

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

**Presión Lateral del hormigón fresco: Instrumentación y diseño de encofrado de muro.**

**Vanessa Alexandra Rodríguez Torres.**

Ingeniería Civil

**Juan José Recalde, Ph.D.**

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito

para la obtención del título de

INGENIERA CIVIL

Quito, 3 de mayo de 2021

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ  
COLEGIO DE CIENCIAS E INGENIERÍAS**

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

**Presión Lateral del hormigón fresco: Instrumentación y diseño de  
encofrado de muro.**

**Vanessa Alexandra Rodríguez Torres.**

**Nombre del profesor, Título académico:**

**Juan José Recalde, Ph.D.**

Quito, 3 de mayo 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 de presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

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

Nombres y Apellidos: Vanessa Alexandra Rodríguez Torres

Código: 00136596

Cédula de identidad: 17225594947

Lugar y Fecha: Quito, 3 de mayo 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## UNPUBLISHED DOCUMENT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

Para el correcto diseño de encofrados, es fundamental estimar la presión lateral del hormigón en estado fresco. Dicha presión depende de varios factores como la densidad, vibrado, asentamiento del hormigón, entre otros. Un inadecuado diseño de encofrados puede generar problemas durante la construcción tales como accidentes, superficies onduladas por deflexión, o fallas del sistema de encofrado que requieran de repetición del trabajo y pérdida del material. El ACI SP 4, establece un sistema de formulas para calcular la presión lateral del hormigón, dentro de los cuales existe un coeficiente químico según el tipo de cementantes que se utilicen. En el Ecuador el uso de cemento puzolánico tipo IP es muy común, y para el cual no se establece directamente un coeficiente químico específico, por lo cual es necesario realizar investigaciones que permitan establecer qué coeficientes deben utilizarse. En este proyecto se exploró la configuración para instrumentar elementos de hormigón para medir la presión lateral del concreto, y se diseñó un sistema de encofrado para un muro a instrumentar. El muro es un muro de hormigón arquitectónico visto, para lo cual se exploró y utilizó madera haciendo uso de los esfuerzos admisibles especificados en la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15 para maderas tipo B, para un sistema con tabla de monte, montantes, larguetos, sujetadores y puntales.

**Palabras clave:** hormigón, presión lateral, hormigón fresco, instrumentación, encofrado, diseño estructural en madera.

## ABSTRACT

For the correct formwork design, it is essential to estimate the lateral pressure of the concrete in a fresh state. This pressure depends on several factors such as density, vibrations, concrete settlement, among others. Improper formwork design can lead to problems during construction such as accidents, wavy deflection surfaces, or formwork system failures requiring rework and loss of material. ACI SP 4 establishes a system of formulas to calculate the lateral pressure of concrete, within which there is a chemical coefficient according to the type of cementitious used. In Ecuador, the use of IP-type pozzolanic cement is very common, and for which a specific chemical coefficient is not directly established, therefore it is necessary to carry out research to establish which coefficients should be used. In this project, the configuration to instrument concrete elements to measure the lateral pressure of the concrete was explored, and a formwork system was designed for a wall to be instrumented. The wall is an architectural concrete wall, for which wood was explored and used making use of the admissible forces specified in the Ecuadorian Construction Standard NEC-15 for type B woods, for a system with mount board, studs, stringers, fasteners and struts.

**Key words:** concrete, lateral pressure, fresh concrete, instrumentation, formwork, wood structural design.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>9</b>
1.1. Antecedentes .....	9
1.2. Justificación .....	9
1.3. Objetivos .....	10
1.3.1. Objetivo general.....	10
1.3.2. Objetivos específicos.....	10
1.4. Actividades.....	10
1.5. Resultados esperados.....	10
1.6. Definiciones .....	11
<b>2. DESARROLLO DEL TEMA.....</b>	<b>12</b>
2.1. Revisión de Literatura.....	12
2.1.1. Hormigón fresco. ....	12
2.1.2. Encofrados. ....	14
2.1.3. Presión lateral del hormigón.....	15
2.1.4. Sensores de presión.....	19
2.2. Instrumentación.....	21
2.2.1. Instrumentos. ....	21
2.2.2. Configuración para toma de datos. ....	24
2.3. Diseño de encofrado. ....	26
2.3.1. Elemento de hormigón armado a instrumentar. ....	26
2.3.2. Exploración de materiales para encofrado. ....	28
2.3.3. Diseño de encofrado.....	30
2.3.4. Elaboración de planos de taller. ....	44
<b>3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>45</b>
3.1. Conclusiones .....	45
3.2. Recomendaciones.....	45
<b>4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>46</b>
<b>ANEXO A: PLANOS DE TALLER Y LISTA DE MATERIALES .....</b>	<b>48</b>
<b>ANEXO B: RESPALDOS CALIBRACIÓN DE SENSORES OMEGA .....</b>	<b>50</b>
<b>ANEXO C: ESFUERZO ADMISIBLES Y MÓDULO DE ELASTICIDAD. ....</b>	<b>54</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Aplicabilidad de fórmulas para el cálculo de la presión que ejerce el concreto. ....	16
Tabla 2: Coeficiente Químico.....	17
Tabla 3: Coeficiente de peso unitario, .....	17
Tabla 4: Aplicabilidad de ecuaciones para el cálculo de la presión ejercida en el concreto. ....	18
Tabla 5: Coeficiente Químico.....	18
Tabla 6: Coeficiente de peso unitario. ....	19
Tabla 7: Disposición de los cables. ....	25
Tabla 8: Materiales para tablero. ....	28
Tabla 9: Materiales para largueros y montantes. ....	29
Tabla 10: Materiales para puntales. ....	30
Tabla 11: Lista de Materiales .....	49
Tabla 12: Esfuerzos Admisibles y Módulos de Elasticidad. ....	54

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No. 1: Factores que influyen en presión del hormigón. ....	12
Figura No. 2: Distribución de la presión lateral de hormigón. ....	15
Figura No. 3: Sensor de presión PX103-U1. ....	21
Figura No. 4: Cables para conectar a sensor de presión. ....	21
Figura No. 5: Fuente de poder. ....	22
Figura No. 6: Acondicionador de señal. ....	22
Figura No. 7: Sistema de adquisición de datos. ....	23
Figura No. 8: Computador.....	23
Figura No. 9: Acoples para sensores de presión. ....	24
Figura No. 10: Esquema de ensamblaje de instrumentación. ....	24
Figura No. 11: Esquema de tuberías para calibración de equipos.....	25
Figura No. 12: Detalle de muro a encofrar. ....	26
Figura No. 13: Dimensiones de muro de hormigón a encofrar. ....	27
Figura No. 14: Dimensiones de tablero. ....	31
Figura No. 15: Dimensiones montantes y largueros. ....	34
Figura No. 16: Área de contacto entre largueros y sujetadores.....	39
Figura No. 17: Área de contacto entre montantes y largueros. ....	41
Figura No. 18: Distancias para el diseño de puntales. ....	43
Figura No. 19: Hoja Calibración Sensor 707040.....	50
Figura No. 20: Hoja Calibración Sensor 707041 .....	51
Figura No. 21: Hoja Calibración Sensor 7042.....	52
Figura No. 22: Hoja Calibración Sensor 707043.....	53



## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Antecedentes

Existen varios métodos de instrumentación para poder medir la presión lateral del hormigón, para la instrumentación presentada se utilizará el método de medición directa. A pesar de que, el concreto empieza su proceso de fraguado aun cuando la colocación de dicho material continúa en niveles más altos, el concreto tiende un puente sobre la cara de la celda de presión y hace que la presión medida sea menor a la actual. Sin embargo, transductores de presión más pequeños suelen funcionar mejor cuando el hormigón es fluido y el tiempo para el inicio de fraguado es mayor en comparación con la tasa de colocación (Johnston, 2010).

Además, por medio del diseño del encofrado para un muro de hormigón visto, podremos determinar a qué altura serán colocados los sensores de presión. De esta manera, al utilizar los instrumentos que se detallaran a continuación se podrá obtener datos acerca de la presión de hormigón en estado fresco para el muro a estudiar. Adicionalmente, tanto las medidas de las tablas como del espaciamiento de las mismas se encontrarán en los planos de taller que se pueden observar en la Sección 2.3.4.

### 1.2. Justificación

La importancia del ensayo de presión lateral el hormigón radica en que la misma debe ser tomada en cuenta para realizar el diseño de encofrados verticales. Se suele considerar al hormigón en estado fresco como un fluido que tiene una distribución hidrostática de presión lateral. Sin embargo, al tener dicha consideración, únicamente se toma en cuenta el valor máximo que puede adquirir la presión lateral real del concreto y no se tiene en cuenta el factor económico. Esto se debe a que, “el coste de fabricación del encofrado es proporcional a la presión lateral de diseño” (Santilli, 2010, p.2), entonces, si se sobreestima la presión lateral se puede desencadenar en aumentos al costo del encofrado y por ende al costo de la construcción. Adicionalmente, se debe tomar en cuenta que, al subestimar la presión, las piezas del encofrado se ven afectadas o incluso llegar a fallar, o que desencadena en falta de seguridad que es un factor de mucha importancia. Al conocer de manera detallada la presión lateral, velocidad de decaimiento, entre otros, se puede optimizar el diseño de encofrados, reducir los tiempos muertos en la ejecución de la obra y como consecuencia el coste de la obra.

Asimismo, se puede obtener una planificación adecuada en el proceso constructivo y de esta manera se podría desencofrar columnas o muros en el instante en que el concreto pueda autosostenerse y haya obtenido una resistencia tal que le permita soportar los esfuerzos que se generan al momento de desencofrar dichos elementos estructurales (Santilli, 2010).

### **1.3.Objetivos**

A continuación, se presentan los objetivos generales y específicos planteados:

#### **1.3.1. Objetivo general**

- a) Ensamblar la instrumentación para la obtención de datos de presión del hormigón y diseñar el encofrado de un muro.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- a) Ensamblar la instrumentación para la medición de presión lateral del hormigón fresco.
- b) Diseñar el encofrado para un muro a ser instrumentado
- c) Realizar planos de talles para la instalación de encofrado e instrumentación.

### **1.4.Actividades**

Las actividades a realizarse son las siguientes:

- a) Ensamblar la instrumentación y explorar posibilidad de adquisición de datos.
- b) Explorar disponibilidad de materiales y obtención de propiedades para el diseño.
- c) Realizar el diseño del encofrado para un muro de hormigón armado.
- d) Elaborar los planos de taller.

### **1.5.Resultados esperados**

Se espera obtener los siguientes resultados en el presente trabajo de titulación:

- a) Evaluación del estado de la instrumentación para adquisición de datos.
- b) Memoria técnica del diseño del encofrado.
- c) Planos de taller de la configuración del encofrado e instrumentación.

## 1.6. Definiciones

- a) Hormigón: “Material que resulta de la mezcla de agua, arena, grava y cemento o cal, y que, al fraguar, adquiere más resistencia” (Real Academia Española, 2021).
- b) Sensores de presión: “Dispositivos que entregan una señal de pequeño nivel que varía con el valor de la presión presente en su puerto de lectura” (Mapro Ingeniería S.A., 2018).
- c) Peso: “Fuerza con que la Tierra atrae a un cuerpo” (Real Academia Española, 2021).
- d) Muro: “Pared mucho más larga y ancha que espesa, que se construye como soporte estructural o cerramiento” (Construmática, 2021).
- e) Encofrado: “Molde formado con tableros o chapas de metal o de material análogo, en el que se vacía el hormigón hasta que fragua, y que se desmonta después” (Real Academia Española, 2021).

## 2. DESARROLLO DEL TEMA.

### 2.1.Revisión de Literatura.

#### 2.1.1. Hormigón fresco.

La presión del hormigón fresco tiene varios factores que influyen en la misma y que se detallaran a continuación:

Primarias	Secundarias	Terciarios
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad de llenado</li> <li>• Profundidad de vibrado</li> <li>• Peso específico del Hormigón</li> <li>• Consistencia del Hormigón</li> <li>• Uso de aditivos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contenido de Cemento</li> <li>• Relación agua/cemento</li> <li>• Contenido de árido grueso</li> <li>• Permeabilidad del encofrado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo y tamaño máximo del árido grueso</li> <li>• Temperatura ambiente</li> <li>• Forma de la sección transversal</li> </ul>

*Figura No. 1: Factores que influyen en presión del hormigón.*

Fuente: (Beltrán, 2020)

En cuanto a la presión lateral del hormigón en estado fresco tenemos las siguientes variables que pueden afectar la misma:

#### i. **Peso del concreto.**

La densidad del concreto tiene una influencia directa porque la presión líquida en cualquier punto de un fluido se genera por el peso del fluido superpuesto. Debido a que, el concreto es una mezcla de sólido y agua, no actúa como un líquido durante todo el tiempo de fundición. Los agregados finos hacen que la densidad del concreto se reduzca, pero en las primeras etapas de colocación del mismo el efecto de la presión de los poros de agua no se reduce. El ACI 347R recomienda incluir un coeficiente de densidad del hormigón  $C_w$ , mismo que nos permite corregir la densidad del hormigón.

#### ii. **Tasa de colocación.**

La presión del hormigón aumenta en la parte baja conforme la altura de colocación del mismo aumente. Cuando el concreto endurece empieza a dejar de

ejercer presión en el encofrado de columnas o muros, debido a que se sostiene por si mismo. La tasa de colocación tiene efectos importantes en la presión lateral del hormigón y la máxima presión es proporcional a la tasa de colocación.

**iii. Vibrado.**

El vibrado interno es el método primario para consolidar el concreto. Hace que este material se comporte como un fluido y resulta en presiones laterales temporales que son 10 a 20% mas grandes que las que ocurren sin vibrado. Por otro lado, el vibrado externo, se realiza por medio de martillos vibradores externos que causan amplia fluctuación de la presión lateral.

**iv. Temperatura.**

Es importante conocer la temperatura del concreto en el momento de colocación del mismo debido a que la misma tiene una influencia importante ya que afecta el tiempo de colocación del concreto. A bajas temperaturas el concreto no tarda en endurecerse, por ende, se puede colocar a una gran profundidad antes de que la parte inferior se haya endurecido suficientemente para ser autoportante.

**v. Química de concreto.**

Este parámetro se refiere al tipo de cemento, uso de aditivos y ceniza volante o escoria como un reemplazo del cemento mismos que tienen un efecto significativo en la presión lateral del concreto. El coeficiente químico de ACI 347R es una manera de cuantificar el efecto de estos parámetros.

**vi. Asentamiento del concreto.**

El asentamiento del concreto convencional en un rango menor a 7 [in] no tiene efecto en la presión lateral del hormigón. Sin embargo, ACI 347R recomienda una cabeza de presión líquida para un asentamiento de rango mayor a 7 [in]. El concreto autoconsolidante tiene muchas ventajas al momento de ser colocado, pero, sus altas características de fluir tienen un impacto en la presión lateral.

Por otro lado, el cemento Portland puzolánico tipo IP es aquel que cumple con la norma ASTM C-595 y se obtiene de la molienda de materiales como Clinker, yeso y puzolana. Tiene varias ventajas como una alta resistencia a la compresión que se genera a largo plazo, moderada resistencia a la acción de sulfatos, reduce la eflorescencia del salitre, reduce la corrosión del acero de refuerzo y produce concretos más plásticos e

impermeables. Adicionalmente, tiene una fácil colocación en encofrados, cimentaciones, asentamientos de ladrillos, entre otros (UNACEM, 2014).

### **2.1.2. Encofrados.**

A pesar de que en la actualidad existen encofrados metálicos destinados para los diferentes elementos estructurales, el material más comúnmente utilizado para el ensamblaje de encofrados dentro de una construcción es la madera (encofrado tradicional). Es necesario manejar encofrados dentro de la construcción porque por medio de estos se puede mantener la forma de los elementos que conforman la obra como columnas, losas, gradas y muros. Adicionalmente, la función principal de los encofrados es actuar como moldes temporales o permanentes que den forma principalmente al hormigón. Asimismo, provee estabilidad al hormigón fresco, lo protege de golpes, temperaturas externas y la pérdida de agua, misma que se genera siempre que se hace la mezcla de concreto hasta que este haya llegado a su fraguado final.

Los encofrados se encuentran expuestos distintas cargas desde que los mismos son colocados, las cargas más comunes se enlistan a continuación:

- a) Peso del hormigón.
- b) Peso de los bloques o ladrillos en losas.
- c) Peso propio del encofrado.
- d) Presión del concreto en estado fresco.

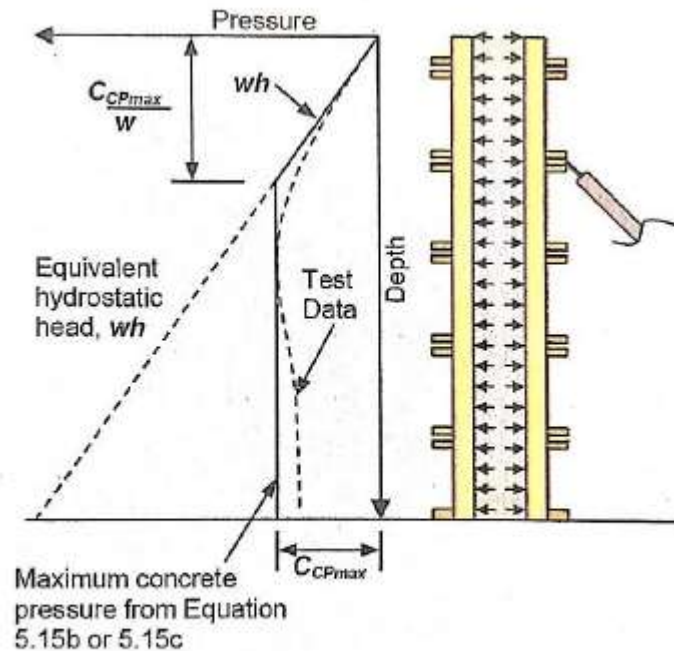
(Ayala; Chimbo; Yaguana, 2010).

Los encofrados funcionan de diferente manera, dependiendo del motivo para el cual se los va a utilizar y el tipo de encofrado que se desee ya sea este tradicional (madera) o metálico. En específico el encofrado de madera necesita ser construido de acuerdo a la interpretación de los planos. En muros y columnas particularmente se busca la resistencia para que soporte con seguridad el peso y presión lateral del hormigón en estado fresco, estabilidad para que los apuntalamientos no resbalen y por ende se produzca una falla al momento de realizar la fundición y rigidez para asegurar que las secciones del hormigón una vez finalizado el proceso de fundición y fraguado no presenten variación alguna.

(SENA, 1986)

### 2.1.3. Presión lateral del hormigón.

La presión lateral del hormigón en muros y columnas depende en primer lugar de la altura a la que se encuentre el material. Además de factores como, densidad del hormigón, temperatura, tasa de colocación y tipo de hormigón.



*Fig. 5.7: Concrete lateral pressure distribution*

*Figura No. 2: Distribución de la presión lateral de hormigón.*

Fuente: (Johnston, 2014).

#### Ecuaciones ACI SP4 (sistema inglés).

Para calcular la presión lateral del hormigón nos debemos guiar de las siguientes ecuaciones que se pueden encontrar en ACI SP4 (Johnston, 2014) y se encuentran en unidades inglesas:

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

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

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

Donde:

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

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

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

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

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

$C_C$ : Coeficiente químico

$C_w$ : Coeficiente del peso específico

Estas fórmulas se aplican de acuerdo a la siguiente tabla en la cual se muestran aspectos como, asentamiento, elemento, profundidad de vibrado y tasa de colocación del hormigón.

*Tabla 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).

Asimismo, calculamos el coeficiente químico para el cual es importante conocer el tipo de cemento a utilizar cuando se funda el hormigón. En la tabla se consideran factores como la escoria o ceniza volante que puede contener el cemento y uso de aditivos en la mezcla de concreto.



Tabla 2: 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).

Finalmente, se determina el coeficiente que nos permite corregir la de densidad del hormigón. Dichos valores se muestran en la tabla que se muestra a continuación.

Tabla 3: Coeficiente de peso unitario,

Densidad del hormigón [lb/ft3]	Cw
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).

#### Ecuaciones ACI SP4 (sistema internacional)

Las siguientes ecuaciones corresponden al trabajo realizado por Sebastián Beltrán en diciembre de 2020. Mismas que han sido transformadas para el sistema internacional debido a que en ACI SP4 únicamente se muestran las ecuaciones en unidades del sistema inglés para el cálculo de la presión del hormigón.

Tenemos las ecuaciones para el cálculo de la presión del hormigón de la siguiente manera:

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

$$C_{CP \max} = C_C * C_w * \left[ 7.2 + \frac{785R}{T+17.8} \right] \quad (5)$$

$$C_{CP \max} = C_C * C_w * \left[ 7.2 + \frac{1156}{T+17.8} + \frac{244R}{T+17.8} \right] \quad (6)$$

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

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

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

$T$ : Temperatura de colocación  $^{\circ}C$

$C_c$ : Coeficiente químico

$C_w$ : Coeficiente del peso específico

De la misma manera tenemos que los parámetros para aplicar las ecuaciones previamente mostradas se basan en la siguiente tabla:

*Tabla 4: Aplicabilidad de ecuaciones para el cálculo de la presión ejercida en el concreto.*

Asentamiento	Profundidad de Vibración Interna	Elemento	Tasa de colocación	Ecuación de presión
> que 175 [mm]	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera	(4)
$\leq$ a 175 [mm]	> que 1.20 [m]	Cualquiera	Cualquiera	(4)
$\leq$ a 175 [mm]	$\leq$ a 1.20 [m]	Columna	Cualquiera	(5)
		Muro $\leq$ 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 la misma manera, se obtiene el coeficiente químico por medio de la siguiente tabla:

*Tabla 5: Coeficiente Químico.*

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

Fuente: (Beltrán, 2020).

Finalmente, tenemos el coeficiente de densidad del hormigón. Cabe recalcar que las  $E_c$  (2) y  $E_c$  (3) tienen que respetar los límites de  $30C_w [kPa] \leq C_{CP\ max} \leq \rho * g * h$

Tabla 6: Coeficiente de peso unitario.

Sistema Internacional SI Units	
Densidad del hormigón [lb/ft <sup>3</sup> ]	C <sub>w</sub>
$\rho < 2240$	0.5 [1+(w/2320 (kg/m <sup>3</sup> ))] pero no menos de 0.80
$2240 \leq \rho \leq 2400$	1.0
$\rho > 2400$	w/2320(kg/cm <sup>3</sup> )

Fuente: (Beltrán, 2020).

#### 2.1.4. Sensores de presión.

La presión como una magnitud medida es la fuerza que ejerce un líquido o gas en una superficie. Se mide en unidades de fuerza por unidades de superficie, generalmente se encuentra en Pascal [Pa], bar [bar] o libras por pulgada cuadrada [psi].

Por otro lado, los sensores de presión son aquellos dispositivos que miden magnitud física que posteriormente se transforma una señal. Se componen por un elemento que permite detectar la presión real aplicada al sensor y componentes que transforman esta información a una señal de salida. En otras palabras, transforman una magnitud física en una eléctrica, es decir, una fuerza por unidad de superficie en voltaje que equivale a la presión ejercida (SENSING, 2020).

Adicionalmente, existen distintos tipos de sensores de presión que se clasifican de acuerdo al funcionamiento o a las medidas de presión que los mismos pueden utilizar. A continuación, se los detallará:

##### Por su funcionamiento:

- a) Sensores de presión con tecnología de galgas extensométricas: se tiene un elemento que detecta la presión a la que se adhieren las galgas extensométricas metálicas. Se tiene una buena amplificación de señal y resultados precisos y constantes por medio de esa tecnología ya que se realiza una conexión eléctrica que se establece por medio de un puente de Wheatstone.
- b) Sensores de presión capacitivos: este tipo de sensores utilizan una cavidad de presión y una membrana que generan un condensador variable.

Únicamente se puede medir presiones de hasta 40 [bar] con este tipo de sensores.

c) Sensores de presión piezorresistivos: son aquellos que tiene una membrana de silicio con galgas extensométricas integradas, se detecta la deformación derivada de la presión que se aplica. De la misma manera que el primer sensor, se utiliza un puente de Wheatstone, que aumenta la potencia de salida, llega a medir presiones de hasta 1000 [bar].

d) Sensores de presión resonantes: miden el esfuerzo de la presión que ha sido aplicada y utilizan cambios en frecuencia de resonancia. Este tipo de sensores suelen ser sensibles a impactos y vibraciones, por lo que esa es su principal desventaja.

Por la medida de presión:

a) Sensores de presión absoluta: son aquellos que miden la presión con respecto a una cámara de referencia.

b) Sensores de presión manométrica (relativa): mide la presión en relación con la presión atmosférica que se encuentre en ese momento.

c) Sensores de presión relativa normalizada: similares a los sensores de presión relativa que miden con respecto a una presión fija.

d) Sensor de presión diferencial: miden la diferencia entre dos presiones, miden caídas de presión, niveles de fluidos y caudales.

(HBM, 2020).

## 2.2. Instrumentación

### 2.2.1. Instrumentos.

La instrumentación que se utilizará en el presente trabajo de titulación se detallará a continuación:

- a) Sensor de presión PX103-U1: Se utilizará el sensor de presión de la marca Omega, mismo que mide presiones entre 0-25 [psi].



*Figura No. 3: Sensor de presión PX103-U1.*

Fuente: Autor.

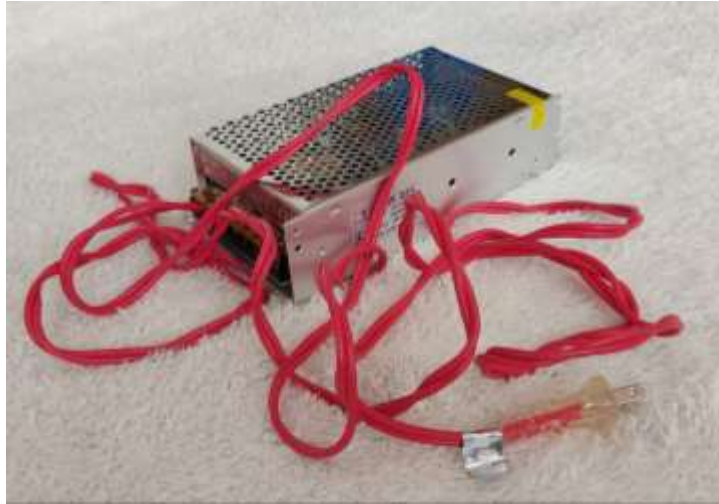
- b) Cables CA-6PC24-3-015: Estos cables se utilizan para poder conectar el sensor a la fuente de poder y que el mismo pueda funcionar.



*Figura No. 4: Cables para conectar a sensor de presión.*

Fuente: Autor.

- c) Fuente de poder: Este instrumento se utiliza para poder hacer funcionar el sensor.



*Figura No. 5: Fuente de poder.*

Fuente: Autor.

- d) Acondicionador de señal: Permite eliminar el ruido o señales que generen distorsión en los datos que se pretenden obtener al realizar los ensayos.



*Figura No. 6: Acondicionador de señal.*

Fuente: Autor.

e) Data Acquisition System: También conocido como DAQ, permite traducir los datos de corriente que se obtienen por medio del sensor para que el programa en LabView pueda traducirlos a presión y analizarlos.



*Figura No. 7: Sistema de adquisición de datos.*

Fuente: Autor.

f) Computador con programa LabView: Se utiliza la programación en LabView para poder traducir los datos de corriente a presión, además, se programó de tal manera en la que los datos se obtengan en intervalos de tiempo que se requieran y sean exportados a un programa como Microsoft Excel para poder ser analizados.



*Figura No. 8: Computador.*

Fuente: Autor.

g) Acoples: Se utilizan para colocar al sensor dentro del encofrado de madera mediante la rosca que tienen los mismos entran en la madera y sostienen a los sensores para la toma de datos.



*Figura No. 9: Acoples para sensores de presión.*

Fuente: Autor.

### 2.2.2. Configuración para toma de datos.

Para la toma de datos se debe ensamblar los instrumentos antes expuestos de la siguiente manera:



*Figura No. 10: Esquema de ensamblaje de instrumentación.*

Fuente: Autor.

Es importante conocer que la fuente de poder se conecta al cable del según la disposición mostrada en la Tabla 7.

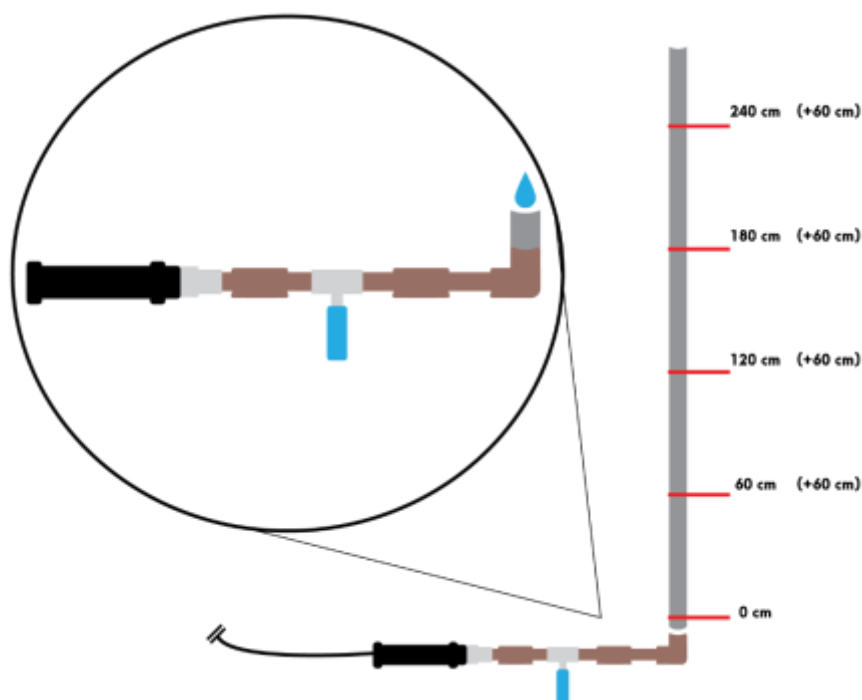


*Tabla 7: Disposición de los cables.*

Positivo (+V)	Cable rojo
Negativo (COM)	Cable negro
Tierra	Cable plateado

Fuente: Autor.

En la Figura 11 se muestra un esquema de una tubería en la cual se colocará agua hasta 240 [cm] y por medio de codos, uniones y demás se debe colocar el sensor en un extremo para de esta manera obtener datos de presión que al ser comparados con los calculados sean similares y de esta manera comprobar que la calibración de los equipos es correcta.



*Figura No. 11: Esquema de tuberías para calibración de equipos.*

Fuente: Autor.

### 2.3. Diseño de encofrado.

#### 2.3.1. Elemento de hormigón armado a instrumentar.

El muro a encofrar es trapezoidal. Cuenta con un ancho de 4.92 [m]. Su espesor es de 20 [cm]. Además, sus alturas son variables el lado derecho tenemos una altura de 4.21 [m], mientras que el lado izquierdo tiene una altura de 3.79 [m]. Las especificaciones arquitectónicas de este muro es que sea de hormigón visto, tipo rústico, para lo cual, se necesita utilizar tablas que nos den dicha textura. En este caso, las tablas que más se ajustan al diseño esperado son las “tablas de monte” que es su nombre comercial y son tablas de zapote. En las Figuras 12 y 13 se muestran las dimensiones y planos estructurales del muro cortesía de Juan José Recalde.

A partir de los planos estructurales, se puede tener las dimensiones exactas del muro para proceder a diseñar el encofrado del mismo. Para lo cual, es importante realizar un estudio de la disponibilidad de materiales en el mercado.

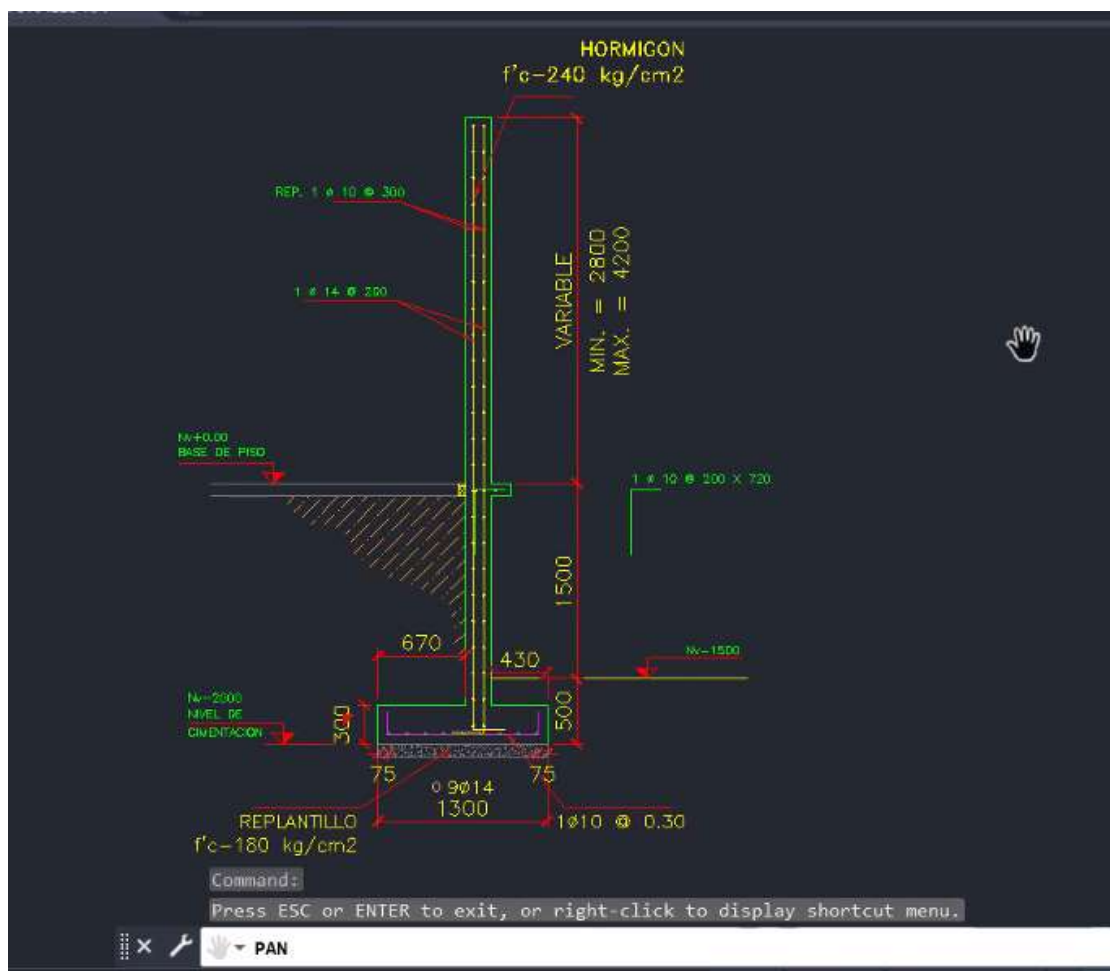


Figura No. 12: Detalle de muro a encofrar.

Fuente: (Recalde, 2021)

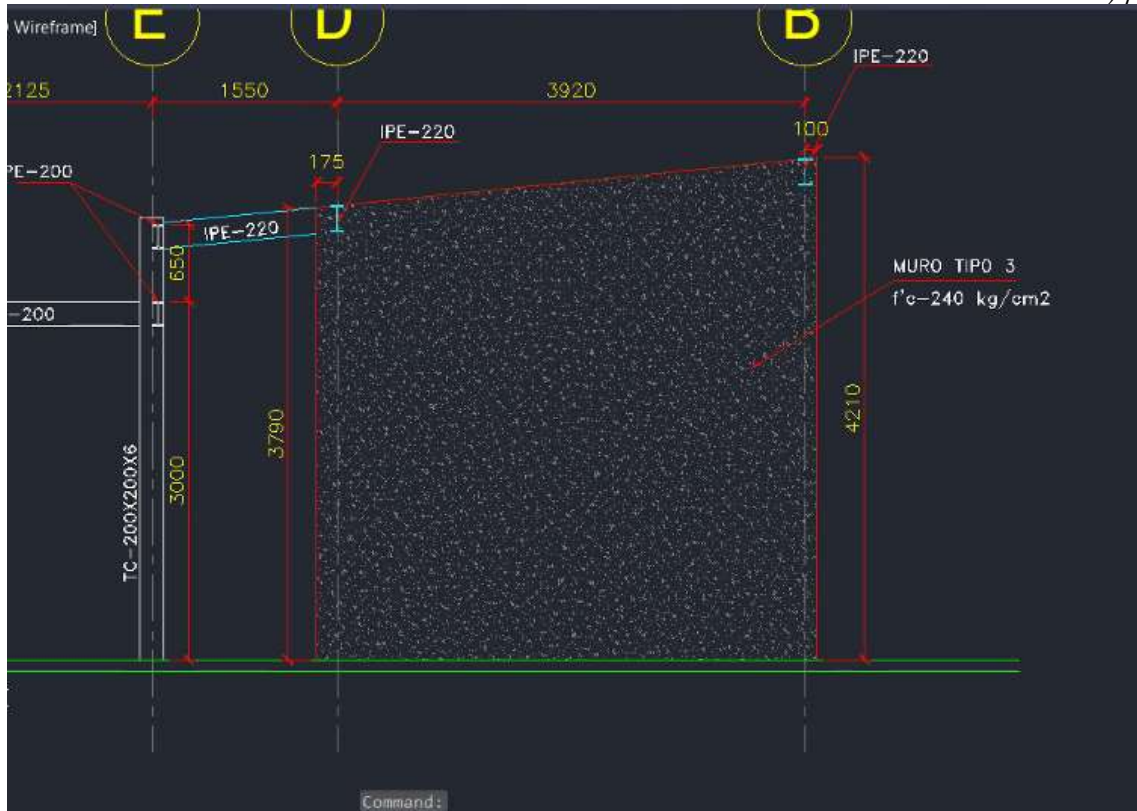


Figura No. 13: Dimensiones de muro de hormigón a encofrar.

Fuente: (Recalde, 2021).

### 2.3.2. Exploración de materiales para encofrado.

#### 1) Tablero

Los materiales disponibles para el tablero son los siguientes:

*Tabla 8: Materiales para tablero.*

Nombre	Dimensiones			Madera	Costo [\$]	Costo por m <sup>2</sup>
	Cara[cm]	Largo [cm]	Canto [cm]			
Tabla de monte	24	240	2	Tamburo Zapote Ceibo	2.50	4.34 [\$/m <sup>2</sup> ]
Tríplex	122	244	3.6	Tríplex	12.30	4.13 [\$/m <sup>2</sup> ]
Riel de eucalipto	14	240	2	Eucalipto	2.00	5.95 [\$/m <sup>2</sup> ]

Fuente: Autor.

A pesar de que el material más barato por metro cuadrado es el tríplex, se escoge la tabla de monte ya que sus dimensiones son adecuadas para el encofrado. Sobre todo, el espesor del tablero de tríplex es muy bajo y puede desencadenar en la falla del encofrado.

De esta manera, la tabla de monte tiene las siguientes especificaciones:

Material: Zapote

Clase de Uso: Tipo B

Densidad básica: 0.55-0.70 [g/cm<sup>3</sup>]

Esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad: Anexo C.

2) Montantes y largueros

Los materiales disponibles para estos elementos se muestran a continuación:

*Tabla 9: Materiales para largueros y montantes.*

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

Fuente: Autor.

En el listado de materiales mostrados anteriormente podemos observar los menores costos para aquellos materiales que tienen menores dimensiones. Sin embargo, por métodos constructivos se ha decidido tomar los montantes y largueros de dimensiones 5x10x240 [cm] como aquellos que se utilizarán en el diseño del encofrado.

Estos materiales tienen las siguientes propiedades:

Material: Colorado

Clase de Uso: Tipo B

Densidad básica: 0.55-0.70 [g/cm<sup>3</sup>]

3) Puntales

En este caso, se tiene puntales tanto de madera como de metal y sus costos son:

Tabla 10: Materiales para puntales.

Nombre	Dimensiones			Madera	Costo [\$]
	Cara [cm]	Canto [cm]	Largo [cm]		
Puntales de madera	-	-	250	Eucalipto	1.10
Puntales metálicos	-	-	240	Metal	1*2 días = 2

Fuente: Autor.

De la misma manera, a pesar que los puntales de madera son más económicos que los de metal. Escogemos los últimos debido a que el costo no varió mucho y sobre todo ayudamos al medio ambiente al no desperdiciar ni cortar madera.

### 2.3.3. Diseño de encofrado.

Es importante alcanzar el siguiente procedimiento para poder diseñar el encofrado para el muro de hormigón visto. Las fórmulas propuestas han sido tomadas en base al ACI-SP4 (14). Además, utilizamos los datos del muro a encofrar.

#### 1) Presión lateral de diseño.

Tenemos una altura de 4.20 [m], para el cual la presión del hormigón es:

$$C_{CP\ max} = C_c * C_w * \left[ 7.2 + \frac{1156}{T + 17.8} + \frac{244R}{T + 17.8} \right]$$

$$C_{CP\ max} = (1.2) * (1) * \left[ 7.2 + \frac{1156}{23\ [^{\circ}C] + 17.8} + \frac{244 * 1.36\ \left[\frac{m}{hr}\right]}{23\ [^{\circ}C] + 17.8} \right]$$

$C_{CP\ max} = 52.4\ kPa$  que corresponde a la presión de diseño.

#### 2) Diseño del tablero:

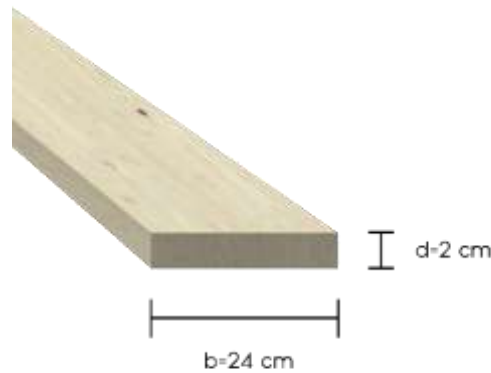
##### a) Chequeo por flexión.

La madera que se utilizará para encofrar el muro es la tabla de monte de zapote, misma que corresponde a clase de uso Tipo B. Entonces, chequeamos que los esfuerzos actuantes sean menores que los admisibles.

En la NEC 2015 se especifica las irregularidades permitidas para superficies de hormigón, se escoge la clase A que corresponde a  $\Delta_{max} = 3[mm]$ . De esta manera tenemos que:

$$\Delta_{max} = 30 [cm] = 0.3 [m]$$

Ahora bien, para el caso que estamos analizando, obtenemos el valor de la carga distribuida en la viga, el módulo de elasticidad mínimo que se proporciona en la Tabla 12 y la inercia de nuestra sección, con respecto a las medidas de nuestra tabla como se muestra en la Figura 14.



*Figura No. 14: Dimensiones de tablero.*

Fuente: Autor.

$$w = 52.40 \left[ \frac{kN}{m^2} \right] * 0.24 [m]$$

$$w = 12.576 \left[ \frac{kN}{m} \right]$$

$$E_{min} = 7500 [MPa]$$

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

$$I = \frac{(0.24) * (0.02)^3}{12}$$

$$I = 1.6 \times 10^{-7} [m^4]$$

Entonces, calculamos la longitud máxima permitida del tramo de la siguiente manera:

$$\Delta_{max} = \frac{w * l^4}{145 * E * I}$$

$$0.003 [m] = \frac{12.576 \left[ \frac{kN}{m} \right] * l^4}{145 * 7500 [MPa] * 1.6 \times 10^{-7} [m^4]}$$

$$l = 0.451 [m]$$

Por lo tanto, la longitud máxima permitida del tramo es 45.1 [cm].

De acuerdo a los resultados expuestos anteriormente y debido a que contamos con el largo de la tabla de monte que es 2.40 [m]. Se puede dividir en múltiplos de 3 y se obtiene dos valores que cumplen con la longitud máxima permitida del tramo que son:

$$s = \begin{cases} 40 [cm] \\ 30 [cm] \end{cases}$$

Se escoge el valor que corresponde a  $s = 30 [cm]$ . En primer lugar, chequeamos los momentos:

$$M_{max} = \frac{w * l^2}{10}$$

$$M_{max} = \frac{12.576 \left[ \frac{kN}{m} \right] * (0.30 [m])^2}{10}$$

$$M_{max} = 0.1132 [kN * m]$$

Después, calculamos el esfuerzo de flexión admisible:

$$f = \frac{M * y}{I}$$

$$f = \frac{0.2012 [kN * m] * \left( \frac{0.02}{2} \right) [m]}{1.6 \times 10^{-7} [m^4]}$$



$$f = 12576 \text{ [kPa]}$$

$$f = 12.6 \text{ [MPa]}$$

Adicionalmente, tenemos el esfuerzo de flexión admisible de acuerdo a la NEC 2015 que corresponde a:

$$Fm = 15 \text{ [MPa]}$$

De esta manera:

$$f < Fm$$

$$12.6 \text{ [MPa]} < 15 \text{ [MPa]}$$

Por lo tanto, se cumple el diseño a flexión para la tabla de monte.

b) *Chequeo por cortante.*

De la misma manera que para flexión tenemos que asegurarnos que los esfuerzos admisibles para cortante sean mayores que los que actúan. En primer lugar, calculamos los esfuerzos cortantes que actúan de la siguiente manera:

Se asume un montante de 5 cm de ancho y se tiene que:

$$V_{des} = 0.6 * w * l - w * \left[ d + \frac{lb}{2} \right]$$

$$V_{des} = 0.6 * 12.576 \left[ \frac{kN}{m} \right] * 0.4 \text{ [m]} - 12.576 \left[ \frac{kN}{m} \right] * \left[ 0.02 \text{ [m]} + \frac{0.05 \text{ [m]}}{2} \right]$$

$$V_{des} = 2.452 \text{ [kN]}$$

$$f_v = \frac{3 * V}{2 * b * d}$$

$$f_v = \frac{3 * 2.452 \text{ [kN]}}{2 * 0.24 \text{ [m]} * 0.02 \text{ [m]}}$$

$$f_v = 766 \left[ \frac{kN}{m^2} \right] = 0.766 \text{ [MPa]}$$

Asimismo, en la NEC 2015, nos proporcionan el esfuerzo admisible a corte que es:

$$F_v = 1.2 \text{ [MPa]}$$

De esta manera:

$$f_v < F_v$$

$$0.766 \text{ [MPa]} < 1.2 \text{ [MPa]}$$

Por lo tanto, se cumple el diseño a corte para la tabla de monte.

### 3) Diseño montantes:

En primer lugar, se ha decidido utilizar un montante de 5x10x240. De esta manera, definimos los valores de inercia, módulo de elasticidad, módulo de sección y cargas que actúan sobre los montantes por medio de las siguientes ecuaciones y con las dimensiones especificadas en la Figura 15.

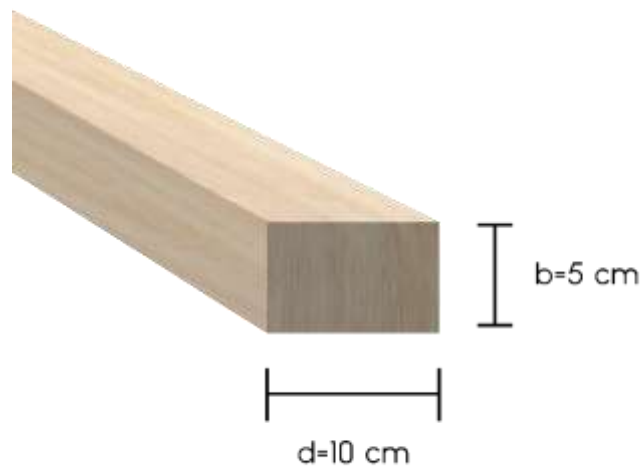


Figura No. 15: Dimensiones montantes y largueros.

Fuente: Autor

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

$$w = 52.40 \left[ \frac{kN}{m^2} \right] * 0.30 \text{ [m]}$$

$$w = 15.72 \left[ \frac{kN}{m} \right]$$

$$E \text{ min} = 7500 \text{ [MPa]}$$

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

$$I = \frac{(0.05) * (0.10)^3}{12}$$

$$I = 4.166 \times 10^{-6} [m^4]$$

$$Sx = \frac{1}{6} * b * d^2$$

$$Sx = \frac{1}{6} * (0.05) * (0.10)^2$$

$$Sx = 8.333 \times 10^{-5} [m^3]$$

a) *Cuequeo por flexión.*

Para el chequeo por flexión, utilizamos la siguiente ecuación que nos permitirá determinar la longitud de diseño  $l$  para los largueros.

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

$$l = 3.16 * \sqrt{\frac{15 \times 10^3 \left[ \frac{kN}{m^2} \right] * 8.333 \times 10^{-5} [m^3]}{15.72 \left[ \frac{kN}{m} \right]}}$$

$$l = 0.89 [m]$$

$$l = 89 [cm]$$

b) *Chequeo por deflexión*

Para el límite correspondiente a  $l/360$  se tiene siguiente fórmula de acuerdo a ASI SP4:

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

$$l = 0.738 * \sqrt[3]{\frac{7500 \times 10^3 \left[ \frac{kN}{m^2} \right] * 4.166 \times 10^{-6} [m^4]}{15.72 \left[ \frac{kN}{m} \right]}}$$

$$l = 0.9279 [m] = 92.8 [cm]$$

Por otro lado, se calcula de acuerdo a la deflexión máxima proporcionada por la NEC 2015, para chequear de acuerdo a los estándares de Ecuador y se tiene:

$$\Delta_{max} = \frac{w * l^4}{145 * E * I}$$

$$0.003 [m] = \frac{15.72 \left[ \frac{kN}{m} \right] * l^4}{145 * 7500 [MPa] * 4.166 * 10^{-6} [m^4]}$$

$$l = 0.90 [m]$$

$$l = 90 [cm]$$

c) *Chequeo por cortante*

Se están considerando apoyos de dos largueros de 5 cm de ancho, entonces calculamos la longitud de espaciamiento por medio de:

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

$$l = \frac{1.2 * 10^3 \left[ \frac{kN}{m^2} \right] * 0.05 [m] * 0.10 [m]}{0.9 * 15.72 \left[ \frac{kN}{m} \right]} + 1.67 * 0.10 [m] + 0.83 * 2 * 0.05 [m]$$

$$l = 0.6741 [m] = 67.4 [cm]$$

$$l = 67.4 [cm]$$

Una vez realizados todos los chequeos, podemos concluir que la longitud de espaciamiento entre largueros corresponde a 60 [cm].

4) **Tamaño de Largueros y Espaciado de soportes.**

Para verificar que el tamaño de los largueros asumimos es el correcto. Tomamos en cuenta que estos son dos con dimensiones de 5x10x240 [cm] y procedemos a calcular.

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

$$w = 52.40 \left[ \frac{kN}{m^2} \right] * 0.60 [m]$$

$$w = 31.44 \left[ \frac{kN}{m} \right]$$

Se calcula el módulo de sección correspondiente a dos largueros

$$Sx = \frac{1}{6} * b * d^2$$

$$Sx_{req} = 2 * \frac{1}{6} * (0.05) * (0.10)^2$$

$$Sx_{req} = 1.666 x 10^{-4} [m^3]$$

a) *Chequeo por flexión.*

Asumiendo que los apoyos de los largueros que corresponden a los sujetadores y que serán espaciados cada 60 [cm] (a chequear en el paso 5) tenemos la fórmula a continuación:

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

$$S = \frac{31.44 \left[ \frac{kN}{m} \right] * (0.60 [m])^2}{10 * 15x10^3 \left[ \frac{kN}{m^2} \right]}$$

$$S = 7.5456 x 10^{-5} [m^3]$$

Por lo tanto, sí cumple con el módulo de sección requerido debido a que:

$$1.666 x 10^{-4} [m^3] > 7.5456 x 10^{-5} [m^3]$$

b) *Chequeo por cortante.*

Asumiendo que los sujetadores van a utilizar placas de 5 cm de ancho tenemos que:

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

$$l = \frac{1.2x10^3 \left[ \frac{kN}{m^2} \right] * 2 * 0.05 [m] * 0.10[m]}{0.9 * 31.44 \left[ \frac{kN}{m} \right]} + 1.67 * 0.10 [m] + 0.83 * 0.05[m]$$

$$l = 0.6326 [m]$$

$$l = 63.3 [cm]$$

Cumple debido a que se tenía un espaciamiento de 60 [cm] previamente asumido. Sin embargo, en el paso 3 se comprobó que el valor asumido no es el correcto, en su lugar se tiene una longitud  $lb = 8 [cm]$  que corresponde a la del diseño.

### 5) Diseño del Soporte o Pasador

Para el diseño de soporte o pasador realizamos los siguientes cálculos:

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

$$w = 52.40 \left[ \frac{kN}{m^2} \right] * 0.60 [m]$$

$$w = 31.44 \left[ \frac{kN}{m} \right]$$

Se utilizará varilla corrugada de 3/8" (9.5 mm) con  $Fy = 420 [MPa]$ .

$$Fy = 0.80 * 420 [MPa]$$

$$Fy = 336 [MPa]$$

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

$$A = \frac{\pi}{4} * 0.0095^2$$

$$A = 7.0882 \times 10^{-5} [m^2]$$

$$Fu = 336 \times 10^3 \left[ \frac{kN}{m^2} \right] * 7.0882 \times 10^{-5} [m^2]$$

$$Fu = 23.816 [kN]$$

$$\text{Espaciamiento soporte} = \frac{\text{Capacidad de soporte}}{w * 1.1}$$

$$\text{Espaciamiento soporte} = \frac{23.816 [kN]}{31.44 \left[ \frac{kN}{m} \right] * 1.1}$$

$$\text{Espaciamiento soporte} = 0.68 [m]$$

Espaciamiento soporte = 68 [cm]

De esta manera, el espaciado del soporte será de 60 [cm] debido a métodos constructivos aproximamos a dicho valor.

6) Chequeo de Compresiones por Contacto.

Para chequear las compresiones por contacto debemos tener en cuenta que las mismas surgen entre los siguientes elementos:

a) *Chequeo de compresión perpendicular de largueros vs. sujetadores.*

Tenemos que tomar en cuenta que se diseñó para dos largueros que tendrán contacto con los sujetadores (placas). Se necesita el valor de la carga obtenida en el paso 5, así como el espaciado del soporte y determinar el área de contacto de la siguiente manera:

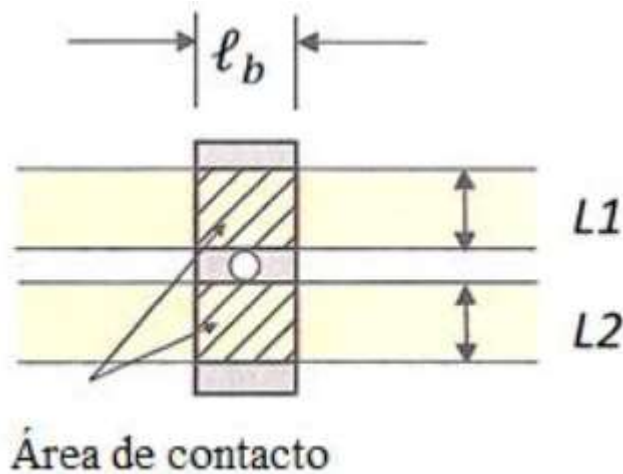


Figura No. 16: Área de contacto entre largueros y sujetadores.

Fuente: (Johnston, 2014)

$$P = 1.1 * w * l$$

$$P = 1.1 * 31.44 \left[ \frac{kN}{m} \right] * 0.6 [m]$$

$$P = 20.75 [kN]$$

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

$$A_{contacto} = 5 [cm] * 2 * 5 [cm]$$

$$A_{\text{contacto}} = 50 \text{ [cm}^2\text{]}$$

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

$$f_{\text{perp.}} = \frac{20.75 \text{ [kN]}}{\frac{50 \text{ [cm}^2\text{]}}{100^2 \text{ [cm}^2\text{]}}}$$

$$f_{\text{perp.}} = 4150 \left[ \frac{\text{kN}}{\text{m}} \right]$$

$$f_{\text{perp.}} = 4.15 \text{ [MPa]}$$

De acuerdo a la NEC 2015 el esfuerzo admisible de compresión perpendicular corresponde a:

$$F_{\text{perp.}} = 2.8 \text{ [MPa]}$$

$$f_{\text{perp.}} < F_{\text{perp.}}$$

$$4.15 \text{ [MPa]} > 2.8 \text{ [MPa]}$$

Por lo tanto, con un ancho de 5 [cm] para la placa asumido en el paso 4 no cumple, por lo que se necesita aumentar el ancho de la placa para lo cual realizamos el siguiente procedimiento:

$$F_{\text{perp.}} = \frac{P}{A}$$

$$2.8 \text{ [MPa]} = \frac{20.75 \text{ [kN]}}{A}$$

$$A = 7.411 \times 10^{-3} \text{ [m}^2\text{]}$$

$$A = 74.11 \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$A = b * a$$

$$74.11 \text{ [cm}^2\text{]} = b * 5 \text{ [cm]}$$

$$b = 7.4 \text{ [cm]}$$

Por facilidad al momento de construir aproximamos a:

$$b = 8 \text{ [cm]}$$



Entonces, volvemos a calcular el área de contacto y que los esfuerzos cumplan las condiciones requeridas de la siguiente manera:

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

$$A_{\text{contacto}} = 8 \text{ [cm]} * 2 * 5 \text{ [cm]}$$

$$A_{\text{contacto}} = 80 \text{ [cm}^2\text{]}$$

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

$$f_{\text{perp.}} = \frac{20.75 \text{ [kN]}}{\frac{80 \text{ [cm}^2\text{]}}{100^2 \text{ [cm}^2\text{]}}}$$

$$f_{\text{perp.}} = 2593.75 \left[ \frac{\text{kN}}{\text{m}} \right]$$

$$f_{\text{perp.}} = 2.594 \text{ [MPa]}$$

$$f_{\text{perp.}} < F_{\text{perp.}}$$

$$2.594 \text{ [MPa]} < 2.8 \text{ [MPa]}$$

Por lo tanto, con una placa de ancho 8 [cm] se cumple a compresión perpendicular de los elementos.

b) *Chequeo de compresión perpendicular de montantes vs. largueros.*

Se procede a calcular con las dimensiones correspondientes a los montantes y los largueros, tomando en cuenta que en el diseño se utilizarán dos largueros y se tiene que:

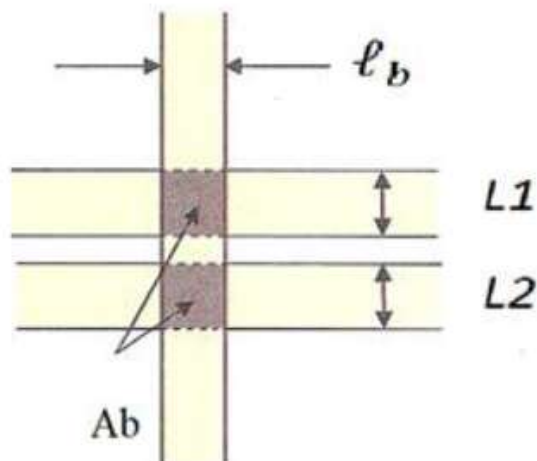


Figura No. 17: Área de contacto entre montantes y largueros.

Fuente: (Johnston, 2014)

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

$$A_{\text{contacto}} = 5 \text{ [cm]} * 2 * 5 \text{ [cm]}$$

$$A_{\text{contacto}} = 50 \text{ [cm}^2\text{]}$$

De acuerdo al ACI SP4 la fórmula para calcular la fuerza P es:

$$P = w * l$$

$$P = 15.72 \left[ \frac{\text{kN}}{\text{m}} \right] * 0.6 \text{ [m]}$$

$$P = 9.432 \text{ [kN]}$$

Una vez obtenidos los valores necesarios procedemos a calcular:

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

$$f_{\text{perp.}} = \frac{9.432 \text{ [kN]}}{\frac{50 \text{ [cm}^2\text{]}}{100^2 \text{ [cm}^2\text{]}}}$$

$$f_{\text{perp.}} = 188.64 \left[ \frac{\text{kN}}{\text{m}} \right]$$

$$f_{\text{perp.}} = 1.8864 \text{ [MPa]}$$

$$f_{\text{perp.}} < F_{\text{perp.}}$$

$$1.8864 \text{ [MPa]} < 2.8 \text{ [MPa]}$$

Por lo tanto, se cumple a compresión perpendicular de los elementos analizados.

7) Arriostramiento Lateral para encofrado.

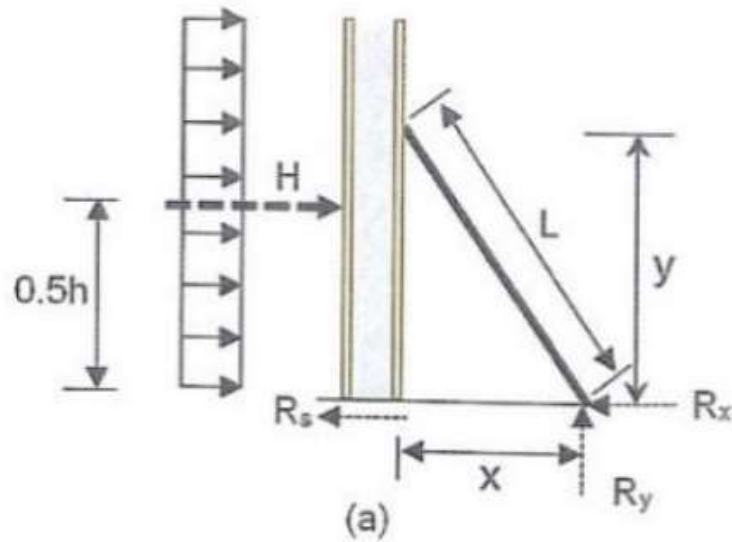


Figura No. 18: Distancias para el diseño de puntales.

Fuente: (Johnston, 2014)

De acuerdo a la Tabla 5.8 de ACI SP4 utilizamos:

$$H = 105 \left[ \frac{lb}{ft} \right] = 1.55 \left[ \frac{kN}{m} \right]$$

La altura de nuestro muro es:

$$h = 4.21 [m]$$

De esta manera:

$$Fw = H * h$$

$$Fw = 1.55 \left[ \frac{kN}{m} \right] * 4.21 [m]$$

$$Fw = 6.526 [kN]$$

Definimos una distancia en y de 2.50 [m] y tenemos que la fuerza H actúa a:

$$H = 0.55 * h$$

$$H = 0.55 * 4.21 [m]$$

$$H = 2.315 [m]$$

Por lo tanto, para calcular la distancia en x de los puntales tenemos que:

$$H^2 = x^2 + y^2$$

$$2.315^2 = x^2 + 3.00^2$$

$$x = 2.50 \text{ [m]}$$

Ahora bien, calculamos la fuerza P por medio de:

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

$$P = 2 \text{ [m]} * 1.55 \left[ \frac{kN}{m} \right] * 0.55 * 4.2 \text{ [m]} * \left( \frac{3.90 \text{ [m]}}{2.5 \text{ [m]} * 3.00 \text{ [m]}} \right)$$

$$P = 3.72 \text{ [kN]}$$

Cumple, debido a que de acuerdo a la ficha técnica de los puntales metálicos estos deben resistir 26 [kN].

Finalmente, se calcula las reacciones en “x” y en “y” que corresponden a:

$$Ry = P * \left( \frac{y}{L} \right)$$

$$Ry = 3.72 \text{ [kN]} * \left( \frac{3.00 \text{ [m]}}{3.90 \text{ [m]}} \right)$$

$$Ry = 2.86 \text{ [kN]}$$

$$Rx = P * \left( \frac{x}{L} \right)$$

$$Rx = 3.72 \text{ [kN]} * \left( \frac{2.50}{3.90} \right)$$

$$Rx = 2.38 \text{ [kN]}$$

#### 2.3.4. Elaboración de planos de taller.

En el anexo, A se tiene los detalles de los planos de taller y la lista de materiales a utilizar una vez que se realice el encofrado.

### **3. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

#### **3.1. Conclusiones**

Se logró culminar y cumplir con los objetivos propuestos para el presente proyecto integrador, ya que, se logró ensamblar la instrumentación para la toma de datos de la presión del hormigón en estado fresco, a pesar de que la misma no se encuentre en total funcionamiento, la forma en como se debe conectar los instrumentos y para que sirven cada uno de ellos fue uno de los objetivos logrados.

Adicionalmente, se exploró la disponibilidad de materiales para encofrado, es decir, se investigó acerca de las maderas que se encuentran en el mercado y que son utilizadas específicamente para los encofrados de muros o columnas. De la misma manera, se pudo obtener precios de los distintos tipos de maderas y sus respectivas dimensiones para poder determinar cual de ellas son las que se utilizarán en la construcción del encofrado.

Finalmente, se pudo realizar el diseño de encofrado y planos de taller respectivos. Para lo cual, se llevo a cabo las fórmulas planteadas por ACI SP4 (14), manual en el que se detalla como calcular los espaciamientos requeridos y los esfuerzos que actuaran con respecto a las dimensiones de los materiales escogidos. Además, comprobamos que los esfuerzos admisibles son mayores a los actuantes, asegurando que el encofrado no va a fallar y no se tendrán pérdidas en la construcción del muro estudiado.

#### **3.2. Recomendaciones**

Se recomienda a futuros proyectos, guiarse del manual para encofrados de Johnston, ACI SP4 (14), para realizar el diseño de encofrados ya sea de columnas o de muros. De esta manera, se puede asegurar que la madera cumpla con los criterios de cortante, flexión y deflexión. Al comprobar los criterios mencionados anteriormente cumpliremos con la seguridad dentro de la obra y evitaremos pérdidas económicas, tomando en cuenta que el encofrado es la parte más costosa en una obra.

Además, se recomienda guiarse de una persona que maneje el tema de electrónica para asegurarse del correcto funcionamiento de los sensores de presión adquiridos por la Universidad San Francisco de Quito. Entonces, se puede poner en obra a los sensores y se puede medir la presión del hormigón en estado fresco al momento de fundir un muro o una columna.

#### 4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- ACI Committee 347. (2014). Guide to Formwork for Concrete. ACI 347R-14.
- Ayala, R., Chimbo, C. & Yaguana, D. (2010). Clasificación, utilización e importancia el encofrado como elemento provisional en el área de la Construcción. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Recuperado de:  
<https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/10656/1/Tesina%20Encofrado.pdf>
- Beltrán, S. (2020). Análisis de los métodos de cálculo de la presión del hormigón fresco sobre los encofrados. Quito.
- Cosntrumática. (2021). Muro. Recuperado de:  
<https://www.construmatica.com/construpedia/Muro>
- HBM. (2020). Definición de un sensor de presión. Recuperado de:  
<https://www.hbm.com/es/7646/que-es-un-sensor-de-presion/>
- Johnston, D. (2014). An ACI Manual Formwork for Concrete, ACI SP-4(14) (8th ed.). American Concrete Institute.
- Mapro Ingeniería. (2018). Sensores de presión. Recuperado de:  
<https://maprosensor.com/sensores-presion>
- Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2015). Estructuras de hormigón armado.
- Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2015). Estructuras de Madera.
- Real Academia Española. (2021). Encofrado. Recuperado de:  
<https://dle.rae.es/encofrado>
- Real Academia Española. (2021). Hormigón. Recuperado de:  
<https://dle.rae.es/hormig%C3%B3n>
- Real Academia Española. (2021). Peso. Recuperado de: <https://dle.rae.es/peso>
- Santili, A. (2010). Empuje lateral del hormigón fresco sobre elementos de encofrado vertical: estudio experimental y desarrollo de un modelo empírico.
- SENSIG. (2020). Sensores de presión. Recuperado de: <https://sensores-de-medida.es/medicion/sensores-y-transductores/sensores-de-presion/>

Servicio Nacional de Aprendizaje. (1986). Armado de Encofrados de Madera.

Ministerio de trabajo y Seguridad Social. Recuperado de:

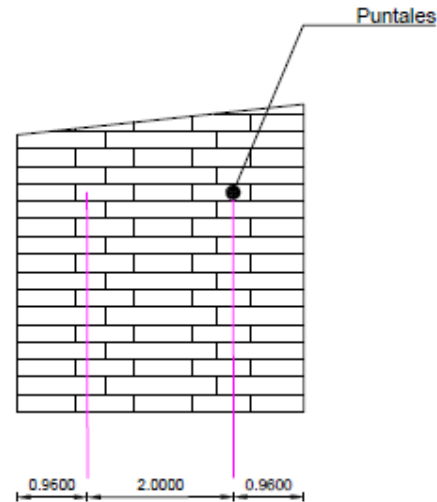
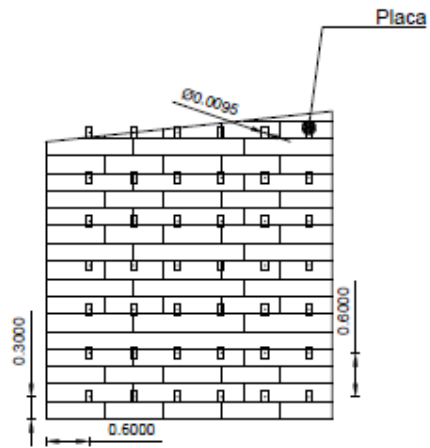
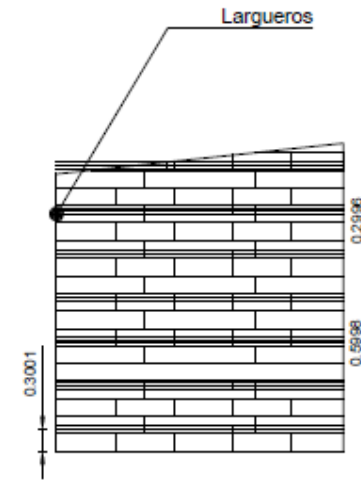
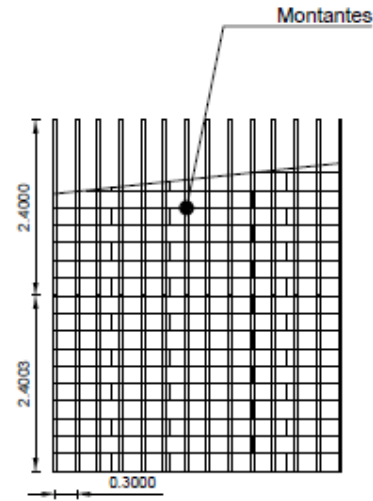
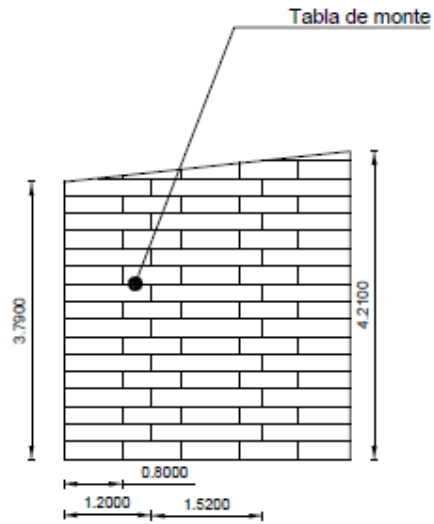
[https://repositorio.sena.edu.co/sitios/construccion\\_estructuras\\_hormigon/pdf/hormigon.pdf](https://repositorio.sena.edu.co/sitios/construccion_estructuras_hormigon/pdf/hormigon.pdf)

Tapia, G., & Recalde, J. (2018). Lateral pressure of fresh cement concrete on formwork using composite cement Type IP. Cumbayá.

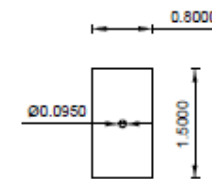
UNACEM. (2014). Cemento andino tipo IP/ Pórtland tipo IP. Recuperado de:

<https://www.unacem.com.pe/wp-content/uploads/2012/03/Cemento-Andino-TIPO-IP1.pdf>

**ANEXO A: PLANOS DE TALLER Y LISTA DE MATERIALES**



Detalle de placa y varilla corrugada





**Lista de Materiales:****LISTADO DE MATERIALES PARA ENCOFRADO DE MURO DE HORMIGÓN VISTO.****1. MATERIALES A EMPLEAR EN LA CONSTRUCCIÓN.***Tabla 11: Lista de Materiales*

MATERIAL	DIMENSIONES	CANTIDAD	TOTAL
<b>Tabla de Encofrado</b>	24X2X240 [cm]	34 x 2 caras del muro	68
<b>Montantes</b>	10X5X240 [cm]	28 x 2 caras del muro	56
<b>Largueros</b>	10x5x240 [cm]	12 x 2 caras del muro	24
<b>Placas</b>	8x15 [cm]	42 x 2 caras del muro	84
<b>Varilla Corrugada</b>	9.5 [mm]	42 x dos caras del muro	84

Fuente: Autor.

## ANEXO B: RESPALDOS CALIBRACIÓN DE SENSORES OMEGA

OMEGA ENGINEERING INC.

PRESSURE TRANSDUCER  
FINAL CALIBRATION

0.00 - 25.00 PSIG  
Excitation 28.000 Vdc

Job: WHM0031109  
Model: PX103U1-025GI  
Date: 8/1/2019  
Calibrated: 0.00 - 25.00 PSIG

Serial: 707040  
Tested By: CHRIS  
Temperature Range: +30 to +130 F  
Specfile: PX103-I-100

Pressure PSIG	Unit Data mA
0.00	3.975
12.50	11.942
25.00	19.961
12.50	11.924
0.00	3.962

Balance 3.975 mA  
Sensitivity 15.986 mA

ELECTRICAL LEAKAGE: PASS  
PRESSURE CONNECTION/FITTING: Flush Diaphragm (.749) Dia.)  
ELECTRICAL WIRING/CONNECTOR: PIN A = +INPUT  
PIN B = -INPUT

This Calibration was performed using Instruments and Standards that are traceable to the United States National Institute of Standards Technology.

S/N	Description	Range	Reference	Cal Cert
41000891/6	AUTO Mensor 100PSI	0 - 25.00 PSIG	C-3034	C-3034
MY44002665	AT34970 DMM	Unit Under Test	C-1281	C-1281
MY44002077	AT34970 DMM	Unit Under Test	C-1284	C-1284

Q.A. Representative : *Chris Day* Date: 8/1/2019

This transducer is tested to & meets published specifications. After final calibration our products are stored in a controlled stock room & considered in bonded storage. Depending on environment & severity of use factory calibration is recommended every one to three years after initial service installation date.

Omega Engineering Inc., 800 Connecticut Ave., Norwalk, CT 06854  
http://www.omega.com email: info@omega.com phone (800) 826-6342

Figura No. 19: Hoja Calibración Sensor 707040

Fuente: Omega.

OMEGA ENGINEERING INC.

PRESSURE TRANSDUCER  
FINAL CALIBRATION

0.00 - 25.00 PSIG  
Excitation 28.000 Vdc

Job: WHM0031109  
Model: PX103U1-025GI  
Date: 8/1/2019  
Calibrated: 0.00 -

Serial: 707041  
Tested By: CHRIS  
Temperature Range: +30 to +130 F  
Specfile: PX103-I-100

Pressure PSIG	Unit Data mA
0.00	3.979
12.50	11.950
25.00	19.973
12.50	11.955
0.00	3.970

Balance 3.979 mA  
Sensitivity 15.994 mA

ELECTRICAL LEAKAGE: PASS  
PRESSURE CONNECTION/FITTING: Flush Diaphragm (.749) Dia.)  
ELECTRICAL WIRING/CONNECTOR: PIN A = +INPUT  
PIN B = -INPUT

This Calibration was performed using Instruments and Standards that are traceable to the United States National Institute of Standards Technology.

S/N	Description	Range	Reference	Cal Cert
41000891/6	AUTO Mensor 100PSI	0 - 25.00 PSIG	C-3034	C-3034
MY44002665	AT34970 DMM	Unit Under Test	C-1281	C-1281
MY44002077	AT34970 DMM	Unit Under Test	C-1284	C-1284

Q.A. Representative : *Chris Diaz* Date: 8/1/2019

This transducer is tested to & meets published specifications. After final calibration our products are stored in a controlled stock room & considered in bonded storage. Depending on environment & severity of use factory calibration is recommended every one to three years after initial service installation date.

Omega Engineering Inc., 800 Connecticut Ave., Norwalk, CT 06854  
http://www.omega.com email: info@omega.com phone (800) 826-6342

Figura No. 20: Hoja Calibración Sensor 707041

Fuente: Omega.



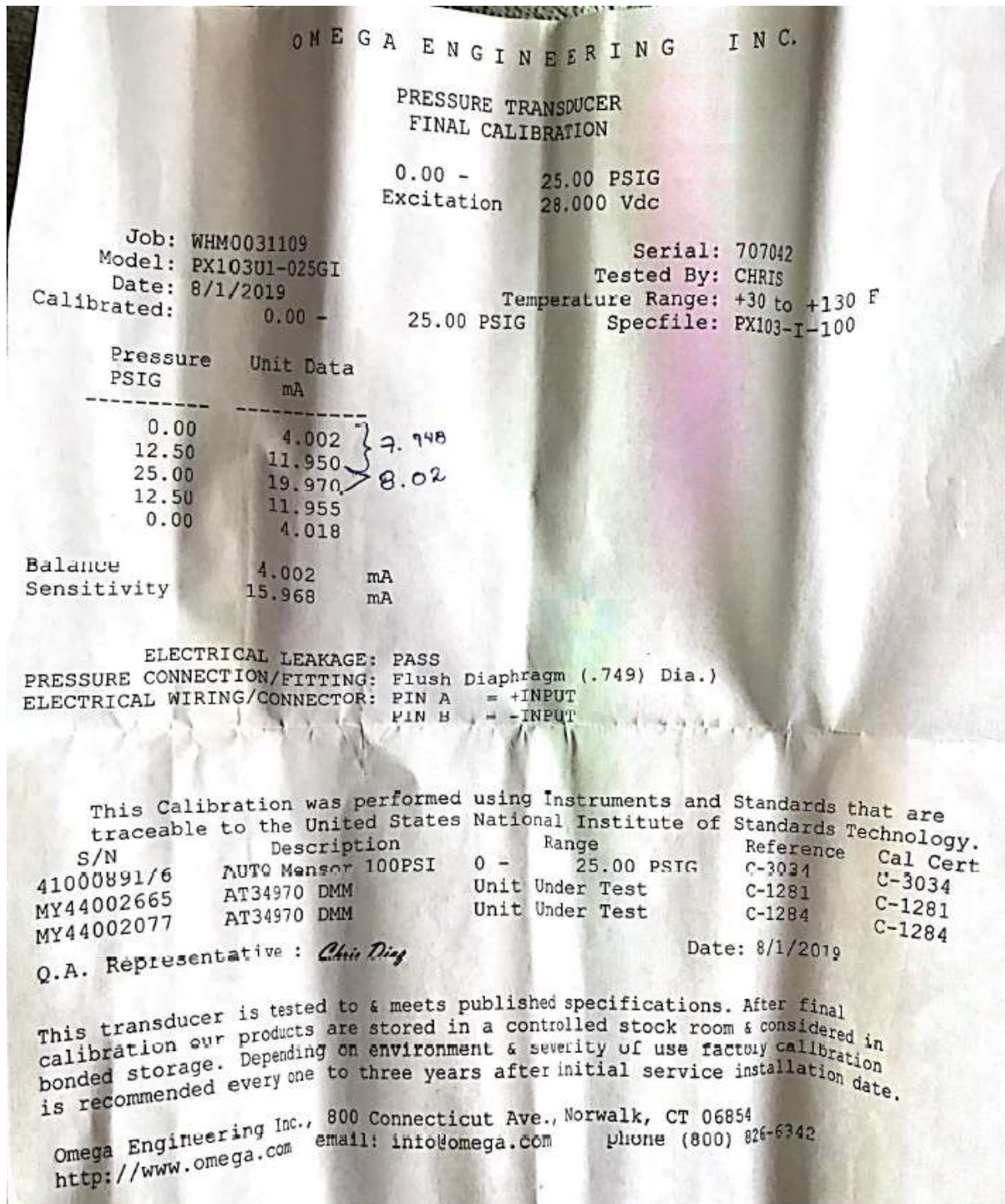


Figura No. 21: Hoja Calibración Sensor 7042

Fuente: Omega.

OMEGA ENGINEERING INC.

PRESSURE TRANSDUCER  
FINAL CALIBRATION

0.00 - 25.00 PSIG  
Excitation 28.000 Vdc

Job: WHM0031109  
Model: PX103U1-025GI  
Date: 8/1/2019  
Calibrated: 0.00 - 25.00 PSIG

Serial: 707043  
Tested By: CHRIS  
Temperature Range: +30 to +130 F  
Specfile: PX103-I-100

Pressure PSIG	Unit Data mA
0.00	3.995
12.50	11.970
25.00	19.971
12.50	11.978
0.00	3.996

Balance 3.995 mA  
Sensitivity 15.976 mA

ELECTRICAL LEAKAGE: PASS  
PRESSURE CONNECTION/FITTING: Flush Diaphragm (.749) Dia.)  
ELECTRICAL WIRING/CONNECTOR: PIN A = +INPUT  
PIN B = -INPUT

This Calibration was performed using Instruments and Standards that are traceable to the United States National Institute of Standards Technology.

S/N	Description	Range	Reference	Cal Cert
41000891/6	AUTO Mensor 100PSI	0 - 25.00 PSIG	C-3034	C-3034
MY44002665	AT34970 DMM	Unit Under Test	C-1281	C-1281
MY44002077	AT34970 DMM	Unit Under Test	C-1284	C-1284

Q.A. Representative : *Chris Ding* Date: 8/1/2019

This transducer is tested to & meets published specifications. After final calibration our products are stored in a controlled stock room & considered in bonded storage. Depending on environment & severity of use factory calibration is recommended every one to three years after initial service installation date.

Omega Engineering Inc., 800 Connecticut Ave., Norwalk, CT 06854  
http://www.omega.com email: info@omega.com phone (800) 826-6342

Figura No. 22: Hoja Calibración Sensor 707043.

Fuente: Omega.

**ANEXO C: ESFUERZO ADMISIBLES Y MÓDULO DE ELASTICIDAD.**

*Tabla 12: Esfuerzos Admisibles y Módulos de Elasticidad.*

<b>Grupo</b>	<b>Flexión [fm]</b>	<b>Tracción Paralela [ft]</b>	<b>Compresión paralela [fc]</b>	<b>Compresión perpendicular [ fci]</b>	<b>Corte Paralelo [fv]</b>	<b>Emin</b>	<b>Eprom</b>
B	15 [Mpa]	10.5 [Mpa]	11 [Mpa]	2.8 [Mpa]	1.2 [Mpa]	7500 [Mpa]	10000 [Mpa]

Fuente: (NEC, 2015).