuerzos Admisibles  $\left(\frac{kg}{cm^2}\right)$ .

Esfuerzos Admisibles (kg/cm <sup>2</sup> )					
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

Fuente: (Beltrán, 2020).

c) Módulos de Elasticidad

El módulo de Young, también conocido como el módulo de Elasticidad, tiene un rol muy importante al momento del diseño de encofrados el cual tiende a cambiar dependiendo de la clasificación que se realizó en base al tipo de madera. En la mayoría de casos, se usa el módulo de elasticidad promedio para el diseño de elementos en los que haya una interacción entre estos como para viguetas y tabiques.

**Tabla No.11:** Módulos de Elasticidad (MPa).

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

Fuente: (NEC, 2015).

**Tabla No.12:** Módulos de Elasticidad  $\left(\frac{kg}{cm^2}\right)$ .

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

Fuente: (Beltrán, 2020).

#### IV. Tableros

##### a) Maderas para Tableros de Encofrado

A continuación se muestra la tabla donde se encuentran las maderas más usadas para el diseño de tableros de encofrado. Cabe recalcar que la categoría de MDP, MDF o Tríplex se la realiza mediante la Tabla No. 7, la información que proporciona dicha tabla también se la podría determinar mediante el proveedor para una mayor exactitud en los datos. Los tableros tienen la posibilidad, de igual manera, de ser elaborados de otros tipos de maderas que se encuentran en la Tabla No. 8 a través de un proceso de cepillado el cual brinda un mejor acabado.

**Tabla No.13:** Conformación de Tableros en el Ecuador.

Tableros de Encofrados			
Nombre	Proveedor	Densidad Básica (g/cm <sup>3</sup> )	Grupo
MDP	Novopan	0.77-0.60	A-B
MDF	Edimca	0.77	A
Dura triplex	Edimca	0.57	B
Triplex Marino	Edimca	0.61-0.48	B-C
Triplex Corriente	Edimca	0.53-0.34	C-D

Fuente: (NEC, 2015).

##### b) Valores de Diseño para Tableros

Para el diseño de tableros, hablando específicamente en el diseño de encofrados para muros, es de suma importancia tener en cuenta ciertas características las cuales se

enseñan a continuación en las dos siguientes tablas. Ya que en el Ecuador no se puede obtener estos datos, se ha conformado una transformación del ACI-SP4(14) de valores de diseños para tableros de encofrados Clase B realizada por Sebastián Beltrán en el año 2020. Los valores cambian con respecto a sus proveedores por lo que deben ser comprobados en base al tipo de tablero que se haya escogido para el caso.

**Tabla No.14:** Valores de Diseño para Tableros Clase B.

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 <sup>2</sup> )	Factor de Experiencia $C_e=1.3$	Coefficiente de Duración $C_d$	$C_d=1.0$	$C_d=1.25$
Flexión $F'_m$	$F_m$ 83.5	1.3	x $C_d$	108.6	135.7
Cortante $F'_{rs}$	$F_{rs}$ 3.1	1.3	x $C_d$	4.0	5.0
Contacto en cara $F'_{c1}$	$F_{c1}$ 14.7	1.3	x $C_d$	19.1	23.9
Módulo de Elasticidad(Solo deflexión por flexión) $E'$	$E$ 105460	-	-	105460	105460
Módulo de Elasticidad(Solo deflexión por cortante) $E'$	$E$ 105460	-	-	105460	105460
Módulo de Elasticidad(Deflexión cortante y flexión) $E'$	$E$ 116000	-	-	116000	116000

Fuente: (Johnston, 2014).

**Tabla No.15:** Propiedades de Sección Efectiva para Tableros Tipo B.

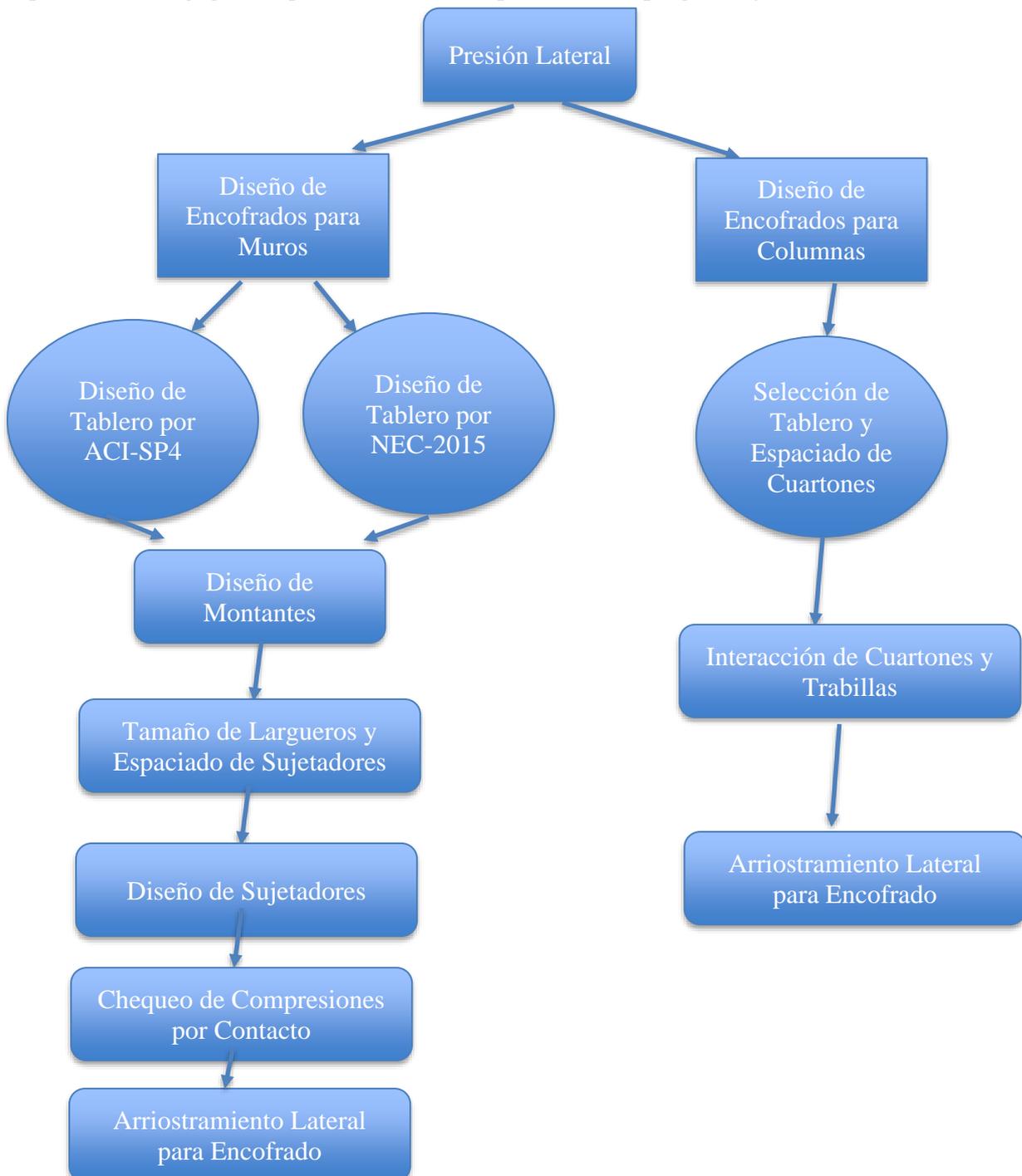
Propiedades de Sección Efectiva para Tableros Clase B						
Espesor	30(cm) de ancho usada con fibra frontal paralela al vano			30(cm) de ancho usada con fibra frontal perpendicular al vano		
	Momento de Inercia	Módulo Sección Efectiva	Constante de Corte	Momento de Inercia	Módulo Sección Efectiva	Constante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

Fuente: (Johnston, 2014).

## 2.2 Desarrollo

### 2.2.1 Arquitectura del Programa

El programa se conforma de tres pestañas para los diferentes cálculos, donde primero obtenemos los cálculos de la presión lateral del hormigón fresco mediante las ecuaciones mencionadas anteriormente en la sección 2.1.2, después se encuentra la pestaña que corresponde al diseño de encofrados de madera para muros, y por último la pestaña que corresponde a los cálculos del diseño de encofrados para columnas. A continuación se presenta un flujograma que demuestra la arquitectura del programa y como funciona en sí:



### 2.2.2 Cálculo de la Presión Lateral

El primer cálculo que realiza la herramienta, es el cálculo de la presión lateral usando la metodología vista en la sección 2.1.2 donde se explica a fondo el procedimiento y las ecuaciones utilizadas para dicho cálculo. En esta sección veremos como funciona este cálculo en la herramienta, el procedimiento que se realizo para obtener la función para este cálculo y como esta compuesta.

El programa comienza con una tabla de inputs donde el usuario debe ingresar los datos de entrada que obtiene con mediciones requeridas antes de usar la herramienta tales como asentamiento, profundidad de vibración, tasa de colocación, densidad del concreto, tipo de elemento y su altura, la temperatura de colocación y las condiciones del cemento como su tipo, escoria y ceniza volante. Como podemos observar en la figura los datos de entrada se piden en sistema inglés, sin embargo hay una ventana con los mismos parámetros a ingresar para el sistema internacional dependiendo de las unidades en las que se quiera trabajar.

Datos de Entrada (Sistema Inglés )		
Ingresar los Valores de los Sigüientes Parámetros en las Unidades del Sistema Inglés		
Parámetro	Valor	Unidad
Asentamiento	9	[in]
Profundidad de Vibración Interna	3	[ft]
Elemento	Muro	[ft]
Tasa de colocación (R)	15	[ft/h]
Densidad del Hormigón (w)	23,65	[lb ft <sup>3</sup> ]
Altura del Elemento de Hormigón (h)	3	[ft]
Temperatura de Colocación (T)	89	°F
Tipo de Cemento, Escoria de Cemento y Ceniza Volante	(Cualquier Tipo de Cemento) (Escoria de Cemento >= 70 %) (Ceniza Volante >= 40 %) ( Retardante Incluido)	-

**Figura No.7:**Tabla de Datos de Entrada para el Cálculo de la Presión Lateral.

Fuente: (Autor, 2021).

Una vez ingresado los datos de entrada, el programa se dirige a la parte de cálculos donde el usuario no debe ingresar ningún dato, solo recoger los cálculos que han sido

determinados. La siguiente ventana de cálculos es una tabla de aplicabilidad donde te indica cual de las 3 ecuaciones disponibles es la que se usará para determinar la presión lateral mediante los datos de entrada que el usuario haya colocado.

Tablas de Cálculos		
Aplicabilidad de fórmulas para el cálculo de la presión que ejerce el concreto		
Parámetro	Valor	Unidad
Asentamiento	9	[in]
Profundidad de Vibración Interna	3	[ft]
Elemento	Muro	[ft]
Tasa de colocación (R)	15	[ft/h]
Número de Ecuación de Presión	Fórmula	Uso
Ecuación de Presión (1)	$C_{CP} = w * h$	Se usa la ecuación 1
Ecuación de Presión (2)	$C_{CP\ max} = C_c * C_w * \left[ 150 + \frac{900R}{T} \right]$	No se usa la ecuación 2
Ecuación de Presión (3)	$C_{CP\ max} = C_c * C_w * \left[ 150 + \frac{43400}{T} + \frac{2800R}{T} \right]$	No se usa la ecuación 3

**Figura No.8:**Tabla de Aplicabilidad de Fórmulas para Cálculo de la Presión Lateral.

Fuente: (Autor, 2021).

El progama continua mostrando el proceso de cálculo de la presión lateral mediante la ecuación determinada indicando con un mensaje celesta la tabla de proceso que se esta utilizando para calcular la presión lateral, y bloqueando las otras dos tablas con un mensaje en rojo avisando que esas dos tablas no fueron usadas.

Se usa la ecuación 1	Presión Lateral Ejercida por el Hormigón Fresco Mediante Ecuación de Presión 1		
	Parámetro	Valor	Unidad
	Densidad del Hormigón (w)	23,65	[lb/ft <sup>3</sup> ]
	Altura del Elemento de Hormigón (h)	3	[ft]
Presión Lateral (C <sub>CP</sub> )	70,95	[lb/ft <sup>2</sup> ]	

**Figura No.9:**Tabla No.1 de Cálculo de la Presión Lateral.

Fuente: (Autor, 2021).

Presión Lateral Máxima Ejercida por el Hormigón Fresco Mediante Ecuación de Presión 2		
Parámetro	Valor	Unidad
Densidad del Hormigón (w)	23,65	[lb/ft <sup>3</sup> ]
Tasa de colocación (R)	15	[ft/h]
Temperatura de Colocación (T)	89	°F
Tipo de Cemento, Escoria de Cemento y Ceniza Volante	(Cualquier Tipo de Cemento) (Escoria de Cemento >= 70 %) (Ceniza Volante >= 40 %) (Retardante Incluido)	.
C <sub>c</sub>	1,5	-
C <sub>w</sub>	0,58	-
Presión Lateral (C <sub>CP MAX</sub> )	264,22	[lb/ft <sup>2</sup> ]

**Figura No.10:**Tabla No.2 de Cálculo de la Presión Lateral.

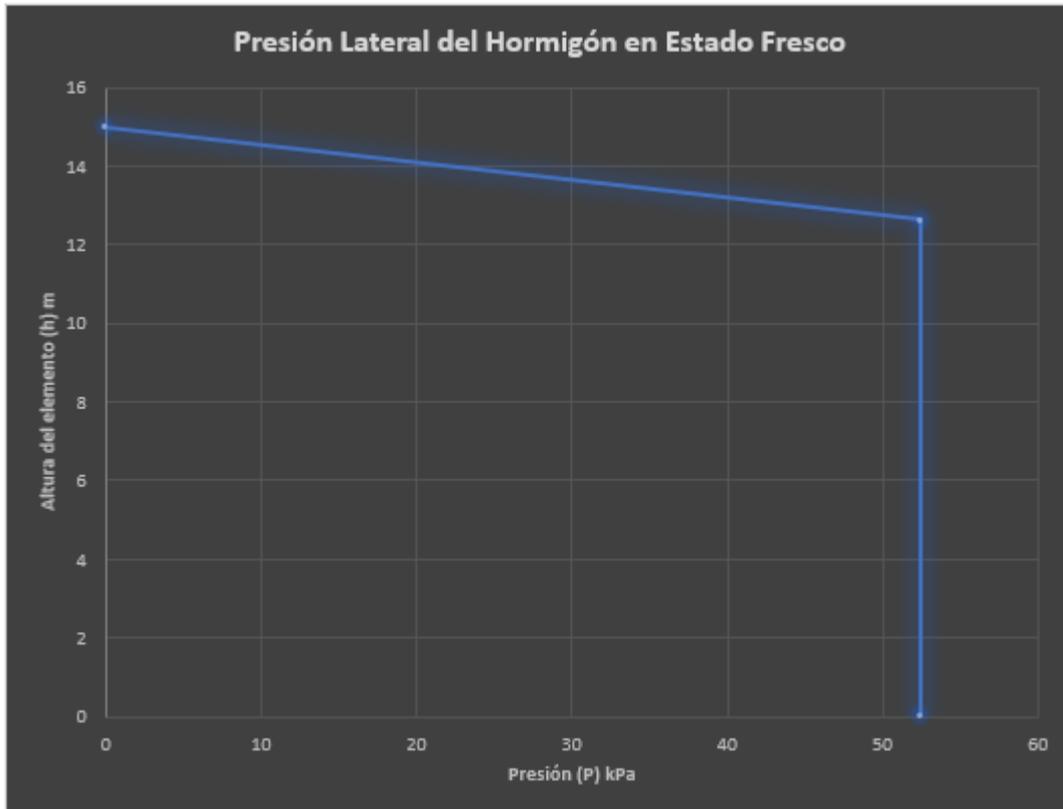
Fuente: (Autor, 2021).

Presión Lateral Máxima Ejercida por el Hormigón Fresco Mediante Ecuación de Presión 3		
Parámetro	Valor	Unidad
Densidad del Hormigón (w)	23,65	[lb/ft <sup>3</sup> ]
Tasa de colocación (R)	15	[ft/h]
Temperatura de Colocación (T)	89	°F
Tipo de Cemento, Escoria de Cemento y Ceniza Volante	(Cualquier Tipo de Cemento) (Escoria de Cemento >= 70 %) (Ceniza Volante >= 40 %) (Retardante Incluido)	.
C <sub>c</sub>	1,5	-
C <sub>w</sub>	0,58	-
Presión Lateral (C <sub>CP MAX</sub> )	971,74	[lb/ft <sup>2</sup> ]

**Figura No.11:**Tabla No.3 de Cálculo de la Presión Lateral.

Fuente: (Autor, 2021).

Por último, en esta sección, la herramienta entrega un gráfico de la presión lateral que se ha realizado de igual manera mediante los datos de entrada que ha colocado el usuario y varios datos que han sido calculados en la sección de cálculos.



**Figura No.12:** Gráfico de la Presión Lateral del Hormigón Calculada.

Fuente: (Autor, 2021).

### 2.2.3 Diseño de Encofrados de Muros

La siguiente ventana de la herramienta brinda el diseño de encofrados de madera para muros y todo el procedimiento de cálculo y los diferentes chequeos que se deben cumplir mediante las medidas que ingrese el usuario, la primera tabla de datos de entrada pregunta al usuario que tipo de sistema de unidades utilizó para el cálculo de la presión lateral, si el sistema inglés o el sistema internacional y en base a eso trae la presión lateral de la anterior pestaña ya con las unidades en kPa la cual se utilizará para todo el proceso de diseño .

#### 2.2.3.1 Diseño de Tablero y Espaciamiento de Montantes

De igual manera que para la sección del cálculo de la presión lateral, para el diseño de encofrados de muros, el usuario debe ingresar los datos de entrada en las primeras tablas, en este caso para el diseño de Tablero y espaciamiento de montantes, el usuario tiene la opción de escoger entre dos opciones, el diseño adaptado a la NEC 20115, o el diseño realizado mediante el procedimiento del ACI-SAP4.

Datos de Entrada		
¿Qué Sistema de Unidades Utilizó para el Cálculo de la Presión Lateral del Hormigón Fresco?		
Sistema Internacional [kPa]		
Presión Lateral ( $C_{CP MAX}$ )	52,400	[kPa]
¿Cuál Procedimiento va a Escoger para el Diseño de Tablero?		
Adaptación NEC 2015		

**Figura No.13:**Tabla de Datos de Entrada para el Diseño de Tablero.

Fuente: (Autor, 2021).

### 2.2.3.1.1 Diseño de Tableros Mediante la Adaptación de la NEC 2015

Para el diseño de tablero que se ha adaptado a la NEC se empieza con una tabla de datos de entrada donde el usuario debe colocar las dimensiones que posee o las que requiere para el diseño del tablero.

Datos de Entrada para el Diseño de Tablero por la Adaptación de la NEC 2015			
Ingresar el Tipo de Madera y los Valores de los Sigüientes Parámetros			
Se usa	Tipo de Madera	Tipo B	Insertar Densidad entre 0.70 ~ 0.56
	Densidad [ $g/cm^3$ ]	0,6	El Valor es Correcto
	Parámetro	Valor	Unidad
	Largo del Tablero (L)	2,4	[m]
	Ancho del Tablero (b)	0,24	[m]
	Espesor del Tablero (h)	0,02	[m]
	Ancho del Montante (b)	0,05	[m]

**Figura No.14:**Tabla de Datos de Entrada para el Diseño de Tablero mediante la NEC.

Fuente: (Autor, 2021).

Lo siguiente es la tabla de cálculos que se encuentra en la sección de cálculos en donde el usuario puede verificar que los chequeos hayan cumplido mediante las dimensiones y datos que ha ingresado para saber si estas son adecuadas.

Diseño de Tablero por la Adaptación de la NEC 2015			
Parámetro	Valor	Unidad	
Presión Lateral ( $C_{p\text{ MAX}}$ )	52,40	[kN/m <sup>2</sup> ]	
Carga Distribuida ( $w$ )	12,576	[kN/m]	
Inercia ( $I$ )	1,600E-07	[m <sup>4</sup> ]	
Módulo de Elasticidad Mínimo ( $E_{\text{MIN}}$ )	7500	[MPa]	
Deflexión Máxima Permitida ( $\Delta_{\text{MAX}}$ )	0,003	[m]	
Longitud Máxima Permitida ( $l$ )	0,451	[m]	
Si la longitud máxima permitida es menor al largo del tablero, divide el largo del tablero en sus múltiplos menores a $l$ y escoge el mayor.			
Longitud Definitiva ( $l_d$ )	0,4	[m]	
Chequeo por Flexión			
Momento Máximo ( $M_{\text{MAX}}$ )	0,201	[kN*m]	
Esfuerzo de Flexión Actante ( $f'$ )	12,58	[MPa]	
Esfuerzo de Flexión Admisible ( $F_{\text{AD}}$ )	15	[MPa]	
Chequeo	$f' < F_{\text{AD}}$		Si Cumple
Chequeo por Cortante			
Fuerza de Corte Actuante ( $V_{\text{MAX}}$ )	2,452	[kN]	
Esfuerzo de Corte Actuante ( $f'_c$ )	0,766	[MPa]	
Esfuerzo de Corte Admisible ( $F_{\text{AD}}$ )	1,2	[MPa]	
Chequeo	$f'_c < F_{\text{AD}}$		Si Cumple

**Figura No.15:**Tabla del Diseño de Tablero mediante la NEC.

Fuente: (Autor, 2021).

### 2.2.3.1.2 Diseño de Tableros Mediante el ACI-SP4

Para el diseño de tablero que se ha realizado mediante el ACI-SP4 se empieza con una tabla de datos de entrada donde el usuario debe colocar las dimensiones que posee o las que requiere para el diseño del tablero, y además una serie de coeficientes que dependen de varios factores de la construcción que se mostrarán en las tablas a continuación.

**Tabla No.16:** Factor de Corrección por Duración de Carga.

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

Fuente: (Johnston, 2014).

**Tabla No.17:** Factor de Corrección por Condición de Humedad.

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

Fuente: (Johnston, 2014).

**Tabla No.18:** Factor de Corrección por Temperatura.

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

Fuente: (Johnston, 2014).

**Tabla No.19:** Factor de Corrección por Elementos Repetitivos.

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	

Fuente: (Johnston, 2014).

**Tabla No.20:** Factor de Corrección por Tamaño y por Uso Plano.

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

Fuente: (Johnston, 2014).

**Tabla No.21:** Factor de Corrección por Incisión.

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

Fuente: (Johnston, 2014).

**Tabla No.22:** Propiedades para Tableros para el Diseño ACI-SP4. Factor KS.

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

Fuente: (Johnston, 2014).

**Tabla No.23:** Procedimiento de Cálculo para los factores para el Diseño ACI-SP4.

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 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	$C_D$	$C_M$	$C_t$	-	-	-	$C_i$	-	-	-	-
$F'_{cl} =$	$F_{cl}$ 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	-	$C_M$	$C_t$	-	-	-	$C_i$	-	-	$C_T$	-

Fuente: (Johnston, 2014).

Datos de Entrada para el Diseño de Tablero por el ACI-SP4		
Ingresar el Tipo de Madera y los Valores de los Sigüientes Parámetros		
Tipo de Madera	Dura/Triplex	Insertar Densidad entre 0.55 ~ 0.40
Parámetro	Valor	Unidad
Densidad	0,6	[g/cm <sup>3</sup> ]
Largo del Tablero (L)	2,4	[m]
Ancho del Tablero (b)	0,24	[m]
Espesor del Tablero (h)	0,025	[m]
Acabamiento Asumido de Montantes ≤ 30 cm por Recomendación	0,3	[m]
Fibra Usada para el Tablero	Fibra Frontal Paralela al Vano	-
Coefficiente de Corrección para Flexión	Condición	Valor
Coefficiente de Duración (C <sub>D</sub> )	(Duración de Carga = 7 días)-(Carga de Construcción)	1,25
Coefficiente por Humedad (C <sub>H</sub> )	Flexión	0,85
Coefficiente por Temperatura (C <sub>T</sub> )	(Condición de Humedad Seca o Mojada)-(Temperatura ≤ 38°C)	1
Coefficiente por Estabilidad de Viga (C <sub>E</sub> )	1	1
Coefficiente por Tamaño (C <sub>T</sub> )	(Ancho Nominal de Madera 5cm ~ 7.5cm o 10cm)-(Espesor 5cm ~ 7.5cm o 10cm)	1,5
Coefficiente por Uso Plano (C <sub>u</sub> )	(Ancho Nominal de Madera 5cm ~ 7.5cm)	1
Coefficiente de Incisión (C <sub>i</sub> )	Flexión	0,8
Coefficiente por Elementos Repetitivos (C <sub>r</sub> )	Flexión	1,15
Coefficiente de Corrección para Deflexión	Condición	Valor
Coefficiente por Humedad (C <sub>H</sub> )	Módulo de Elasticidad	0,9
Coefficiente por Temperatura (C <sub>T</sub> )	(Condición de Humedad Seca o Mojada)-(Temperatura ≤ 38°C)	1
Coefficiente de Incisión (C <sub>i</sub> )	Módulo de Elasticidad	0,85
Coefficiente de Corrección para Cortante	Condición	Valor
Coefficiente de Duración (C <sub>D</sub> )	(Duración de Carga = 7 días)-(Carga de Construcción)	1,25
Coefficiente por Humedad (C <sub>H</sub> )	Corte Paralelo	0,37
Coefficiente por Temperatura (C <sub>T</sub> )	(Condición de Humedad Mojada)-(Temperatura 55°C ~ 66°C)	0,5
Coefficiente de Incisión (C <sub>i</sub> )	Corte Paralelo	0,8

**Figura No.16:**Tabla Datos de Entrada para el Diseño de Tablero ACI.

Fuente: (Autor, 2021).

Diseño de Tablero por el ACI-SP4		
Parámetro	Valor	Unidad
Presión Lateral (C <sub>DL</sub> MAX)	52,40	[kN/m <sup>2</sup> ]
Carga Distribuida (w)	15,72	[kN/m]
Chequeo por Flexión		
Esfuerzo de Flexión Admisible (F <sub>u</sub> )	15	[MPa]
Valor Ajustado por Diseño de Flexión (F <sub>u</sub> )	21,39	[MPa]
Módulo de Sección Requerido (KS)	1,208E-05	[m <sup>4</sup> ]
Longitud Máxima Permitida (l)	0,411	[m]
Chequeo por Deflexión		
Módulo de Elasticidad (E)	7500	[MPa]
Inercia (I)	1,777E-07	[m <sup>4</sup> ]
Valor Ajustado por Diseño de Deflexión (E)	5737,500	[MPa]
Longitud Máxima Permitida (l)	0,293	[m]
Chequeo por Cortante		
Esfuerzo de Flexión Admisible (F <sub>u</sub> )	1,2	[MPa]
Valor Ajustado por Diseño de Flexión (F <sub>u</sub> )	0,582	[MPa]
Constante de Corte (lb/Ø)	6,048E-03	[m <sup>3</sup> ]
Longitud Máxima Permitida (l)	0,224	[m]
La longitud de faja es la menor valor entre las calculadas en las diferentes aberturas, Para facilidad se debe redondear los decimales entre 0,8.		
Longitud Definitiva (l <sub>d</sub> )	0,224	[m]
Longitud Definitiva (l <sub>d</sub> )	0,200	[m]

**Figura No.17:**Tabla del Diseño de Tablero mediante el ACI-SP4.

Fuente: (Autor, 2021).

**2.2.3.2 Diseño de Montantes y Espaciamiento de Largueros**

A partir de este Diseño en adelante se utilizara el procedimiento propuesto por el ACI para el diseño de encofrados adaptado a la norma ecuatoriana de la construcción (NEC-2015) que sus cálculos dependen del tipo de madera que se usará y la clasificación que esta tiene según la NEC (Tipo A, B C o D), de esto dependerá el método de esfuerzos admisibles. La herramienta permite para el diseño de montantes y espaciado de largueros que el usuario, de igual manera pueda ingresar datos en la tabla de datos de entrada, y pueda verificar los chequeos y cálculos en la sección de cálculos, a continuación se muestran ambas tablas en la herramienta.

Datos de Entrada para el Diseño de Montantes		
Ingresar el Tipo de Madera y los Valores de los Sigüientes Parámetros		
Tipo de Madera	Tipo B	Insertar Densidad entre 0.70 ~ 0.56
Densidad [g/cm <sup>3</sup> ]	0,6	El Valor es Correcto
Parámetro	Valor	Unidad
Separación de los Montantes (S)	0,3	[m]
Ancho del Montante y Larguero (b)	0,05	[m]
Espesor del Montante y Larguero (h)	0,1	[m]
Número de Largueros	2	-
Longitud de Contacto en Sujetadores (l <sub>p</sub> )	0,05	[m]
Ancho de Placas de Sujetadores (b <sub>s</sub> )	0,05	[m]

**Figura No.18 :**Tabla de Datos de Entrada para Diseño de Montantes.

Fuente: (Autor, 2021).

Diseño de Montantes		
Parámetro	Valor	Unidad
Presión Lateral ( $C_{OP\ MAX}$ )	52,40	[kN/m <sup>2</sup> ]
Carga Distribuida ( $w$ )	15,720	[kN/m]
Inercia ( $I$ )	4,167E-06	[m <sup>4</sup> ]
Módulo de Elasticidad Mínimo ( $E_{min}$ )	7500	[MPa]
Módulo de Seccion Requerido ( $S_r$ )	8,333E-05	[m <sup>3</sup> ]
Chequeo por Flexión		
Esfuerzo de Flexión Admisible ( $F_{m}$ )	15	[MPa]
Longitud Máxima Permitida ( $l$ )	0,831	[m]
Chequeo por Deflexión ACI-SP4		
Longitud Máxima Permitida ( $l$ )	0,926	[m]
Chequeo por Deflexión NEC 2015		
Deflexión Máxima Permitida ( $\Delta_{max}$ )	0,003	[m]
Longitud Máxima Permitida ( $l$ )	0,964	[m]
Chequeo por Cortante		
Esfuerzo de Corte Admisible ( $F_v$ )	1,2	[MPa]
Longitud Máxima Permitida ( $l$ )	0,674	[m]
<small>La longitud definitiva se tomará entre todas las calculadas en los diferentes chequeos. Para facilidad debe reducirse de ceros a 0.</small>		
Longitud Definitiva ( $l_d$ )	0,674	[m]
Longitud Definitiva ( $l_d$ )	0,600	[m]

**Figura No.19** :Tabla del Diseño de Montantes.

Fuente: (Autor, 2021).

### 2.2.3.3 Diseño del Tamaño de Largueros y Espaciamiento de Sujetadores.

Para el diseño del tamaño de largueros y el espaciamiento de sujetadores, se utilizan algunos datos que el usuario colocó en la tabla de datos de entrada para el diseño de montantes. De igual manera la herramienta entrega una tabla de resultados en la sección de cálculos donde el usuario debe revisar que se cumplan todos los chequeos con los datos que

ingresó.

Tamaño de Largueros y Espaciado de Sujetadores		
Parámetro	Valor	Unidad
Presión Lateral ( $C_{CP\ MAX}$ )	52,40	[kN/m <sup>2</sup> ]
Espaciamiento entre Largueros ( $s_1$ )	0,600	[m]
Carga Distribuida ( $w$ )	31,440	[kN/m]
Módulo de Sección Requerido ( $S_{x\ Req}$ )	1,667E-04	[m <sup>3</sup> ]
Chequeo por Flexión		
Módulo de Sección Mínimo ( $S_{x\ min}$ )	7,546E-05	[m <sup>3</sup> ]
Chequeo	$S_{x\ min} < S_{x\ Req}$	Si Cumple
Chequeo por Cortante		
Longitud Máxima Permitida ( $l$ )	0,633	[m]
Chequeo	$l > s_1$	Si Cumple

**Figura No.20** :Tabla del Diseño de Largueros y Espaciamiento de Sujetadores.

Fuente: (Autor, 2021).

#### 2.2.3.4 Diseño de Sujetadores.

Para esta sección de la herramienta, el usuario debe colocar los datos de entrada en la tabla de datos de entrada para el diseño de sujetadores donde debe ingresar datos como el tipo de varilla donde la herramienta entrega directamente su diámetro tanto en pulgadas como en milímetros y el esfuerzo de fluencia del material de las varillas de refuerzo que por lo general son de acero, de igual forma la herramienta entrega una tabla de resultados en la sección de cálculos donde el usuario debe revisar que se cumplan todos los chequeos con los datos que ingresó.

Datos de Entrada para el Diseño de Sujetadores		
Tipo de Varilla	Diámetro en Pulgadas (in)	Diámetro en Milímetros (mm)
Nº3	3/8	9,5
Parámetro	Valor	Unidad
Esfuerzo de Fluencia ( $F_y$ )	420	[MPa]

**Figura No.21** :Tabla de Datos de Entrada para el Diseño de Sujetadores.

Fuente: (Autor, 2021).

Diseño del Sujetador		
Parámetro	Valor	Unidad
Presión Lateral ( $C_{CP\text{MAX}}$ )	52,40	[kN/m <sup>2</sup> ]
Espaciamiento entre Largueros ( $s_1$ )	0,600	[m]
Carga Distribuida (w)	31,440	[kN/m]
Tipo de Varilla	Diámetro	Unidad
N°3	0,0095	[m]
Esfuerzo de Fluencia ( $F_y$ )	336	[MPa]
Área de la Varilla (A)	7,0882E-05	[m <sup>2</sup> ]
Capacidad Permisible del Sujetador ( $F_d$ )	23,816	[kN]
Espaciamiento del Sujetador ( $s_2$ )	0,689	[m]
El espaciamiento del sujetador sus decimales extra deben ser reducidos a 0 para facilidad de trabajo.		
Espaciamiento del Sujetador ( $s_2$ )	0,600	[m]

**Figura No.22** :Tabla del Diseño de Sujetadores.

Fuente: (Autor, 2021).

### 2.2.3.5 Diseño de Puntales.

Para esta sección de la herramienta, el usuario debe colocar los datos de entrada en la tabal de datos de entrada para el diseño de puntales donde debe ingresar datos como la altura y longitud del muro, la distancia x y la distancia y la separación entre puntales del elemento, de igual forma la herramienta entrega una tabla de resultados en la sección de cálculos donde el usuario debe revisar que se cumplan todos los chequeos con los datos que ingresó.

Datos de Entrada para el Diseño de Puntales		
Ingresar los Valores de los Sigüientes Parámetros		
Parámetro	Valor	Unidad
Altura del Muro (h)	4,21	[m]
Longitud del Puntal (L)	3,9	[m]
Distancia Vertical del Puntal (y)	3	[m]
Distancia Horizontal del Puntal (x)	2,5	[m]
Separación Asumida entre Puntales a lo Largo del Elemento (z)	2	[m]

**Figura No.23** :Tabla de Datos de Entrada para Diseño de Puntales.

Fuente: (Autor, 2021).

Arriostamiento Lateral para Encofrado		
Parámetro	Valor	Unidad
Carga de Viento Mínima por el ACI-SP4 (H)	1,55	[kN/m]
Fuerza del Viento (Fw)	6,526	[kN]
Carga de Viento Mínima a una distancia 0.55 h (H')	2,316	[m]
Reacción del Puntal ( $P_{puntal}$ )	3,733	[kN]
Reacción Vertical del Puntal ( $R_v$ )	2,871	[kN]
Reacción Horizontal del Puntal ( $R_h$ )	2,393	[kN]

**Figura No.24** :Tabla del Diseño de Puntales.

Fuente: (Autor, 2021).

## 2.2.4 Diseño de Encofrados de Columnas

La siguiente ventana de la herramienta brinda el diseño de encofrados de madera para columnas y todo el procedimiento de cálculo y los diferentes chequeos que se deben cumplir mediante las medidas que ingrese el usuario, la primera tabla de datos de entrada pregunta al usuario que tipo de sistema de unidades utilizó para el cálculo de la presión lateral, si el sistema inglés o el sistema internacional y en base a eso trae la presión lateral de la anterior pestaña ya con las unidades en kPa la cual se utilizará para todo el proceso de diseño .

### 2.2.4.1 Selección del Tablero y Espaciamiento de Cuartones

La primera ventana de datos de entrada corresponde para la selección del tablero donde el usuario deberá escoger entre los tipos de madera disponibles para el tablero e insertar parámetros como la longitud, ancho, espesor y la ubicación utilizada para el tablero, donde estos dos últimos parámetros determinarán el espaciamiento adecuado para los cuartones que aparece en la tabla en la sección de cálculos utilizando condiciones que se muestran en la tabla a continuación.

**Tabla No.24:** Espaciamiento de Cuartones para Tableros.

Espaciamiento seguro para tableros Tipo B para tres o más vigas continuas								
Presión Lateral del Hormigón	Esfuerzos para cargas corta duración Cd=1.25				Esfuerzos para cargas larga duración Cd=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 <sup>2</sup>	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

Fuente: (Johnston, 2014).

Datos de Entrada para Selección de Tablero y Espaciamiento de Cuarterones		
Ingresar el Tipo de Madera y los Valores de los Siguietes Parámetros		
Tipo de Madera	DuraTriplex	Insertar Densidad entre 0.55 ~ 0.40
Parámetro	Valor	Unidad
Densidad	0,6	[g/cm <sup>3</sup> ]
Largo del Tablero (L)	2,4	[m]
Ancho del Tablero (b)	0,24	[m]
Espesor del Tablero (h)	0,012	[m]
Ubicación Usada para el Tablero	Cara Frontal Paralela al Vano	-

**Figura No.25** :Tabla de Datos de Entrada para Selección de Tablero y Espaciado de Cuarterones.

Fuente: (Autor, 2021).

Tablas de Cálculos		
Espaciamiento de Cuarterones		
Parámetro	Valor	Unidad
Espaciamiento de Cuarterones (s)	0,43	[m]

**Figura No.26** :Tabla de Espaciado de Cuarterones.

Fuente: (Autor, 2021).

#### 2.2.4.2 Interacción de Cuarterones y Trabillas

Para esta sección de la herramienta, el usuario debe colocar los datos de entrada en la tabal de datos de entrada para la interacción de cuarterones y trabillas donde debe ingresar datos como las medidas de la sección transversal de la columna, ancho y altura de la sección transversal de los largueros y por último la longitud de contacto de los sujetadores , de igual

forma la herramienta entrega una tabla de resultados en la sección de cálculos donde el usuario debe revisar que se cumplan todos los chequeos con los datos que ingresó.

Datos de Entrada para la Interacción de Cuarterones y Trabillas		
Ingresar el Tipo de Madera y los Valores de los Sigüientes Parámetros		
Tipo de Madera	Tipo B	Insertar Densidad entre 0.70 ~ 0.56
Densidad [g/cm <sup>3</sup> ]	0,6	El Valor es Correcto
Parámetro	Valor	Unidad
Ancho de la Sección Transversal del Cuartón (b)	0,1	[m]
Altura de la Sección Transversal del Cuartón (d)	0,05	[m]
Ancho de la Sección Transversal de la Trabilla (b <sub>1</sub> )	0,1	[m]
Altura de la Sección Transversal de la Trabilla (d <sub>1</sub> )	0,05	[m]
Longitud de Contacto en Sujetadores (l <sub>b</sub> )	0,05	[m]

**Figura No.27** :Tabla de Datos de Entrada para la Interacción de Cuarterones y Trabillas.

Fuente: (Autor, 2021).

Interacción de Cuartones y Trabillas		
Parámetro	Valor	Unidad
Presión Lateral ( $C_{CP\ MAX}$ )	52,40	[kPa]
Carga Distribuida ( $w$ )	22,532	[kN/m]
Chequeo por Flexión		
Esfuerzo de Flexión Admisible ( $F_m$ )	15	[MPa]
Módulo de Sección Requerido ( $S_x$ )	4,167E-05	[m <sup>3</sup> ]
Longitud Máxima Permitida ( $l$ )	0,526	[m]
Chequeo por Deflexión		
Inercia ( $I$ )	1,042E-06	[m <sup>4</sup> ]
Módulo de Elasticidad Mínimo ( $E_{min}$ )	7500	[MPa]
Longitud Máxima Permitida ( $l$ )	0,520	[m]
Chequeo por Cortante		
Esfuerzo de Corte Admisible ( $F_v$ )	1,2	[MPa]
Longitud Máxima Permitida ( $l$ )	0,421	[m]
La longitud definitiva es la menor entre todas las calculadas en los diferentes chequeos, Para facilidad se debe reducir los decimales extras a 0.		
Longitud Definitiva ( $l_d$ )	0,421	[m]
Longitud Definitiva ( $l_d$ )	0,400	[m]

**Figura No.28** :Tabla de Interacción de Cuartones y Trabillas.

Fuente: (Autor, 2021).

### 2.2.4.3 Diseño de Puntales

Para esta sección de la herramienta, el usuario debe colocar los datos de entrada en la tabla de datos de entrada para el diseño de puntales donde debe ingresar datos como la altura y longitud de la columna, la distancia  $x$  y la distancia  $y$  y la separación entre puntales del elemento, de igual forma la herramienta entrega una tabla de resultados en la sección de cálculos donde el usuario debe revisar que se cumplan todos los chequeos con los datos que ingresó.

Datos de Entrada para el Diseño de Puntales		
Ingresar los Valores de los Sigüientes Parámetros		
Parámetro	Valor	Unidad
Altura de la Columna (h)	4,21	[m]
Longitud del Puntal (L)	3,9	[m]
Distancia Vertical del Puntal (y)	3	[m]
Distancia Horizontal del Puntal (x)	2,5	[m]
Separación Asumida entre Puntales a lo Largo del Elemento (z)	2	[m]

**Figura No.29** :Tabla de Datos de Entrada para Diseño de Puntales.

Fuente: (Autor, 2021).

Arriostamiento Lateral para Encofrado		
Parámetro	Valor	Unidad
Carga de Viento Mínima por el ACI-SP4 (H)	1,55	[kN/m]
Fuerza del Viento (Fw)	6,526	[kN]
Carga de Viento Mínima a una distancia 0.55 h (H')	2,316	[m]
Reacción del Puntal ( $P_{punta}$ )	3,733	[kN]
Reacción Vertical del Puntal ( $R_y$ )	2,871	[kN]
Reacción Horizontal del Puntal ( $R_x$ )	2,393	[kN]

**Figura No.30** :Tabla del Diseño de Puntales.

Fuente: (Autor, 2021).

### 3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 3.1 Conclusiones

- Se ha logrado realizar exitosamente la herramienta de cálculo de presión lateral del hormigón fresco para elementos verticales cumpliendo todos los requisitos establecidos por el ACI-SP4 reduciendo el impacto negativo que se

puede llegar a obtener tanto en los encofrados como en los elementos estructurales al no realizar este tipo de diseños dejando estos procesos en manos de procedimientos empíricos los cuales tienen consecuencias graves.

- Se consiguió obtener una herramienta que diseñe tableros, largueros, montantes, sujetadores y puntales tanto para columnas como para muros de una manera exacta donde el usuario tiene la posibilidad para el diseño de tableros en muros de escoger si desea trabajar con la adaptación de la NEC - 2015, o mediante las normativas del ACI-SP4 donde existen una serie de parámetros que determinan coeficientes de corrección la cual permite un cálculo más exacto de las dimensiones significando un ahorro de material y de costo para el usuario.
- Se logró diseñar planos de taller mediante el programa autocad donde obtuvimos dos plantillas de diseño, tanto para muros como para columnas, donde el usuario puede obtener una visualización esquemática del diseño de encofrado del elemento en cuestión con sus respectivos elementos mediante la cual puede escribir las separaciones en las plantillas obtenidas en la herramienta y visualizar los espaciamientos diseñados para evitar confusiones al momento del diseño en obra.

### **3.2 Recomendaciones**

- Se recomienda al usuario utilizar la herramienta de diseño de encofrado propuesta en el proyecto, debido a que esta además de brindar un diseño seguro y limita las fallas que se pueden generar al dejar esto en manos de procedimientos empíricos, significa un ahorro significativo en la parte económica, aparte del crecimiento que se obtiene como constructor al seguir

un procedimiento normado el cuál solo implica mejorías y un diseño mas seguro.

- Por otra parte se recomienda al usuraio leer detalladamente la herramienta de cálculo y analizar minuciosamente las tablas y los mensajes, ya que estos son muy importantes para entender los cálcuos de diseño y los procedimientos que deben cumplir las medidas que se obtienen como datos de entrada del usuario.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACI Committee 347. (2014). *Guide to Formwork for Concrete*. ACI 347R-14.
- Beltrán, S. (2020). Análisis de los métodos de cálculo de la presión del hormigón fresco sobre los encofrados. Quito.
- CAMICON. (2017). *El 60% de las edificaciones son informales en el Distrito Metropolitano de Quito*. Extraído de El Comercio el 06/06/2021 desde <https://www.elcomercio.com/actualidad/municipio-quito-regulacion-viviendasinformales.html>
- El Comercio. (2016). *Fallo de Pilar en Puerto Quito en el 2016 por mal encofrado*. Artículo publicado el 15/03/2016 en el periódico El Comercio.
- Cosntrumática. (2021). *Asemtamiento del Hormigón Fresco*. Recuperado el 05/06/2021 desde: [https://www.construmatica.com/construpedia/AP-019.\\_Consistencia\\_del\\_Hormig%C3%B3n.\\_M%C3%A9todo\\_del\\_Cono\\_de\\_Abrams.\\_Hormig%C3%B3n\\_Fresco](https://www.construmatica.com/construpedia/AP-019._Consistencia_del_Hormig%C3%B3n._M%C3%A9todo_del_Cono_de_Abrams._Hormig%C3%B3n_Fresco)
- Gonzales, R. (2009). *Diseños de Encofrados en el Ecuador*. Artículo Online. Publicado en: Paso a Paso: Etapas Constructivas Mediante Concreto.
- 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.
- Martínez, C. (2019). *Diseño del encofrado para muros usando encofrados modulares* (22ava Edición). Formwork Layout for Walls Using Modular Formworks.

Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2015). *Estructuras de hormigón armado*.

Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2015). *Estructuras de Madera*.

Neville, A. (2013). *Properties of Concrete* (4th ed.).

Neville, A., & Brooks, J. (2010). *Concrete Technology* (Second ed.). Harlow, England: Pearson Education Limited

Pavex. (2018). *Proceso de Colocación del Hormigón en Estado Fresco*. Hormigón fresco: Aplicación, Composición, Ventajas. Extraído el 03/06/2021 desde:  
<https://pavex.es/hormigon-fresco/>

Rodriguez, V. (2021). Análisis de los métodos de cálculo de la presión del hormigón fresco sobre los encofrados. Quito.

Sanhueza, M. (2017). *Hormigón en Estado Fresco*. Tecnología del Hormigón. Extraído el 03/06/2021 desde:  
<http://www.vialidad.cl/areasdevialidad/laboratorionacional/MaterialCursos/hormigon1Intro.pdf>

UNACEM. (2012). Cemento andino tipo IP/ Pórtland tipo IP. Recuperado el 06/06/2021 desde:  
<https://www.unacem.com.pe/wp-content/uploads/2012/03/Cemento-AndinoTIPO-IP1.pdf>

## ANEXO A: PLANTILLA DE DISEÑO PARA DISEÑO DE ENCOFRADO DE MADERA PARA MUROS

### Plantilla para Diseño de Encofrado de Madera para Muros

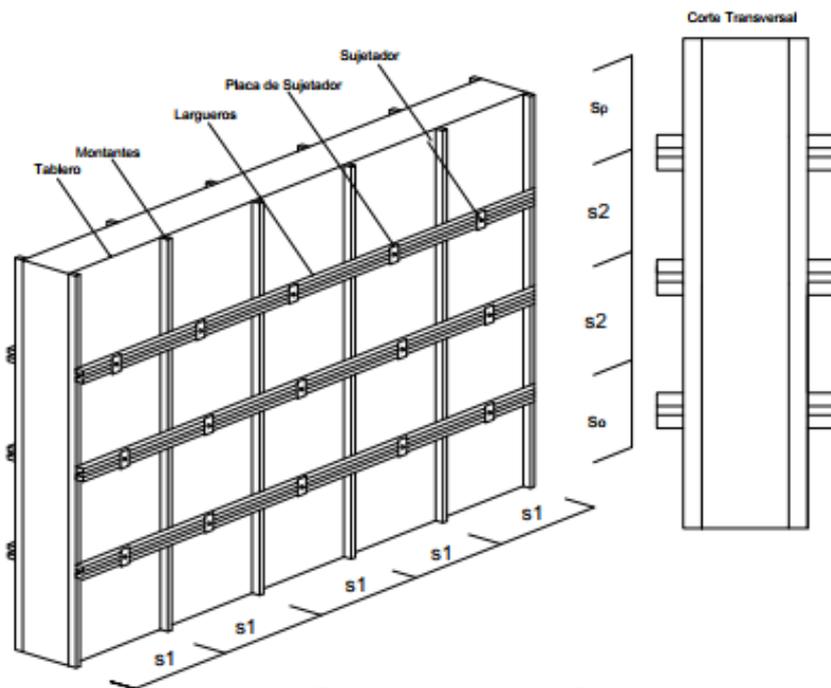


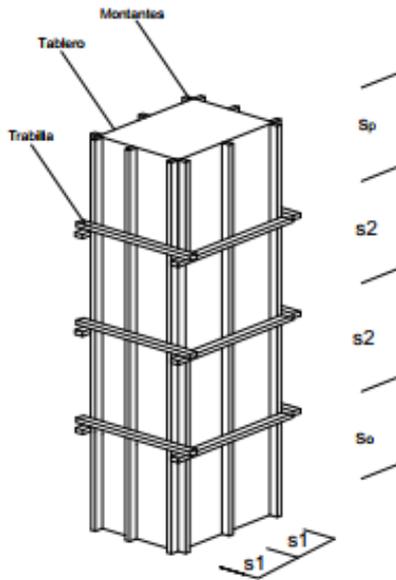
Tabla de Espaciamientos [m]

Espaciamiento entre Montantes [m]		Espaciamiento entre Largueros [m]	
s1		S <sub>o</sub>	
s1		s2	
s1		S <sub>p</sub>	

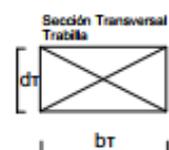
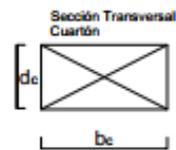
Este es un Muro Prototipo, en caso de ser necesario, ajustar a las medidas convenientes.

## ANEXO B: PLANTILLA DE DISEÑO PARA DISEÑO DE ENCOFRADO DE MADERA PARA COLUMNAS

### Plantilla para Diseño de Encofrado de Madera para Columnas



Espaciamiento entre Cuartones [m]		Espaciamiento entre Trabillas [m]	
s1		s0	
s1		s2	
s1		s0	



Esta es una Columna Prototipo, en caso de ser necesario,  
ajustar a las medidas convenientes.

Sección Transversal [m]	
Cuartón	Trabilla
be	br
de	dr