

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES  
FACULTAD DE INGENIERIA  
INGENIERIA CIVIL



**PROYECTO DE GRADO**

**“MUROS DE CONTENCIÓN DE HORMIGÓN CICLÓPEO CON  
BOTELLAS PET EN REEMPLAZO DE LA PIEDRA COMO ELEMENTO  
DESPLAZADOR COLOCADAS EN POSICIÓN ERRÁTICA”**

**Trabajo Presentado para Optar al Título de Licenciado en Ingeniería Civil**

**POSTULANTE:**

UNIV. CESAR ISRAEL APAZA MACUCHAPI

**ASESORES:**

ING. FERNANDO MIGUEL CERRUTO ANIBARRO  
ING. LUIS ADOLFO CASTRO VEGA

**LA PAZ – BOLIVIA**

**2022**



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS  
FACULTAD DE INGENIERIA**



**LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.**

**LICENCIA DE USO**

El usuario está autorizado a:

- a) Visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) Copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) Copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la cita o referencia correspondiente en apego a las normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

**TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADAS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.**

## AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios por darme la oportunidad de culminar una etapa más de mi vida. Gracias señor Dios de todo corazón.

Agradecer primeramente a la Universidad Mayor de San Andrés en particular a la facultad de Ingeniería por brindarme todos los conocimientos necesarios a través de sus docentes que nos preparan para ejercer esta linda profesión.

Agradezco de manera especial y sincera al Ing. Fernando Miguel Cerruto Anibarro e Ing. Luis Adolfo Castro Vega por haberme acogido con los brazos abiertos para la realización de mi proyecto de grado aceptando ser mis guías en esta nueva travesía, su apoyo y confianza han sido invaluable para desarrollar el proyecto, les agradezco de todo corazón el haber estado apoyándome de manera incondicional.

Además, quiero extender mi eterno agradecimiento al Ing. Marcelo Gonzalo Delgadillo Zurita, MSc. Ing. Oscar Luis Perez Loayza, MSc. Eliseo Jahdiel Villafuerte Oporto e MSc. Ing. Angel Ramos Maita que fueron miembros del Tribunal de evaluación por brindarme aquello que en la vida no es posible recuperar como lo es el tiempo. Gracias por su paciencia al momento de la corrección del proyecto, agradezco todas las observaciones y sugerencias vertidas ya que fueron ellas las que posibilitaron las mejoras en el proyecto. Quiero expresar de igual manera mi sincero agradecimiento al Ing. Primitivo Condarco Aguilar por todo el apoyo brindado en su calidad de director interino de nuestra querida carrera, sin sus gestiones no hubiese sido posible avanzar. ¡Así también agradezco al Ing. Miguel Muñoz Black, muchas gracias!

A mis amigos que me apoyan siempre, ellos saben quiénes son ¡GRACIAS!

Finalmente, quiero agradecer a todas las personas que me aportaron y me compartieron sus conocimientos, siendo como la luz que ilumina las sombras de la ignorancia. Les agradezco enormemente su inspiración y la aportación que me han brindado.

**¡Gracias de todo corazón!**

*Cesar Israel Apaza Macuchapi*

## **DEDICATORIA**

A Dios, mi más grande amor e inspiración, contigo todo y sin ti nada.

Mamá, tú la que siempre me apoyo y me cuida. Hare todo el esfuerzo por ti y para ti solo para darte las gracias. Te amo mamá

Papá, no lo hubiera logrado sin los valores y las creencias que me inculcaste en mi alma y en mi corazón. Te amo papá

Hermanos, que fueron un ejemplo en mi vida. Inspiración y razones para no darme por vencido.

A cada uno de quienes han estado conmigo, sin importar el tiempo y el espacio, aquellos que me daban su apoyo y me decían “¡¡¡Vamos Cesar que vos puedes!!!” en verdad los amo porque a pesar de todo me alentabas y me impulsabas.

*A mis hermanos Rodolfo, Alfredo y Viviana*

*A mis padres Victor y Martha*

# **MUROS DE CONTENCIÓN DE HORMIGÓN CICLÓPEO CON BOTELLAS PET EN REEMPLAZO DE LA PIEDRA COMO ELEMENTO DESPLAZADOR COLOCADAS EN POSICIÓN ERRÁTICA**

Nombre: Cesar Israel Apaza Macuchapi C.I.:6002979 LP Cel.: 74096925

Correo: [angel--74096@hotmail.com](mailto:angel--74096@hotmail.com)

Dirección: Zona Chamoco Chico, Calle Sagrado Corazón de Jesús N.º 1745

## **RESUMEN**

Los muros de hormigón ciclópeo que generalmente para su construcción se emplea piedras manzana como elemento desplazador, sin embargo, el costo y disponibilidad de la piedra hace muchas veces prohibitiva su construcción ya que no se cuentan con canteras de agregado grueso y piedra cercanas al emplazamiento del muro.

Se realizaron dos proyectos de grado en el cual se reemplazó las piedras por botellas colocadas en una posición determinada, éstos muros ya construidos actualmente están en funcionamiento teniendo una altura de 3.5[m], en la zona de Cota Cota, en el frontis del Instituto de Ensayo de Materiales de la Universidad Mayor de San Andrés, con el cual se comprueba la factibilidad de reemplazar dichas piedras por botellas plásticas PET rellenas con material que resulta de la excavación.

En el presente proyecto de grado se amplía la información técnica y económica obtenida de las investigaciones realizadas antes mencionadas, pero en éste caso con una disposición errática de las botellas, dado que antes fueron dispuestas en posición horizontal (con eje perpendicular y con eje paralelo a la pantalla del muro) y en posición vertical.

Se comprobó que el procedimiento de fabricación de un muro de HCP es fácilmente reproducible por personal no especializado, por lo tanto, el costo de mano de obra no es mayor que el requerido para fabricar un HC tradicional y estructuralmente cumplen con lo requerido, por lo que un muro pet funciona igual que un muro de hormigón ciclópeo tradicional.

Éste tipo de aplicaciones entra en el concepto de economía circular, porque posibilita el reciclaje, de un elemento sin gasto energético adicional.

**MUROS DE CONTENCIÓN DE HORMIGÓN CICLÓPEO CON BOTELLAS PET EN  
REEMPLAZO DE LA PIEDRA COMO ELEMENTO DESPLAZADOR COLOCADAS  
EN POSICIÓN ERRÁTICA**

Nombre: Cesar Israel Apaza Macuchapi C.I.:6002979 LP Cel.: 74096925

Correo: [angel--74096@hotmail.com](mailto:angel--74096@hotmail.com)

Dirección: Zona Chamoco Chico Calle Sagrado Corazón de Jesús N.º 1745

**ABSTRACT**

The cyclopean concrete walls that are generally used for their construction block stones as a displacer element, however, the cost and availability of the stone often makes its construction prohibitive since there are no coarse aggregate and stone quarries near the site of the Wall.

Two degree projects were carried out in which the stones were replaced by bottles placed in a certain position, these already built walls are currently in operation having a height of 3.5[m], in the Cota Cota area, in front of the Institute of Materials Testing of the Universidad Mayor de San Andrés, with which the feasibility of replacing said stones with PET plastic bottles filled with material resulting from the excavation is verified.

In this degree project, the technical and economic information obtained from the aforementioned investigations is expanded, but in this case with an erratic arrangement of the bottles, since before they were arranged in a horizontal position (with a perpendicular axis and with an axis parallel to wall screen) and upright.

It was verified that the manufacturing procedure of a HCP wall is easily reproduced by non-specialized personnel, therefore, the labor cost is not greater than that required to manufacture a traditional HC and structurally they comply with what is required, therefore that a pet wall works the same as a traditional cyclopean concrete wall.

This type of application falls within the concept of circular economy, because it makes it possible to recycle an element without additional energy expenditure.

## INDICE GENERAL

CAPITULO 1 GENERALIDADES .....	1
1.1    Introducción .....	1
1.2    Antecedentes .....	2
1.3    Objetivos .....	6
1.3.1    Objetivos Generales.....	6
1.3.2    Objetivos Específicos. ....	6
1.4    Justificación .....	6
1.5    Alcances y Limitaciones .....	7
CAPITULO 2 MARCO TEORICO.....	10
2.1    Introducción .....	10
2.2    Presiones laterales sobre muros de contención: .....	10
2.3    Dimensionamiento de muros de contención: .....	11
2.4    Estabilidad del muro .....	12
2.5    Ensayo de Carga .....	13
2.5.1    Equipo:.....	14
2.5.1.1    Gato Hidráulico .....	14
2.5.1.2    Extensómetros Mecánicos .....	14
2.5.2    Preparación y acondicionamiento.....	15
2.6    Espaciamento y disposición de botellas.....	16
2.7    Suelo de Fundación.....	16
CAPITULO 3 MARCO PRACTICO .....	17
3.1    Ubicación del Proyecto .....	17
3.1.1    Dosificación de mezcla de hormigón .....	18
3.1.2    Diseño de un muro de contención de hormigón ciclópeo.....	19

3.1.2.1	Peso unitario del hormigón con botellas pet.....	19
3.1.3	Diseño del encofrado .....	27
3.1.4	Verificación del muro de contención, con una fuerza F.....	28
3.1.5	Construcción de los muros de Hormigón Ciclópeo Pet.....	30
3.1.5.1	Excavación común.....	30
3.1.5.2	Llenado de botellas.....	32
3.1.5.3	Encofrado .....	33
3.1.5.4	Vaciado de los muros de HCP.....	35
3.1.5.5	Desencofrado y curado. ....	39
3.1.6	Modelado de estructura en software SAP2000.....	39
3.1.7	Ensayo de carga.....	43
3.1.7.1	Preparación y acondicionamiento.....	44
3.1.7.2	Procedimiento.....	45
CAPITULO 4	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	46
4.1	Dosificación .....	46
4.2	Evaluación de la resistencia mecánica de los muros de Hormigón Ciclópeo Pet. ....	46
4.3	Análisis del peso Unitario.....	47
4.4	Resultados del ensayo de carga.....	49
CAPITULO 5	ANÁLISIS DE COSTOS.....	50
5.1	Hormigones.....	50
5.1.1	Hormigón ciclópeo con botellas plásticas pet, (HCP) .....	50
5.2	Comparación de costos .....	51
CAPITULO 6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	52
6.1	Conclusiones.....	52
6.2	Recomendaciones.....	53



FUENTES DE INFORMACIÓN.....54

## INDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO A1</b>	<b>CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS</b> .....	55
A1.1	Ensayo de análisis granulométrico.....	56
A1.2	Ensayo peso específico y absorción del agregado grueso y fino. ....	58
A1.3	Ensayo peso unitario de los agregados. ....	59
<b>ANEXO A2</b>	<b>DISEÑO DE LA DOSIFICACIÓN</b> .....	60
<b>ANEXO A3</b>	<b>RESULTADOS DE LOS MUROS DE CONTENCIÓN</b> .....	61
A3.1	Botellas plásticas pet.....	62
A3.2	Dimensiones obtenidas de los muros.....	63
A3.3	Resultado de ensayo a compresión de probetas extraídas de los muros. ....	64
A3.4	Diseño muro de contención con botellas plásticas pet.....	68
A3.5	Diseño de un Muro de contención utilizando el software GEO-5 .....	74
A3.5.1	Datos de Entrada.....	74
A3.5.2	Datos de Salida .....	75
A3.6	Verificación de la estructura bajo la aplicación de una fuerza “F” .....	76
A3.7	Calculo de encofrado para muro de contención.....	81
A3.7.1	Pantalla de muro .....	81
A3.7.2	Cimentación de muro de contención .....	83
A3.7.3	Plano encofrado de madera.....	84
<b>ANEXO A4</b>	<b>MANUAL DE CONSTRUCCIÓN</b> .....	86
A4.1	Introducción .....	87
A4.2	Materiales, herramientas y equipos.....	87
A4.3	Forma de ejecución .....	87
A4.3.1	Preparación de la cota de fundación .....	87
A4.3.2	Llenado de botellas .....	88

A4.3.3	Encofrado.....	89
A4.3.4	Replanteo de la cimentación sobre la carpeta de nivelación, .....	89
A4.3.5	Vaciado de los muros de hormigón ciclópeo pet, (HCP) .....	90
A4.3.6	Desencofrado y curado del muro.....	92
A4.4	Relleno. ....	93
<b>ANEXO A5</b>	<b>RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CARGA .....</b>	<b>95</b>
A5.1	Anillo dinamométrico .....	96
A5.2	Gato hidráulico.....	97
A5.3	Lecturas de extensómetros.....	99
<b>ANEXO A6</b>	<b>ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS .....</b>	<b>101</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Tipos de muro de contención.....	1
Figura 1.2 Partes de un muro de contención.....	2
Figura 1.3 Construcciones en la ciudad de La Paz.....	2
a) Construcciones en ladera.....	2
b) Vías de acceso tipo gradería.....	2
Figura 1.4 Muros de contención en la Ciudad de La Paz.....	3
a) Hormigón armado.....	3
b) Hormigón ciclópeo.....	3
c) Muro gaviones.....	3
Figura 1.5 Viviendas inundadas en el Beni.....	3
Figura 1.6 Muros de Contención contruidos con botellas pet en posición determinada.....	5
Figura 1.7 Emplazamiento de los muros de contención – IEM Cota Cota.....	7
Figura 1.8 Geometría del muro de contención. (Ancho unitario).....	8
Figura 2.1 Empuje de suelo según Rankine.....	11
Figura 2.2 Dimensiones aproximadas de un muro de contención.....	12
Figura 2.3 Tensión máxima sin considerar tracción.....	13
Figura 2.4 Posición de la fuerza F. (Empuje activo).....	14
Figura 2.5 Gato hidráulico.....	14
Figura 2.6 Extensómetros mecánicos.....	15
a) Precisión de 0,002 mm.....	15
b) Precisión de 0,01 mm.....	15
Figura 2.7 Esquema de disposición de equipamiento para ensayo de estabilidad del muro.....	15
a) Disposición de extensómetros.....	15
b) Disposición de gato hidráulico.....	15

Figura 2.8 Madera Biselada.....	16
Figura 3.1 Vista lateral y frontal de los muros de hormigón ciclópeo pet. ....	17
a) Vista frontal .....	17
b) Vista lateral .....	17
Figura 3.2 Dimensiones reales de los tres muros de contención en [cm]. ....	20
Figura 3.3 Esquema de datos de entrada. ....	22
Figura 3.4 Esquema de datos de salida.....	23
Figura 3.5 Tensiones en el hormigón. ....	24
Figura 3.6 Verificación de estabilidad. ....	25
Figura 3.7 Capacidad portante del suelo .....	25
Figura 3.8 Verificación de la sección crítica: cuerpo del muro.....	26
Figura 3.9 Encofrado para un muro de contención de HCP.....	28
a) Corte: Vista frontal y lateral, pantalla de muro.....	28
b) Corte: Vista frontal y lateral, cimiento de muro. ....	28
Figura 3.10 Datos de entrada para la fuerza F.....	29
Figura 3.11 Datos de salida para la fuerza F .....	29
Figura 3.12 Excavación con maquinaria .....	30
a) Proceso de excavación con maquinaria .....	30
b) Terreno excavado.....	30
Figura 3.13 Presencia de agua después de la excavación.....	31
a) Terreno excavado con presencia de agua.....	31
b) Proceso de excavación de zanja.....	31
Figura 3.14 Proceso de compactación del suelo por capas. ....	32
Figura 3.15 Carpeta de hormigón pobre.....	32
Figura 3.16 Proceso de llenado de botellas. ....	33

a)	Tamizado de tierra .....	33
b)	Llenado y compactado de botellas .....	33
Figura 3.17	Construcción de encofrado. ....	34
a)	Construcción de encofrado frontal y posterior.....	34
b)	Lateral pantalla.....	34
c)	Cimentación .....	34
Figura 3.18	Pintado de encofrado con aceite de automóvil sucio. ....	35
Figura 3.19	Primera etapa de vaciado. ....	36
a)	Replanteo de cimentación .....	36
b)	Encofrado de zapata I.....	36
c)	Vibrado de 1ra capa 10 cm .....	36
d)	Colocado de primera camada de botellas.....	36
Figura 3.20	Colocado de botellas de espera. ....	37
Figura 3.21	Segunda etapa de vaciado. ....	38
a)	Disposición de rampa de madera .....	38
b)	Botellas de espera en pantalla .....	38
Figura 3.22	Tercera etapa de vaciado.....	38
a)	Disposición de encofrado.....	38
b)	Acabado superior. ....	38
Figura 3.23	Desencofrado y curado de muro. ....	39
a)	Desencofrado .....	39
b)	Curado.....	39
Figura 3.24	Modelo estructural sin botellas. ....	40
a)	Modelo de muro sin el análisis de botellas .....	40
a)	Tensiones en dirección S33 (Pantalla).....	40

b)	Tensiones en dirección S11 (Puntera – Talón) .....	40
Figura 3.25	Modelo de estructura sección hueca. ....	41
a)	Con botellas horizontales paralelo a la pantalla.....	41
b)	Con botellas horizontales perpendicular a la pantalla.....	41
c)	Con botellas verticales .....	41
Figura 3.26	Tensiones principales, botellas horizontales paralelas.....	41
a)	Tensiones en dirección S33 (Pantalla).....	41
b)	Tensiones en dirección S11 (Puntera – Talón) .....	41
Figura 3.27	Tensiones principales, botellas horizontales perpendiculares. ....	42
Figura 3.28	Tensiones principales, botellas verticales. ....	42
Figura 3.29	Calibración de gato hidráulico. ....	43
Figura 3.30	Disposición del gato hidráulico. ....	44
Figura 3.31	Disposición de extensómetros. ....	45
Figura A1.1	Curva granulométrica de agregados.....	57
Figura A3.1	Configuración y geometría en GEO-5 .....	74
Figura A3.2	Verificación del Equilibrio.....	75
Figura A3.3	Verificación de la capacidad portante del suelo. ....	75
Figura A4.1	Excavación. ....	87
Figura A4.2	Carpeta de nivelación.....	88
Figura A4.3	Tamizado de tierra. ....	88
Figura A4.4	Llenado y compactado de botellas.....	89
Figura A4.5	Encofrado de madera. ....	89
Figura A4.6	Replanteo de cimentación. ....	90
Figura A4.7	Colocado de encofrado.....	90
Figura A4.8	Primera camada de botellas.....	90

Figura A4,9 Segunda capa de hormigón. ....	91
Figura A4,10 Botellas de espera.....	91
Figura A4.11 Encofrado cuerpo de muro.....	92
Figura A4.12 Desencofrado y curado,.....	92
Figura A4,13 1ra capa de relleno compactado,.....	93
Figura A4.14 1ra capa de material drenante. ....	93
Figura A4,15 2da capa de relleno compactado. ....	94
Figura A4,16 Relleno terminado,.....	94
Figura A5.1 Recta de calibración Anillo dinamométrico.....	96
Figura A5.2 Recta de calibración gato hidráulico.....	98
Figura A5.3 Lecturas extensómetros Muro I.....	99
Figura A5.4 Lecturas extensómetros Muro II. ....	100
Figura A5.5 Lecturas extensómetros Muro III.....	100



## INDICE DE CUADROS

Cuadro 3.1 Resumen propiedades de los agregados .....	18
Cuadro 3.2 Cantidad de Materiales para 1 m <sup>3</sup> de Hormigón seco. ....	18
Cuadro 3.3 Cantidad de botellas por muro.....	19
Cuadro 3.4 Peso promedio de botellas con tierra.....	19
Cuadro 3.5 Peso unitario del hormigón obtenido de probetas cilíndricas.....	21
Cuadro 3.6 Cuadro resumen PU de Muros. ....	21
Cuadro 3.7 Resumen de tabla “ Calibración del gato hidráulico”.....	43
Cuadro 4.1 Propiedades físico-mecánicas de los agregados .....	46
Cuadro 4.2 Resistencia a compresión de probetas cilíndricas de los muros. ....	46
Cuadro 4.3 Resistencia a compresión del cilindro, extracción de núcleo. ....	47
Cuadro 4.4 Resistencia a tracción de probetas cilíndricas del muro III. ....	47
Cuadro 4.5 Peso Unitario con botellas en posición errática.....	47
Cuadro 4.6 Peso Unitario con botellas en posición horizontal paralelo a la pantalla. ....	48
Cuadro 4.7 Peso Unitario con botellas en posición horizontal perpendicular a la pantalla. ....	48
Cuadro 4.8 Peso Unitario con botellas en posición vertical.....	48
Cuadro 4.9 Peso Unitario con piedra manzana. ....	48
Cuadro 4.10 Peso Unitario promedio.....	49
Cuadro 4.11 Desplazamientos en los muros de contención con botellas en posición errática.....	49
Cuadro 5.1 Dosificación base.....	50
Cuadro 5.2 Rendimiento de la mano de obra para muro de HCP. ....	51
Cuadro 5.3 Cuadro de Comparación de costos. ....	51
Cuadro A1.1 Análisis granulométrico Grava y Arena ASTM C-136 .....	56
Cuadro A1.2 Peso específico y absorción del agregado grueso y fino .....	58
Cuadro A1.3 Peso Unitario del agregado grueso y fino.....	59

Cuadro A3.1 Peso promedio y cantidad de botellas por muro.....	62
Cuadro A3.2 Dimensiones de pantalla y cimentación por muro.....	63
Cuadro A3.3 Probetas cilíndricas Muro I.....	64
Cuadro A3.4 Probetas cilíndricas Muro II .....	65
Cuadro A3.5 Probetas cilíndricas Muro III.....	66
Cuadro A3.6 Ensayo a Tracción probetas cilíndricas Muro III .....	67
Cuadro A3.7 Ensayo de extracción de núcleo Muro I .....	67
Cuadro A5.1 Calibración de anillo dinamométrico.....	96
Cuadro A5.2 Calibración gato hidráulico.....	97
Cuadro A5.3 Lecturas de extensómetros.....	99
Cuadro A6.1 Actividad: HCP - Hormigón ciclópeo con botellas pet. ....	102
Cuadro A6.2 Precios referenciales - Gestión 2020 (Costos directos). ....	103
Cuadro A6.3 Precios referenciales - Gestión 2022 (Costos directos). ....	104
Cuadro A6.4 Precios referenciales - Gestión 2022 (Costos directos). ....	105
Cuadro A6.5 Precios referenciales - Gestión 2022 (Costos Totales).....	106
Cuadro A6.6 Precios referenciales - Gestión 2022 (Costos Totales).....	107
Cuadro A6.7 Precios referenciales - Gestión 2022 (Costos Totales).....	108

## CAPITULO 1

## GENERALIDADES

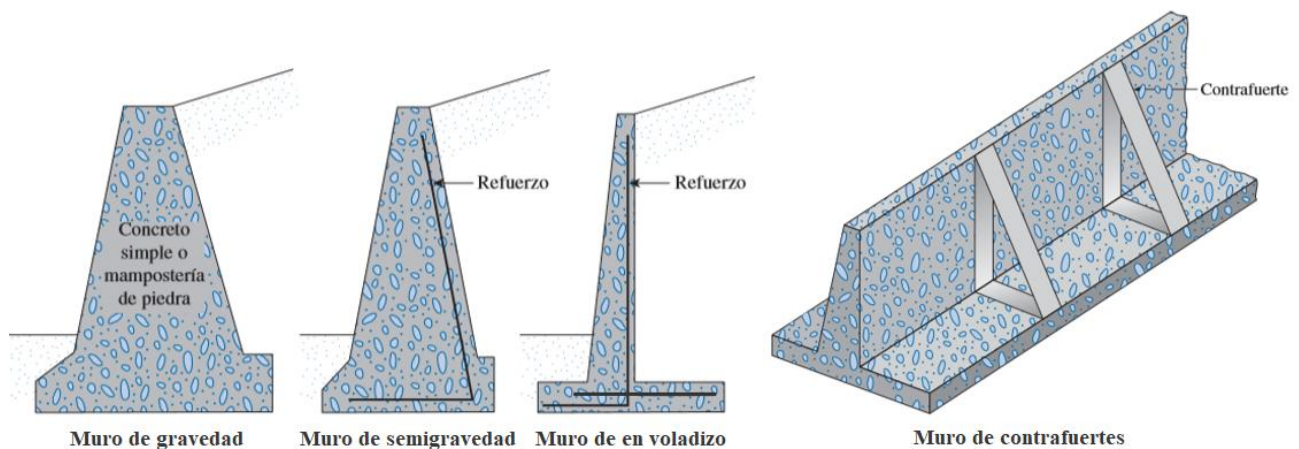
### 1.1 Introducción

Los muros de contención utilizados fundamentalmente para estabilizar masas de tierra u otros materiales, cuando las condiciones no permiten que éstas masas asuman sus pendientes naturales; por lo tanto, estas estructuras están sometidas a presiones laterales o empuje producido por el material retenido detrás de éstos, entre la más importante se encuentra el empuje de tierras, donde su estabilidad depende fundamentalmente del peso propio, de la geometría y del suelo de fundación.

El análisis de un proyecto de muro de contención consiste en:

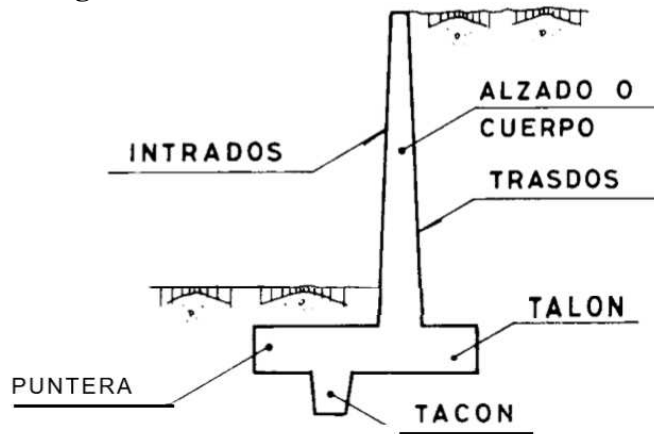
- Selección del tipo de muro y dimensiones. Los tipos de muro más frecuentes son: muros de gravedad, semigravedad, muros en voladizo o ménsula, muros con contrafuerte. (Ver Figura 1.1)
- Análisis de estabilidad frente a fuerzas que lo solicitan. (Si la estructura seleccionada no es satisfactoria se modifican las dimensiones y se efectúan nuevos cálculos hasta cumplir las condiciones de estabilidad)
- Diseño de las secciones críticas del muro (puntera, talón y cuerpo), cumpliendo las condiciones mínimas establecidas en las especificaciones técnicas del proyecto. (Figura 1.2)

**Figura 1.1** Tipos de muro de contención.



**Fuente:** Das, B. M. (2012). Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones. México.

**Figura 1.2** Partes de un muro de contención.



**Fuente:** J. Calavera. Cálculo de Estructuras de Cimentación.

## 1.2 Antecedentes

El uso de muros de contención en diferentes ciudades de Bolivia es una situación casi ineludible debido a la topografía que presentan los proyectos.

La Paz, ciudad densamente poblada se ve en la necesidad de que sus construcciones se localicen en las zonas periféricas y en laderas de la ciudad (Figura 1.3a), creando infraestructura del tipo graderías para el acceso peatonal. (Figura 1.3b)

**Figura 1.3** Construcciones en la ciudad de La Paz.

a) Construcciones en ladera.



b) Vías de acceso tipo gradería.



**Fuente:** Elaboración Propia.

Tal es la topografía que en muchas ocasiones para construir edificaciones se necesita de estructuras que estabilicen el terreno, éstos pueden ser muros de hormigón armado, hormigón ciclópeo, muro gavión y entre otros. (Ver figura 1.4 a, b, c)

**Figura 1.4** Muros de contención en la Ciudad de La Paz.

a) Hormigón armado.



b) Hormigón ciclópeo.



c) Muro gaviones.



**Fuente:** Elaboración Propia.

El oriente boliviano, presenta una topografía relativamente plana que no necesita de muros para estabilizar el terreno, pero en tiempo de lluvia existen inundaciones donde el nivel del agua alcanza alturas muy apreciables por encima del nivel del suelo, para evitar que afecten a sus viviendas se opta por elevarlas con madera que actúan como columnas de soporte. (Ver figura 1.5)

**Figura 1.5** Viviendas inundadas en el Beni.



**Fuente:** Elaboración propia.

Para muros de contención que no sean muy elevados, resulta económico construirlos de hormigón ciclópeo.

Según el proyecto de grado: “COMPARACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA MUROS DE CONTENCIÓN DE HORMIGÓN ARMADO, HORMIGÓN EN MASA Y GAVIONES CON EL PROGRAMA GEO5 EN FUNCIÓN DE LA VARIABLE ALTURA”, realizado por Ing. Adrián Wilson Mamani Conde e Ing. Marcelo Delgadillo Zurita, para condiciones del caso 1, se obtiene que el muro ciclópeo es más económico hasta una altura de 9 m.

Tomando referencias del libro, “ANÁLISIS Y DISEÑO DE MUROS DE CONTENCIÓN DE CONCRETO ARMADO” adaptado a la norma venezolana, realizado por Rafael Ángel Torrez Belandria, nos indica que: para alturas menores a 5 m resulta más económicos muros de hormigón ciclópeo. (Pág. 5)

Éstos muros de hormigón ciclópeo, resisten al empuje de tierra mediante su peso propio y el relleno por encima del talón, donde para su construcción se utiliza como elemento desplazador o de relleno a la piedra, entonces nace la pregunta: ¿Qué pasaría si en lugar de utilizar piedra como elemento desplazador se utiliza botellas rellenas con tierra?, además ésta tierra podría provenir de la excavación.

Ante la interrogante de sustituir piedra por botella como elemento desplazador, se realizaron dos proyectos de grado en el cual se reemplazó las piedras por botellas colocadas en una posición determinada, éstos muros ya construidos (doce muros construidos) actualmente están en funcionamiento teniendo una altura de 3.5 m, en la zona de Cota Cota, en el frontis del Instituto de Ensayo de Materiales de la Universidad Mayor de San Andrés (Ver figura 1.6). Éstos proyectos son los siguientes:

- “MUROS DE CONTENCIÓN DE HORMIGÓN CON BOTELLAS PLÁSTICAS PET COMO ELEMENTO DESPLAZADOR”

Realizado por: Ing. Yesika Ortiz Meriles, Ing. Fernando Cerruto e Ing. Adolfo Castro.

- “ESTUDIO DE MUROS DE CONTENCIÓN DE HORMIGÓN CICLÓPEO UTILIZANDO COMO ELEMENTO DESPLAZADOR BOTELLAS PLÁSTICAS PET COLOCADAS EN POSICIÓN VERTICAL Y HORIZONTAL”

Realizado por Ing. Santos Cantuta Escobar, Ing. Nestor Gonzales Quispe, Ing. José Limachi Limachi, Ing. Fernando Cerruto e Ing. Adolfo Castro.

También se realizó el proyecto: “BOTELLAS PET EN EL HORMIGÓN CICLÓPEO DE LOS CIMIENTOS CORRIDOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS”. Realizado por Ing. Freddy Pérez Q, Ing. Luis A. Castro V, Ing. Fernando M. Cerruto A. e Ing. Luis Chambi Ch.

**Figura 1.6** Muros de Contención construidos con botellas pet en posición determinada.



**Fuente:** Elaboración Propia.

Los muros construidos fueron reproducidos por personal no especializado, lo que demuestra su factibilidad en construcción, además sometidos al empuje de carga equivalente del suelo no presentaron fisuraciones en sus secciones críticas. En cuanto al costo se demostró que éstos muros pet son ligeramente más caros en ciudades donde hay existencia de piedra, caso contrario en ciudades donde no existe presencia de piedra resultan ser mucho más económica.

Éstos estudios resultaron ser factibles colocando las botellas en forma ordenada y determinada, con un control muy bueno en su construcción, cuidando la separación entre botellas utilizando un mismo volumen en cada camada entre otros aspectos, pero para que el proyecto sea accesible en autoconstrucción y ampliamente factible es importante verificar que aunque no exista un buen control en el colocado de botellas, la estructura trabajará adecuadamente, además el colocado de la botella no deba tener un rol importante debido al tiempo que conlleva posicionarlas. Ante éstas interrogantes surgió la inquietud de estudiar un muro donde las botellas se coloquen en forma errática independiente de su volumen, el cual es motivo de la presente investigación.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivos Generales.**

Estudiar el comportamiento estructural de muros de contención de hormigón ciclópeo donde el elemento desplazador serán botellas plásticas PET, rellenas con tierra, las cuales se colocarán en forma aleatoria o errática.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos.**

- Construir muros de contención a escala real, empleando como elemento desplazador botellas plásticas PET en un porcentaje menor o igual al 30% colocadas en posición errática.
- Realizar un ensayo de carga que simule el empuje de tierras, mediante la aplicación de una fuerza en los muros de contención de hormigón ciclópeo PET.
- Realizar un modelo estructural, aplicando software de elementos finitos SAP2000 y de análisis de estabilidad GEO5. Utilizando propiedades del material obtenidas de laboratorio.
- Realizar un análisis comparativo de costos, ventajas y desventajas entre muros contención de hormigón con botellas plásticas PET con muros de contención ciclópeo.
- Realizar comparaciones de los resultados obtenidos con 2 proyectos elaborados anteriormente y que a la fecha se encuentran en el frontis del IEM en Cota Cota.

### **1.4 Justificación**

Para la construcción de muros de hormigón ciclópeo generalmente se emplea piedras manzana como elemento desplazador, sin embargo, el costo y disponibilidad de la piedra hace muchas veces prohibitiva su construcción ya que no se cuentan con canteras de agregado grueso y piedra cercanas al emplazamiento del muro o en algunos casos no existen piedras como ocurre en la zona oriental de nuestro país.

Con los muros construidos en el Instituto de Ensayo de Materiales en Cota Cota se comprueba la factibilidad de reemplazar dichas piedras por botellas plásticas PET rellenas con material que resulta de la excavación. (Ver figura 1.6)



Éste tipo de aplicaciones entra en el concepto de economía circular, porque posibilita el reciclaje, o mejor dicho la reutilización de un elemento sin gasto energético adicional, posibilitando la construcción sustentable, que en última instancia es amigable con el medio ambiente al eliminar un contaminante como es la botella pet y emplearla en una estructura que demuestra ser eficiente ante las solicitaciones que actúan sobre ella. (Hormigón ciclópeo con botellas pet. H.C.P)

### 1.5 Alcances y Limitaciones

El proyecto amplía la información técnica económica obtenida de las investigaciones realizadas antes mencionadas, pero en éste caso con una disposición errática de las botellas, dado que antes fueron dispuestas en posición horizontal (con eje perpendicular y con eje paralelo a la pantalla del muro) y en posición vertical.

Esta investigación toma en cuenta las condiciones y limitaciones establecidas en los proyectos anteriores (12 muros de contención construidos) a fin de tener parámetros comprobables:

Como se mencionó anteriormente ya se construyeron muros de contención con el uso de botellas pet teniendo su ubicación como se muestra en la figura 1.7

- Emplazamiento del proyecto: Frontis del edificio del Instituto de Ensayo de Materiales en Cota Cota.

**Figura 1.7** Emplazamiento de los muros de contención – IEM Cota Cota.

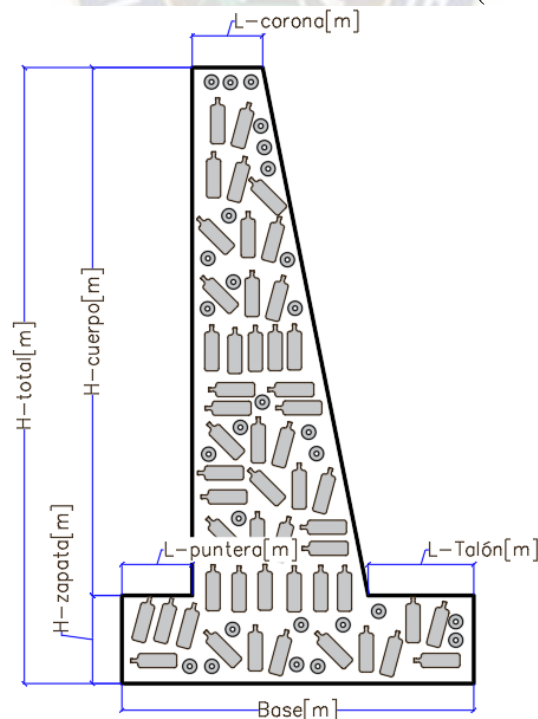


**Fuente:** Imagen de Google Earth.

Se considerarán los siguientes datos:

- Resistencia característica del hormigón simple: 11 MPa
- Geometría del muro: (ver Figura 1.8)
  - $H_{total} = 3,35$  m (Altura total del muro)
  - $H_{cuerpo} = 2,85$  m (Altura cuerpo o pantalla de muro)
  - $H_{zapata} = 0,50$  m (Altura de la zapata)
  - $L = 1,00$  m (Longitud de muro)
- Cantidad de muros de contención: 3 muros a escala natural.
- Porcentaje de elemento desplazador: menor o igual al 30%
- Grava: Tamaño Máximo Nominal = 3/4”
- Cemento: del tipo IP-30, el aglomerante más utilizado en las construcciones en nuestro país.
- Elemento desplazador: Botellas plásticas PET de 2,00 - 2,50 y 3,00 litros de capacidad.

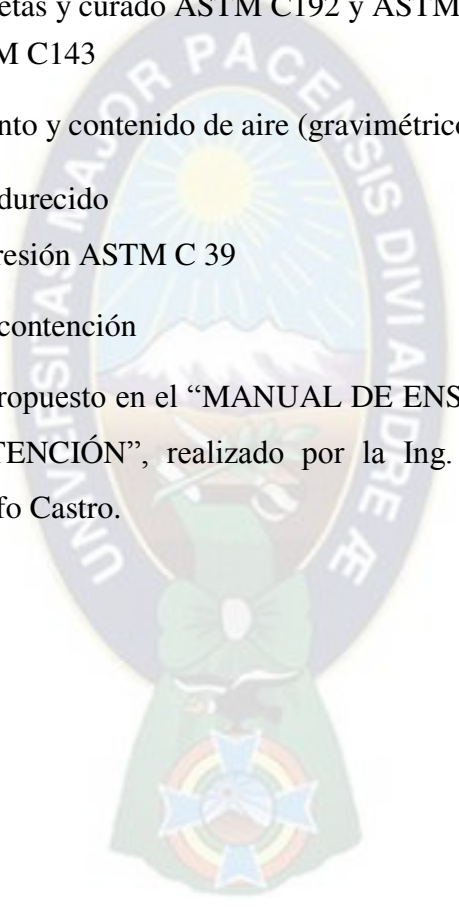
**Figura 1.8** Geometría del muro de contención. (Ancho unitario)



**Fuente:** Elaboración Propia.

Se realizaron los siguientes ensayos:

- Propiedades físico-mecánicas de los agregados:
  - Granulometría ASTM C136
  - Peso específico y absorción ASTM C127 y ASTM C128
  - Peso unitario ASTM C29
- Dosificación de hormigones: ACI 211.1
- Hormigón en estado fresco
  - Enmoldado de probetas y curado ASTM C192 y ASTM C31
  - Asentamiento ASTM C143
- Peso unitario, rendimiento y contenido de aire (gravimétrico) ASTM C138
- Hormigón en estado endurecido
  - Resistencia a compresión ASTM C 39
- Ensayos en el muro de contención
  - Ensayo de cargas propuesto en el “MANUAL DE ENSAYO DE CARGA PARA UN MURO DE CONTENCIÓN”, realizado por la Ing. Yesica Ortiz, Ing. Fernando Cerruto e Ing. Adolfo Castro.



## CAPITULO 2

## MARCO TEORICO

### 2.1 Introducción

Un muro de contención es una estructura construida con el propósito de retener material, generalmente tierras que ejercen empujes contra el muro de contención, tendiendo a volcarlo o desplazarlo. Los muros de contención se usan en muchos casos donde existen abruptos cambios de pendiente en el terreno, generalmente se clasifican en muros de contención de tipo gravedad y voladizo. Abocándose en éste proyecto al de tipo gravedad.

#### Muros de gravedad

Son muros de hormigón en masa en los que la estabilidad se consigue por su peso propio, el relleno y del suelo en que se apoya, suelen ser económicos hasta alturas moderadas, son muros que no requieren refuerzo y con longitudes considerables.

Es una estructura rígida, por lo que suponemos que su forma no cambia.

### 2.2 Presiones laterales sobre muros de contención:

No se tomará en cuenta la fricción que existe en el trasdós del muro con el suelo retenido. Se utilizará la teoría de Rankine, para el cálculo de presión lateral de tierra.

El muro se puede inclinar por el suelo retenido, por tanto, el cálculo se lo realizará con una presión activa de tierra, para fines de diseño generalmente se supone que la presión activa del suelo varia linealmente con la altura del relleno, pudiendo determinarse con la expresión:

$$P_a = k_a * \gamma * h$$

Siendo:  $\gamma$  el peso unitario del suelo,  $h$  altura de la superficie al punto en consideración,  $k_a$  coeficiente de la presión activa del suelo.

Para  $k_a$  se tiene: (Ver figura 2.1)

$$k_a = \cos \alpha * \frac{\cos \alpha - \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi}}{\cos \alpha + \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi}} \quad \text{Rellenos Inclinaados}$$

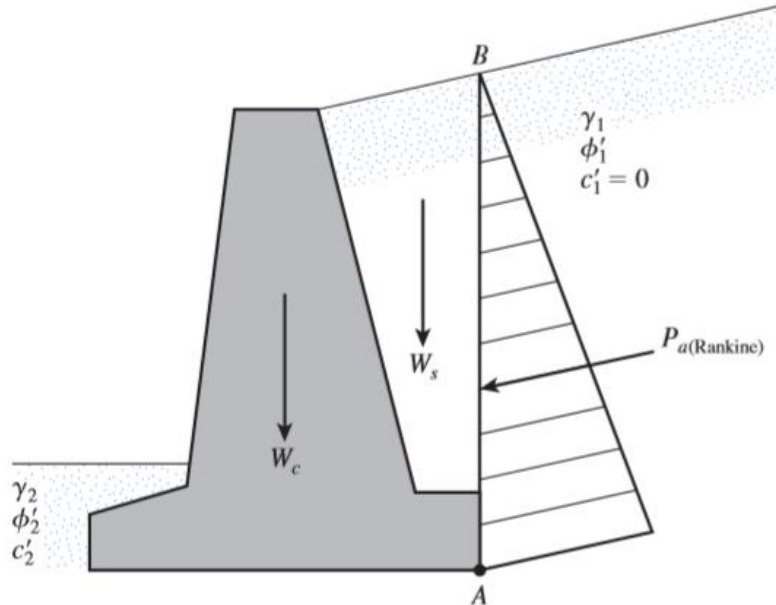
$$k_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \quad \text{Rellenos horizontales}$$

Donde

$\phi$ : es el ángulo de fricción interno del suelo de relleno.

$\alpha$ : es el ángulo respecto a la horizontal del terreno.

**Figura 2.1** Empuje de suelo según Rankine.



**Fuente:** Das, B. M. (2012). Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones. México.

El empuje lateral que ejerce el suelo en el muro está dado por la siguiente expresión (Según Rankine):

$$E_a = \frac{1}{2} * \gamma * k_a * H^2 \text{ Empuje activo}$$

$$E_v = E_a * \text{sen } \alpha \text{ Para empujes inclinados(Componente Vertical)}$$

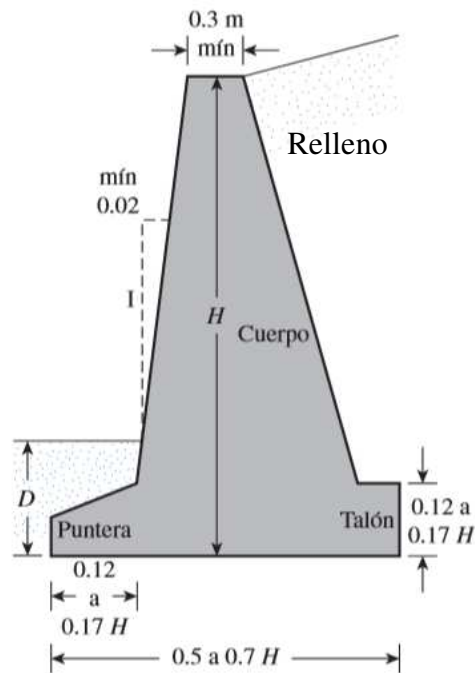
$$E_h = E_a * \text{cos } \alpha \text{ Para empujes inclinados(Componente Horizontal)}$$

### 2.3 Dimensionamiento de muros de contención:

El diseño se inicia con la selección de dimensiones tentativas, las cuales se analizan por requerimientos de estabilidad y estructurales, revisándose luego las dimensiones. Si las revisiones de estabilidad y estructurales nos dan resultados indeseables se puede redimensionar y volver a calcular. Éste es un proceso de iteraciones sucesivas, que se optimiza mediante cálculo manual o programas computacionales.

Dimensiones aproximadas de muro de contención para los controles iniciales de estabilidad, se muestran en la figura 2.2 [Nota: la dimensión mínima de D es de 0,6 m]

**Figura 2.2** Dimensiones aproximadas de un muro de contención.



**Fuente:** Das, B. M. (2012). Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones.

## 2.4 Estabilidad del muro

El análisis de la estructura contempla la determinación de las fuerzas que actúan sobre la base de fundación, tales como el empuje de tierra, peso propio, peso de la tierra de relleno, sobrecargas con la finalidad de estudiar la estabilidad al volcamiento, deslizamiento y capacidad de soporte del suelo.

Un buen diseño geotécnico debe cumplir los siguientes factores de seguridad:

$$\text{Factor de seguridad al deslizamiento } FS_S = \frac{\text{Suma de Fuerzas Horizontales Resistentes}}{\text{Suma de Fuerzas Horizontales Actuantes}} \geq 1,5$$

$$\text{Factor de seguridad al vuelco } FS_v = \frac{\text{Suma de Momentos Resistentes}}{\text{Suma de Momentos Actuantes}} \geq 2$$

Las tensiones máximas y mínimas en el terreno se determinan por la expresión:

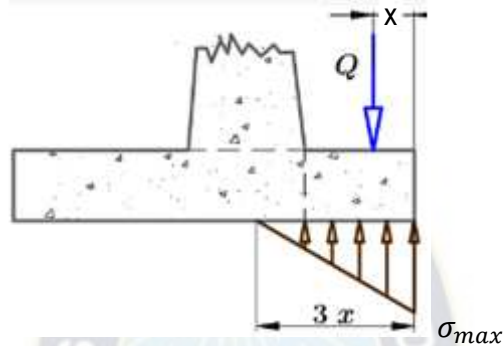
$$\sigma_{max} = \frac{Q}{B} * \left(1 + \frac{6 * e}{B}\right) \leq \sigma_{adm} \text{ (Tension admisible del terreno)}$$

$$\sigma_{min} = \frac{Q}{B} * \left(1 - \frac{6 * e}{B}\right) \leq \sigma_{adm} \text{ (Tension admisible del terreno)}$$

Es recomendable que las tensiones anteriores no deben ser negativas, en el caso de que alguna de ellas sea negativa, entonces se desprecia la zona traccionada y se calcula la tensión máxima:

$$\sigma_{max} = \frac{2}{3} * \frac{Q}{x} \leq \sigma_{adm} \quad (\text{Ver figura 2.3})$$

**Figura 2.3** Tensión máxima sin considerar tracción.



**Fuente:** Elaboración Propia.

Una vez realizado el diseño geotécnico, se debe verificar que en cada elemento componente del muro, (pantalla, talón y punta) no sobrepasen las tensiones admisibles de tracción y compresión del hormigón.

De acuerdo con la ACI-318-14 para hormigón simple la tensión a tracción no debe ser mayor a:

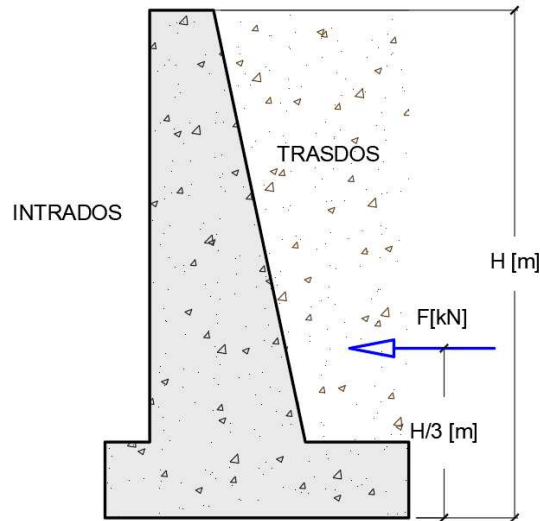
$$\sigma_{st} = \frac{6 * M_d}{B * h^2} \leq 0,25 * \sqrt{f'_c} \quad : \quad f'_c = \text{Resistencia característica del hormigón}$$

## 2.5 Ensayo de Carga

Según el procedimiento propuesto en el “MANUAL DE ENSAYO DE CARGA PARA UN MURO DE CONTENCIÓN”, realizado por la Ing. Yesica Ortiz Meriles, Ing. Cerruto Fernando e Ing. Castro Adolfo.

Tiene la finalidad de verificar la estabilidad al deslizamiento, al vuelco y la resistencia a flexión de un muro de contención, frente a la acción de una fuerza F que actúa a 1/3 de la altura total del muro. (Ver figura 2.4) Simulando de esta manera el empuje de tierras. Además de observar la posible aparición de fisuras, en alguna sección del muro.

**Figura 2.4** Posición de la fuerza F. (Empuje activo)



**Fuente:** Elaboración Propia.

## 2.5.1 Equipo

Para realizar el ensayo se contó con el siguiente equipamiento.

### 2.5.1.1 Gato Hidráulico

Utilizamos un gato hidráulico con una capacidad mínima de 20 t al cual se adaptó con un manómetro, capaz de medir la variación de presión no menor a  $20 \text{ kg/cm}^2$ . En el caso de tener un gato hidráulico de uso vertical, éste debe ser modificado para trabajar en posición horizontal. En la figura 2.5 se muestra el gato hidráulico adaptado con un manómetro.

**Figura 2.5** Gato hidráulico.



**Fuente:** Elaboración Propia.

### 2.5.1.2 Extensómetros Mecánicos

Equipo utilizado para medir el desplazamiento del muro de contención, éstos pueden tener una precisión de 0,002 mm con un recorrido de 12 mm ó 0,01 mm de precisión con un recorrido de 30 mm. (Ver figura 2.6)



**Figura 2.6** Extensómetros mecánicos.

a) Precisión de 0,002 mm



b) Precisión de 0,01 mm



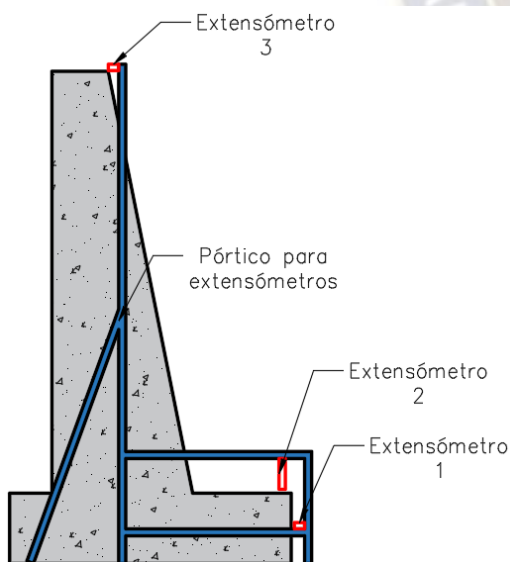
**Fuente:** Elaboración Propia.

### 2.5.2 Preparación y acondicionamiento

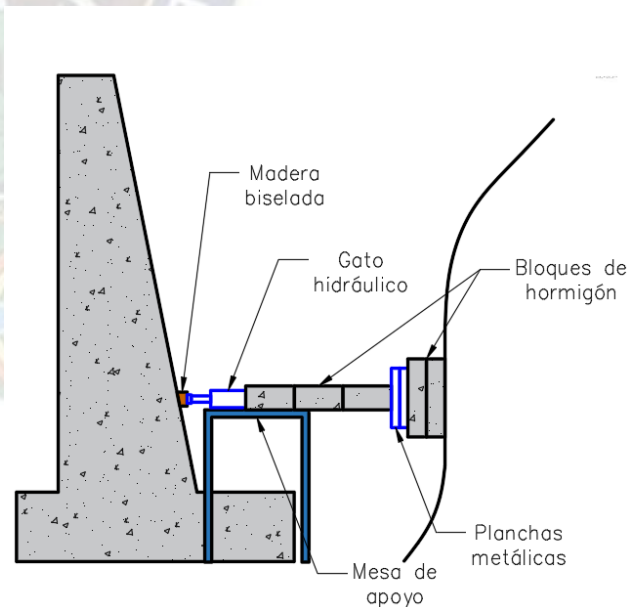
Para el colocado de los extensómetros se fabricó un pórtico metálico y se dispuso los extensómetros como se muestra en la figura 2.7 a y b.

**Figura 2.7** Esquema de disposición de equipamiento para ensayo de estabilidad del muro.

a) Disposición de extensómetros.



b) Disposición de gato hidráulico.



**Fuente:** Elaboración Propia.

**Figura 2.8** Madera Biselada.

En el sector donde se aplicará la carga se recomienda emplear una madera biselada (Ver figura 2.8) con una relación de pendiente igual a la del trasdós del muro, para que exista una buena distribución de la carga.



**Fuente:** Elaboración Propia.

## 2.6 Espaciamiento y disposición de botellas

Para permitir que la mezcla de hormigón envuelva al material desplazante y no exista vacíos, es recomendable un espaciamiento mínimo de 3 cm entre botellas. Asimismo, las botellas tendrán una separación del encofrado entre 8 y 10 cm.

## 2.7 Suelo de Fundación

Para los datos de entrada del suelo se utilizó el coeficiente de balasto de  $1.98 \text{ kg/cm}^3$  para la interacción suelo estructura, una tensión admisible del suelo de  $0.90 \text{ kg/cm}^2$  (datos extraídos del proyecto: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBA DE UN EQUIPO PARA LA EJECUCIÓN DEL ENSAYO DE CARGA HORIZONTAL CON PLACA” realizado por Rubén Yujra Tintaya e Ing. Ángel Ramos Mayta)

## CAPITULO 3

## MARCO PRACTICO

### 3.1 Ubicación del Proyecto

Los muros se construyeron en el campus universitario de la Universidad Mayor de San Andrés, frente al edificio del Instituto de Ensayo de Materiales en Cota Cota. (Ver figura 1.7)

En base a la normativa del uso de suelos vigentes y la “ley Municipal Autonómica No17 y No24 (Anexo I Vías de Acceso)” y con la autorización de la entidad “UNIDAD DESCONCENTRADA DE INFRAESTRUCTURA DE INGENIERÍA” se procedió con la construcción de tres muros de contención, que dan continuidad a los muros anteriormente construidos.

Los tres muros de 1 m de longitud están separados 0.5 m entre ellos. (Ver figura 3.1)

**Figura 3.1** Vista lateral y frontal de los muros de hormigón ciclópeo pet.

a) Vista frontal

b) Vista lateral



**Fuente:** Elaboración Propia.

En el proyecto se realizaron las siguientes actividades:

- Dosificación.
- Diseño de un muro de contención. (Se adoptó similares dimensiones de las investigaciones precedentes)
- Diseño del encofrado.
- Construcción de los muros de hormigón ciclópeo Pet.
- Ensayo de carga.

### 3.1.1 Dosificación de mezcla de hormigón

Para la obtención de los volúmenes necesarios de los agregados y materiales para la mezcla, previamente, se realizó una caracterización de los mismos para posteriormente realizar el cálculo de la dosificación según “Introducción al Diseño de mezclas de Hormigón”-Autor: Ing. Fernando Cerruto. Obteniendo los siguientes resultados:

**Cuadro 3.1** Resumen propiedades de los agregados

MATERIAL	ABSORCION %	Pe	PUc [kg/m <sup>3</sup> ]
Agua	*****	<b>1,000</b>	*****
Cemento	*****	<b>2,985</b>	*****
Grava	<b>1,744</b>	<b>2,602</b>	<b>1610</b>
Arena	<b>1,885</b>	<b>2,587</b>	<b>1810</b>
TMN del agregado grueso		3/4"	
Módulo de finura arena:		Mf = 3,12	

**Fuente:** Elaboración propia.

Para la dosificación se adoptó los siguientes datos:

Resistencia característica.	$f_c' = 11 \text{ MPa}$
Resistencia Media.	$f_{cm} = 14,2 \text{ MPa}$
Asentamiento.	7 cm
Cantidad de Agua.	$a = 212 \text{ kg/m}^3_{H^o}$
Aire atrapado.	$\%v = 1.6 \%$
Relación agua/cemento.	$a/c = 0,735$
Volumen de grava.	$V_G = 0,585$
Condiciones de Ejecución.	Muy Buenas

Obteniendo una dosificación base, que se muestra en el cuadro 3.2

**Cuadro 3.2** Cantidad de Materiales para 1 m<sup>3</sup> de Hormigón seco.

Material	Condiciones Secas Para 1 m <sup>3</sup> de Hormigón	
	Peso[kg]	Volumen[m <sup>3</sup> ]
Agua	211,67	0,21
Cemento	238,64	0,08
Grava	913,3	0,35
Arena	910,46	0,35

**Fuente:** Elaboración Propia.

### 3.1.2 Diseño de un muro de contención de hormigón ciclópeo.

Al utilizar botellas plásticas pet en posición errática como elemento desplazador, es importante calcular su peso unitario. Por lo que se procedió a calcular el peso unitario del hormigón con botellas.

#### 3.1.2.1 Peso unitario del hormigón con botellas pet

1. Cálculo del volumen total de botellas ( $V_{bot}$ ): Se utilizaron botellas pet de 2,00 - 2,50 y 3,00 litros cuyo número de botellas se presenta en el cuadro 3.3

**Cuadro 3.3** Cantidad de botellas por muro.

Volumen botella. [m <sup>3</sup> ]	MURO I	MURO II	MURO III	TOTAL
0,0022	152	160	164	476
0,0027	54	56	55	165
0,0032	116	107	106	329
<b>TOTAL</b>	322	323	325	970

**Fuente:** Elaboración propia.

Para el cálculo del volumen de botellas se utilizó el volumen absoluto y no así el relativo que indica en el envase, entonces el volumen real para botellas de 2,00 - 2,50 y 3,00 litros son: 0,0022 - 0,0027 y 0,0032 m<sup>3</sup> respectivamente. Por tanto.

**Para el Muro I se tendrá:**

$$V_{bot-MI} = 152 * 0,0022 + 54 * 0,0027 + 116 * 0,0032 = 0,8514 m^3$$

2. Cálculo del peso total de botellas ( $P_{bot}$ ): En el cuadro siguiente se muestra el promedio de todas las botellas que se utilizaron en los tres muros para cada capacidad.

**Cuadro 3.4** Peso promedio de botellas con tierra.

	2 [lt] Botella + Tierra	2.5 [lt] Botella + Tierra	3 [lt] Botella + Tierra
<b>P<sub>PROM</sub>[g] M I</b>	3800,1	4593,1	5377,6
<b>P<sub>PROM</sub>[g] M II</b>	3690,1	4629,1	5435,1
<b>P<sub>PROM</sub>[g] M III</b>	3619,8	4629,9	5511,4
<b>P<sub>PROM</sub>[g]</b>	3703,3	4617,4	5441,4

**Fuente:** Elaboración propia.

Multiplicando el número total de botellas de cada capacidad por su peso promedio correspondientemente se tiene:

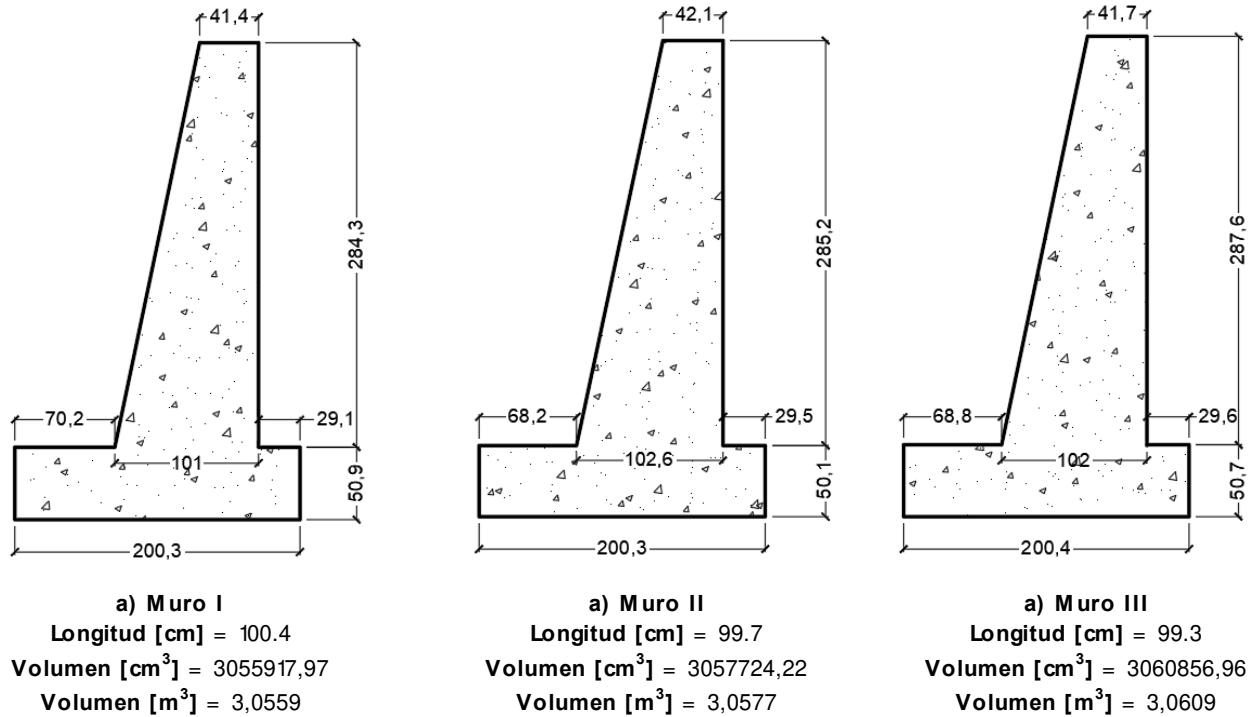
$$P_{bot-MI} = 152 * 3800,1 + 54 * 4593,1 + 116 * 5377,6 = 1449444,2 \text{ g}$$

$$P_{bot-MI} = 1449,44 \text{ kg}$$

### 3. Cálculo del volumen de hormigón ( $V_{Ho}$ )

Para determinar el volumen de hormigón se cuenta con las dimensiones reales de cada muro que se muestra en la Figura 3.2, para posteriormente realizar una diferencia con el volumen total de botellas, y así obtener el volumen real de hormigón.

**Figura 3.2** Dimensiones reales de los tres muros de contención en [cm].



**Fuente:** Elaboración propia.

Por lo cual el volumen total absoluto será como se muestra a continuación:

$$v_{total-MI} = 3,0559 \text{ m}^3$$

$$v_{total-MII} = 3,0577 \text{ m}^3$$

$$v_{total-MIII} = 3,0609 \text{ m}^3$$

Obteniendo el volumen de hormigón.

$$v_{Ho-MI} = v_{total-MI} - V_{bot-MI} = 3,0559 - 0,8514 = 2,2045 \text{ m}^3$$

#### 4. Cálculo del Peso Unitario del Hormigón. ( $PU_{Ho+bot}$ )

De cada etapa de vaciado se obtuvieron probetas para el ensayo a compresión de las cuales se determinó el peso unitario, cuyos valores se muestran en el cuadro 3.5:

**Cuadro 3.5** Peso unitario del hormigón obtenido de probetas cilíndricas.

	Edad [días]	$PU_{ho}$ [kg/m <sup>3</sup> ]
<b>MURO I</b>	≥ 28	<b>2266</b>
<b>MURO II</b>	≥ 28	<b>2300</b>
<b>MURO III</b>	≥ 28	<b>2301</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

Entonces el peso de solamente hormigón será:

$$P_{Ho-MI} = PU_{Ho-MI} * v_{Ho-MI} = 2266 * 2,2045 = 4995,40 \text{ kg}$$

Dando un peso total de hormigón más botellas de:

$$P_{total-MI} = P_{Ho-MI} + P_{bot-MI} = 4995,40 + 1449,44 = 6444,84 \text{ kg}$$

Por tanto, el peso unitario del hormigón más botellas pet para el Muro I es:

$$PU_{Ho+bot} = \frac{P_{total-MI}}{v_{total-MI}} = \frac{6444,84}{3,0559} = 2108,98 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$PU_{Ho+bot} = 20,69 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Se tiene el siguiente cuadro 3.6 resumen para los tres muros.

**Cuadro 3.6** Cuadro resumen PU de Muros.

Muro	$V_{botella}$ [m <sup>3</sup> ]	$P_{botella}$ [kg]	$V_{total}$ [m <sup>3</sup> ]	$V_{hormigón}$ [m <sup>3</sup> ]	$PU_{hormigón}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$P_{hormigón}$ [kg]	$P_{total}$ [kg]	$PU_{total}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$PU_{total}$ [kg/m <sup>3</sup> ]
1	0,8514	1449,44	3,0559	2,2045	2266,00	4995,40	6444,84	20,69	
2	0,8456	1431,20	3,0577	2,2121	2300,00	5087,83	6519,03	20,91	20,83
3	0,8485	1432,50	3,0609	2,2124	2301,00	5089,99	6522,50	20,90	

**Fuente:** Elaboración Propia

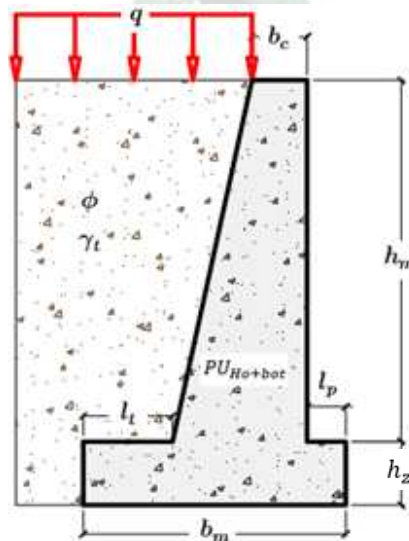
Utilizando el  $PU_{Ho+bot}$  se realizó la verificación geotécnica y estructural del muro.

Adoptando los siguientes valores:

Sobrecarga, $q$ [kN/m <sup>2</sup> ]	2,00
Peso unitario de suelo compactado, $\gamma_t$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18,00
Angulo de fricción interna del suelo, $\phi$ [°]	30
$PU_{Ho+bot}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	20,83
Coronamiento del muro, $b_c$ [m]	0,42
Altura total del muro, $h_m$ [m]	3,35
Longitud de talón, $l_t$ [m]	0,68
Longitud de puntera, $l_p$ [m]	0,30
Altura de cimiento, $h_z$ [m]	0,50
Largo del cimiento, $b_m$ [m]	2,00
Tensión admisible del suelo, $\sigma_{adm}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	112,5
Tensión admisible a compresión del hormigón, $\sigma_c$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$0.45 * f_c' = 4950$
Tensión admisible a tracción del hormigón, $\sigma_t$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$0.25 * (f_c')^{0.5} = 829,16$

En la figura 3.3 se muestra un esquema de los distintos parámetros.

**Figura 3.3** Esquema de datos de entrada.



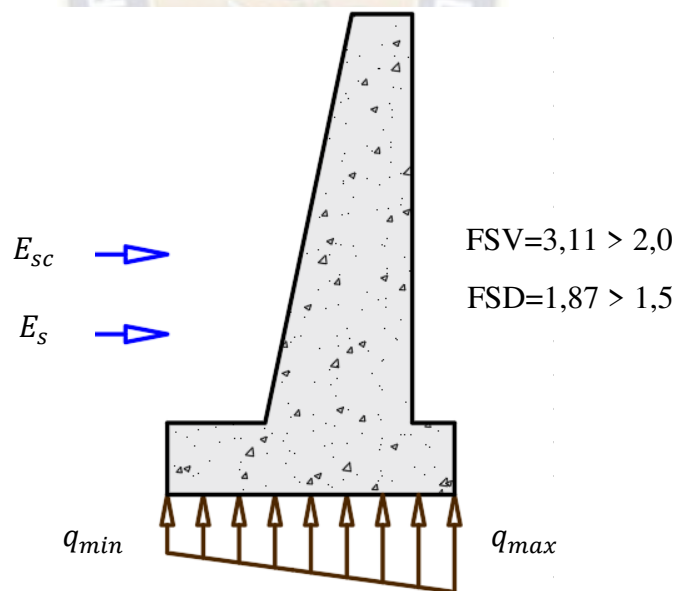
Fuente: Elaboración propia.



Se obtuvieron los resultados siguientes, por 1 m de ancho:

Empuje de Suelo, $E_s$ [kN]	33,67
Empuje de la sobrecarga, $E_{sc}$ [kN]	2,23
Fuerza total vertical, $F_V$ [kN]	116,98
Fuerza total horizontal, $F_H$ [kN]	35,90
Momento resistente, $M_R$ [kN*m]	128,56
Momento de volteo, $M_V$ [kN*m]	41,34
Presión del suelo máxima, $q_{max}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	101,98 < 112,5 Cumple
Presión del suelo mínima, $q_{min}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	14,42 < 112,5 Cumple
Factor de seguridad al vuelco, FSV	3,11 > 2 Cumple
Factor de seguridad al deslizamiento, FSD	1,87 > 1,5 Cumple

**Figura 3.4** Esquema de datos de salida.



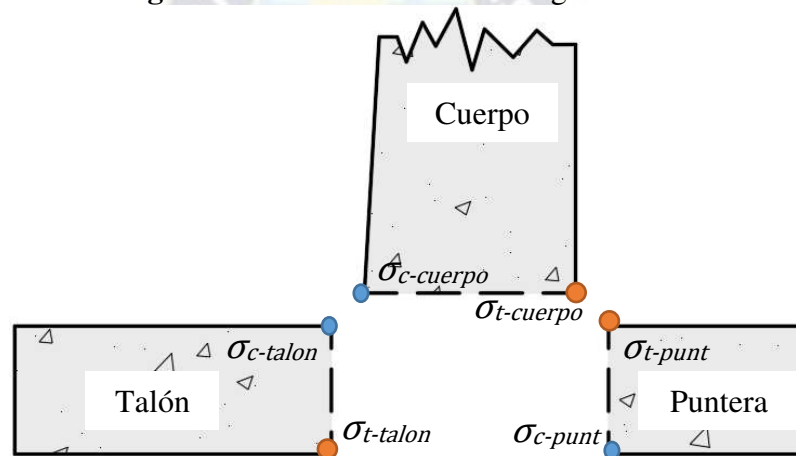
Fuente: Elaboración propia.

Por tanto, el muro cumple con las condiciones de estabilidad y verifica que las tensiones máximas son menores a la admisible del suelo.

En la figura 3.5 se muestra los resultados de la verificación estructural para cuerpo, puntera y talón. Siendo:

Tensión a compresión cuerpo, $\sigma_{c-cuerpo}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	222.86 < 4950
Tensión a tracción cuerpo, $\sigma_{t-cuerpo}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-139.05 < -829,16
Tensión a compresión puntera, $\sigma_{c-puntera}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	105.41 < 4950
Tensión a tracción puntera, $\sigma_{t-puntera}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-105.41 < -829,16
Tensión a compresión talón, $\sigma_{c-talón}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	296.03 < 4950
Tensión a tracción talón, $\sigma_{t-talón}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	-296.03 < -829,16

**Figura 3.5** Tensiones en el hormigón.

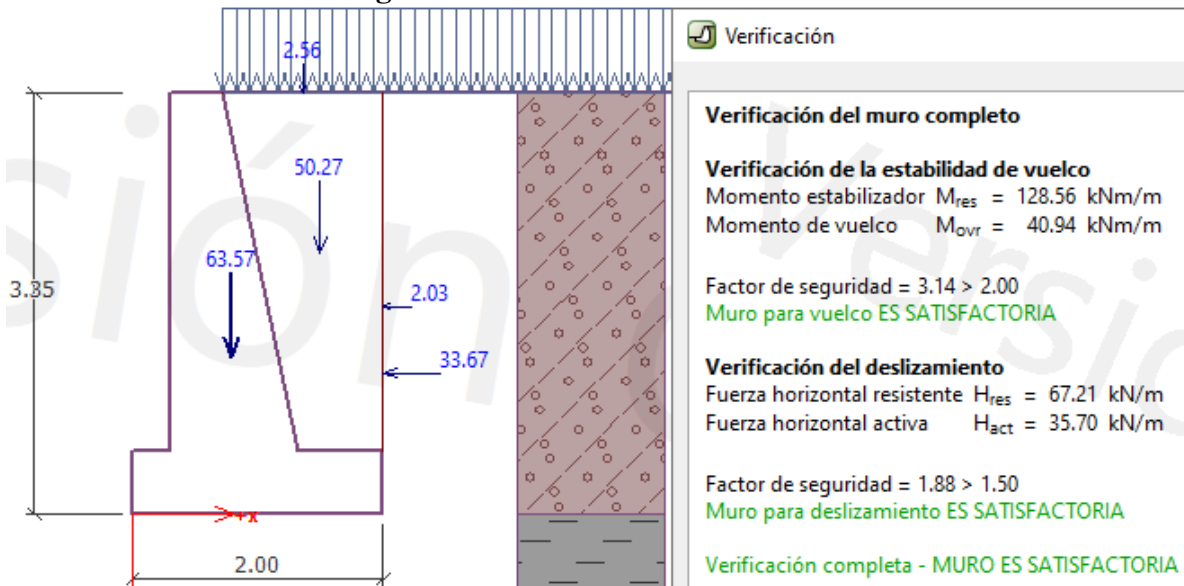


**Fuente:** Elaboración Propia.

En anexo A3.5 se tiene verificaciones con el software GEO5-MUROS DE GRAVEDAD, para el análisis comparativo, en el cual se puede observar resultados muy similares a los obtenidos de forma manual. Siendo los datos de salida:

En la figura 3.6 se muestra la verificación de estabilidad del muro en GEO-5.

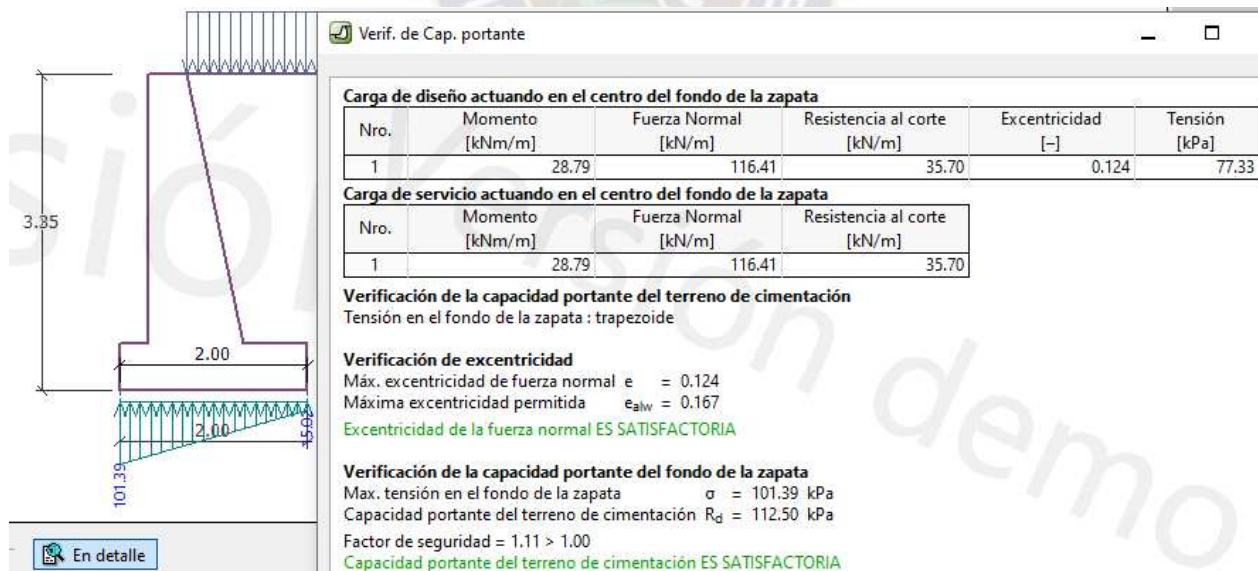
**Figura 3.6** Verificación de estabilidad.



**Fuente:** Elaboración Propia.

En la figura 3.7 se muestra datos de salida del programa GEO-5 para la capacidad portante del suelo.

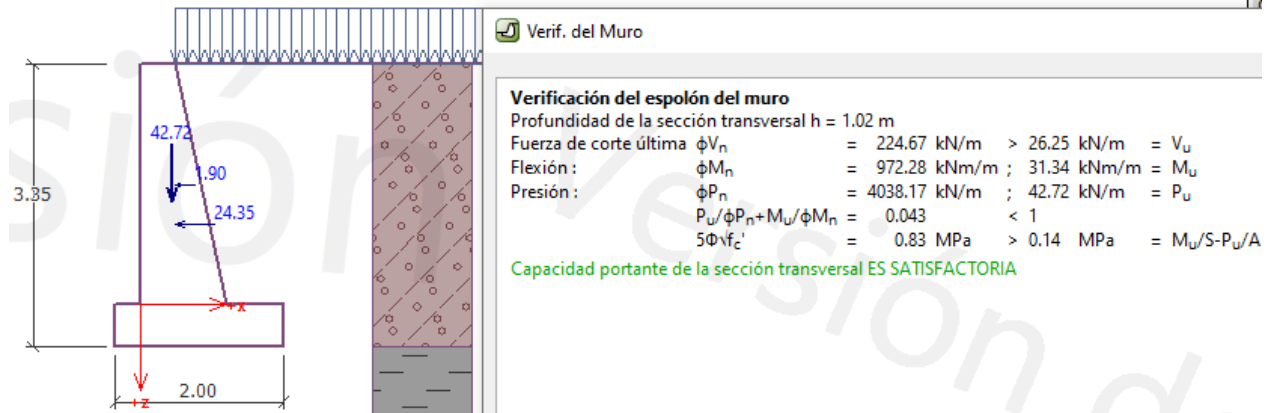
**Figura 3.7** Capacidad portante del suelo



**Fuente:** Elaboración Propia

En la figura 3.8 se muestra datos de verificación del espolón o cuerpo del muro en GEO-5 con ACI.

**Figura 3.8** Verificación de la sección crítica: cuerpo del muro



**Fuente:** Elaboración Propia



### 3.1.3 Diseño del encofrado

En las anteriores investigaciones se utilizó madera aserrada para todo el encofrado y debido a que se los utilizó varias veces éste se deforma, entonces los acabados fueron irregulares. Como todos los muros de contención tienen por lo menos una cara vista y el encofrado se utilizaría varias veces, entonces se utilizó madera contrachapada (colamarina) en las superficies que estarían en contacto con el hormigón y en el resto de los componentes se utilizó madera aserrada. (costillas, largueros y puntales)

Para el diseño se siguieron criterios del texto Diseño de Concreto Reforzado de Jack C. McCormac y Russell H. Brown, en los que se plantea que el empuje del hormigón fresco al encofrado depende principalmente de los siguientes factores:

- a) Rapidez con el cual se vierte el hormigón.
- b) Temperatura del hormigón
- c) Humedad del medio ambiente
- c) Altura de vaciado

Para los datos de diseño, como ser el módulo de elasticidad, tensión admisible del tablero colamarina para el diseño se obtuvo del proyecto “ESTUDIO DE MÓDULO DE ELASTICIDAD DE TABLEROS CONTRACHAPADOS FENOLÍTICOS PRODUCIDOS EN BOLIVIA Y UTILIZADOS EN ENCOFRADOS”-Autor: Ing. Ismael Challco Condo, Ing. Adolfo Castro, los datos para los listones fueron extraídos del MANUAL DE DISEÑO PARA MADERAS DEL GRUPO ANDINO.

Según el proceso constructivo del muro se obtuvo:

- Un encofrado para el hormigonado de la cimentación
- Dos encofrados para el hormigonado de la pantalla, una hasta mitad de altura y posterior las 24 horas se colocó la otra mitad.

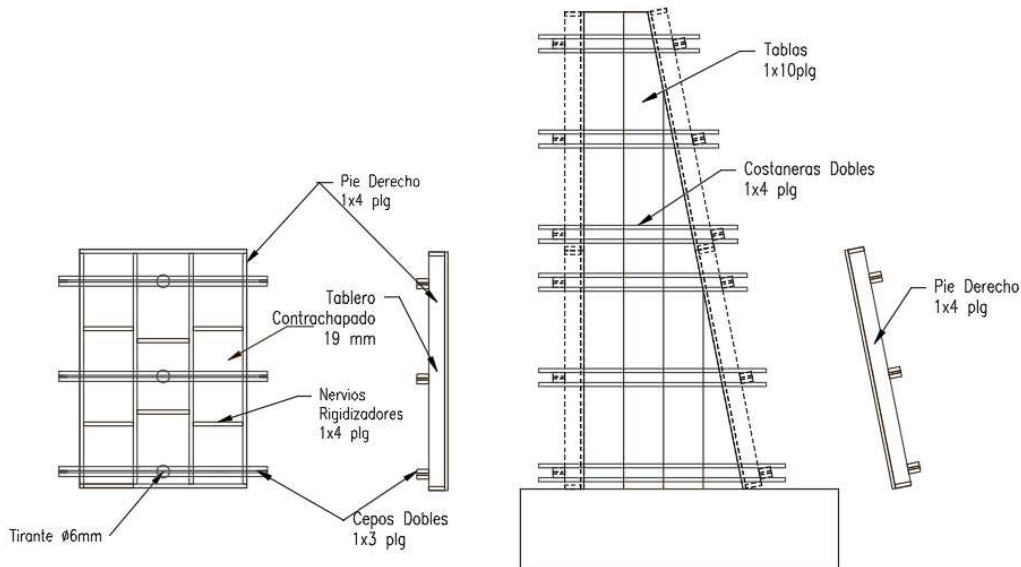
Al vaciar en dos etapas se logró reducir el empuje de hormigón fresco, por tanto, también se economizó la madera.

Habiendo utilizado el encofrado 3 veces, éste todavía está en muy buenas condiciones y quedaron en instalaciones del Instituto de Ensayo de Materiales de la UMSA en Cota Cota, para posteriormente utilizar en otras investigaciones.

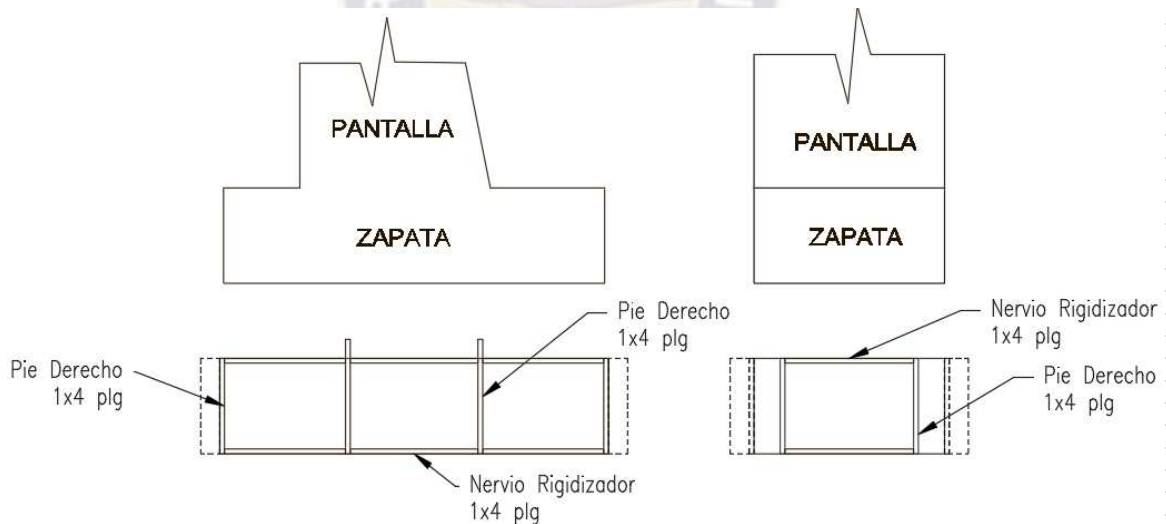
En la figura 3.9 se muestran esquemas del encofrado.

**Figura 3.9** Encofrado para un muro de contención de HCP.

a) Corte: Vista frontal y lateral, pantalla de muro.



b) Corte: Vista frontal y lateral, cimiento de muro.



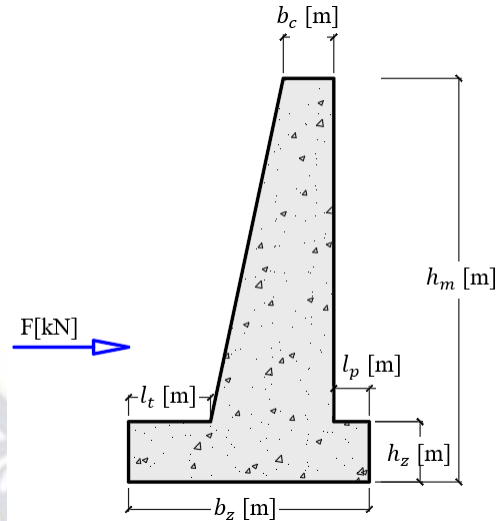
Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.4 Verificación del muro de contención, con una fuerza $F$

Para poder ensayar al muro no se tiene las cargas de relleno, entonces se aplicó una fuerza horizontal “ $F$ ” que es equivalente a la que ejercería la tierra y la sobrecarga en condiciones de mayoración por un coeficiente de 1.6, de ahí que verificamos el comportamiento del muro sin relleno. Ésta fuerza es aplicada a una altura de  $h_m/3$  respecto a la base.

Fuerza Concentrada, $F = 1.6*(E_s + E_{sc})$ [kN]	57,44
$PU_{Ho+bot}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	20,83
Coronamiento del muro, $b_c$ [m]	0,42
Altura total del muro, $h_m$ [m]	3,35
Longitud de talón, $l_t$ [m]	0,68
Longitud de puntera, $l_p$ [m]	0,30
Altura de cimiento, $h_z$ [m]	0,50
Largo del cimiento, $b_z$ [m]	2,00
Tensión admisible del suelo, $\sigma_{adm}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	112,5

**Figura 3.10** Datos de entrada para la fuerza F



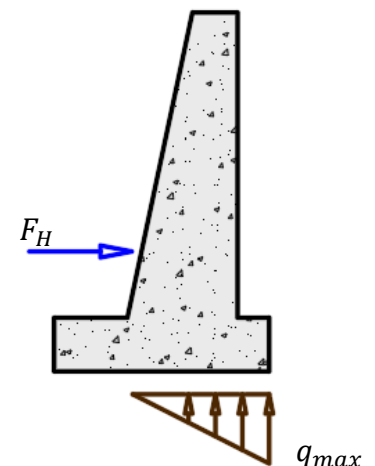
**Fuente:** Elaboración Propia

Obteniendo los resultados siguientes, por 1 m de ancho:

Fuerza total vertical, $F_V$ [kN]	63,57
Fuerza total horizontal, $F_H$ [kN]	57,44
Momento resistente, $M_R$ [kN*m]	49,93
Momento de volteo, $M_V$ [kN*m]	64,14
Presión del suelo máxima, $q_{max}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	189,59 < 112,5 No cumple
Presión del suelo mínima, $q_{min}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	Despreciable
Factor de seguridad al vuelco, FSV	0,78 < 2 No cumple
Factor de seguridad al deslizamiento, FSD	0,64 < 1,5 No cumple

**Figura 3.11** Datos de salida para la fuerza F

**Fuente:** Elaboración Propia



**Fuente:** Elaboración Propia

Debido a que en ésta verificación la fuerza F no toma en cuenta el peso del relleno sobre el talón del muro, no cumple las verificaciones geotécnicas, así también la tensión máxima en el suelo es mayor que la admisible.

### 3.1.5 Construcción de los muros de Hormigón Ciclópeo Pet.

#### 3.1.5.1 Excavación común

Se realizó el replanteo y la excavación con maquinaria en horas de la tarde (ver figura 3.12 a y b). Ésta actividad demoró aproximadamente 1 hora. Terminada la excavación no se observó presencia de agua, ni ningún otro obstáculo para vaciar la carpeta de nivelación.

**Figura 3.12** Excavación con maquinaria

a) Proceso de excavación con maquinaria

b) Terreno excavado



**Fuente:** Elaboración propia

Al día siguiente en la cota de fundación se constató que se encontraba inundado, debido a que apareció una vena de agua en una esquina de la excavación, ésta agua se encontraba aproximadamente 20 cm por encima del suelo.

Se optó por algunas opciones para evacuar el agua, se decidió ejecutar una zanja que pasaría a través del camino para vehículos, existente por delante del nivel de suelo de fundación del muro un canal natural cerca al Instituto de Hidráulica e Hidrología, con un desnivel de aproximadamente un metro y una longitud de proyección horizontal de 3 m. (ver figura 3.13 a y b)

La excavación de la zanja se realizó utilizando maquinaria (retroexcavadora), en horas de la mañana con una duración aproximada de 45 minutos, terminada la excavación inmediatamente se colocó un tubo de PVC con un diámetro de 16 cm.

Como la zanja se encontraba en medio de un camino vehicular fue importante su inmediato relleno, para tal objetivo se colocó tierra en capas de aproximadamente 15 cm de



espesor empezando con el material más fino para colocar material más grueso, hasta una altura de aproximadamente 50 cm, a partir de allí se rellenó con el mismo material de excavación con ayuda de la retroexcavadora y se compactó con el peso de éste, circulando por encima del relleno.

**Figura 3.13** Presencia de agua después de la excavación.

a) Terreno excavado con presencia de agua.



b) Proceso de excavación de zanja.



**Fuente:** Elaboración propia

Debido a la presencia de agua se realizó un proceso de mejoramiento del suelo de fundación, se empezó por colocar material granular, grava y piedra con diámetros menores a 5 cm en toda la superficie y en lugares donde existía venas de agua se colocó piedras con dimensiones menores a 15 cm, para que trabaje como capa drenante.

Una vez colocado el material granular se colocó tierra tamizada con tamiz de 1 plg en toda la superficie de fundación para posteriormente proceder a la compactación (Ver figura 3.14) previo humedecimiento, éste proceso se realizó por capas con material seleccionado, utilizando una compactadora tipo saltarín. El mejoramiento de terreno tuvo un tiempo aproximado de 7 horas.

Se colocó una carpeta de hormigón pobre de 10 cm de espesor, con la finalidad de nivelar y evitar que el hormigón se contamine durante el vaciado del cimiento del muro. (ver figura 3.15)

**Figura 3.14** Proceso de compactación del suelo por capas.



**Fuente:** Elaboración propia.

**Figura 3.15** Carpeta de hormigón pobre.



**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.1.5.2 Llenado de botellas

La tierra producto de la excavación se comenzó a tamizar, con un tamiz inferior a 3/4 plg. Con éste material se empezó a rellenar las botellas plásticas de 2,00 - 2,50 y 3,00 litros de capacidad con ayuda de un embudo plástico hecho de una botella y una pala pequeña para posteriormente cerrarlo herméticamente con su respectiva tapa.

Para una buena compactación del material de relleno en la botella se lo apisonó en 3 capas cada una con golpes mayores a 20, utilizando una varilla metálica de 12 mm de diámetro, 60 cm de largo y extremo redondeado. (ver figura 3.16)

El llenado de aproximadamente 60 botellas tuvo una duración de 3 horas, esto sin contar el tiempo de tamizado de tierra.

**Figura 3.16** Proceso de llenado de botellas.

a) Tamizado de tierra



b) Llenado y compactado de botellas



**Fuente:** Elaboración propia.

Obteniendo un peso promedio de 3703 g, 4617 g y 5441 g para botellas de 2,00 - 2,50 y 3,00 litros respectivamente.

### 3.1.5.3 *Encofrado*

Se realizó la construcción de un encofrado, el cual fue diseñado para vaciados en tres etapas. Utilizando madera colamarina para el lado del intrados y trasdos del muro, para el restante se utilizó madera de construcción.

La construcción del encofrado fue realizada por un encofrador, lo que permitió optimizar y agilizar su materialización.

En el diseño de éste encofrado para la pantalla se utilizó tirantes metálicos hechos de acero de construcción de diámetro 6 mm, soldado a un perno sin fin en un extremo, utilizando tuercas y arandelas para una correcta sujeción.

En la figura 3.17 se muestra el procedimiento de construcción de los encofrados de la pantalla y cimentación.

**Figura 3.17** Construcción de encofrado.

a) Construcción de encofrado frontal y posterior.

Corte según dimensiones



Armado de encofrado



b) Lateral pantalla.



c) Cimentación

Fuente: Elaboración propia.

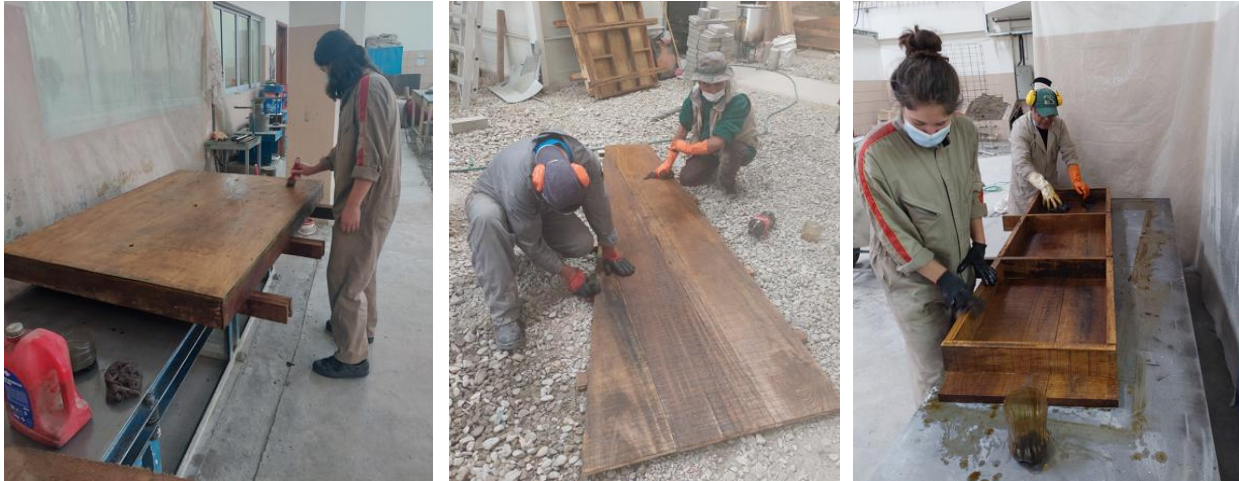
Una vez contruidos los encofrados se aplicó aceite de automóvil sucio utilizando trapos y brochas, se pintó en mayor proporción en la parte de contacto con el hormigón y en menor proporción en la cara opuesta, esto para conservar el encofrado, y así evitar su adherencia con el hormigón obteniendo un buen acabado después del desencofrado. (ver figura 18)

**Figura 3.18** Pintado de encofrado con aceite de automóvil sucio.

Frontal y posterior de pantalla

Pantalla lateral

Panel lateral de cimentación



**Fuente:** Elaboración propia.

#### **3.1.5.4 Vaciado de los muros de HCP.**

La construcción de los muros se realizó en tres etapas:

- Vaciado zapata.
- Vaciado de la pantalla hasta media altura.
- Vaciado de la pantalla hasta completar la altura.

Para cada etapa de vaciado se contó con una cierta cantidad de botellas de 2,00 2,50 y 3,00 litros que representaban un volumen del 30 % del volumen de vaciado según a cada etapa, éstas botellas fueron pesadas cada una con una balanza electrónica.

Para el preparado del hormigón se realizó una dosificación por volumen, utilizándose baldes de pintura previamente calibrados y pesando el cemento.

#### **Primera etapa de vaciado, zapata.**

Antes del hormigonado de la zapata se procedió a su replanteo sobre la carpeta de hormigón pobre (ver figura 3.19 a), luego se colocó el encofrado de la zapata en su respectiva posición y se utilizó seis pernos expansivos en la parte inferior del encofrado, es decir en el contacto madera - hormigón para evitar grandes deformaciones o aberturas del encofrado (ver figura 3.19 b), posteriormente se vació y vibró una capa de hormigón de 10 cm de espesor (ver figura 3.19 c), para posteriormente colocar una primera camada de botellas posicionadas

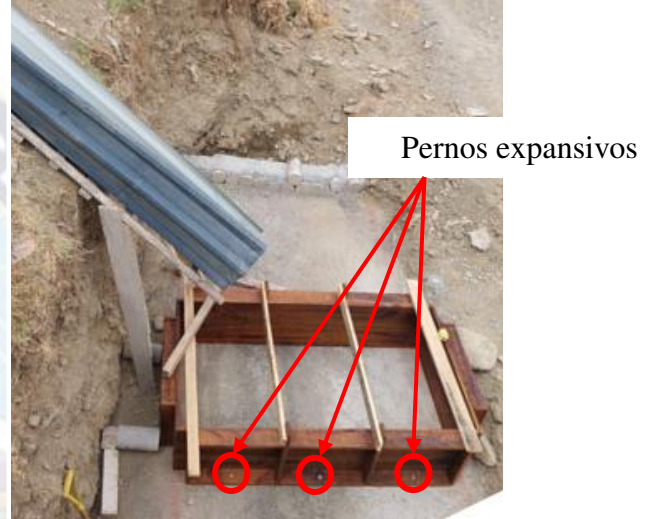
erráticamente cuidando de tener una separación entre éstas no menor a 3 cm y una separación del encofrado no menor a 8 [cm]. (ver figura 3.19 d)

**Figura 3.19** Primera etapa de vaciado.

a) Replanteo de cimentación



b) Encofrado de zapata I



c) Vibrado de 1ra capa 10 cm



d) Colocado de primera camada de botellas



**Fuente:** Elaboración propia.

Una vez colocada la primera camada de botellas enseguida se colocó una segunda capa de mezcla y posteriormente su vibrado, a continuación, se dispuso una segunda camada de botellas con las precauciones anteriores mencionadas, hasta alcanzar la altura total de zapata.

Para que exista una mejor adherencia entre la etapa 1 y 2, es decir unión entre zapata y pantalla se colocó botellas en posición inclinada con tendencia a la verticalidad, así estos funcionarían como llaves de corte. (ver figura 3.20)

**Figura 3.20** Colocado de botellas de espera.



**Fuente:** Elaboración propia.

### **Segunda etapa de vaciado, pantalla inferior.**

Se procedió al replanteo de la base de la pantalla sobre la cimentación ya construida, para posteriormente disponer el encofrado. Esta etapa consiste en vaciar la mitad de la altura de pantalla, con una separación entre botellas no menor a 3 cm ni a 10 cm con respecto al encofrado. Realizando el procedimiento de vaciado descrito en la etapa 1. Se utilizó una rampa de madera para la circulación de carretillas (ver figura 3.21a)

Cabe mencionar que en ésta etapa nuevamente se colocó botellas de espera para la tercera etapa al finalizar el vaciado. (ver figura 3.21b)

**Figura 3.21** Segunda etapa de vaciado.

a) Disposición de rampa de madera



b) Botellas de espera en pantalla



**Fuente:** Elaboración propia.

### **Tercera etapa de vaciado, pantalla superior.**

En ésta última etapa se cerró el encofrado el mismo día de vaciado de la segunda etapa, es decir sobre el encofrado de la segunda etapa se montó dos nuevas caras de encofrado correspondiente a la pantalla y para que exista una buena unión entre éstos se utilizó pernos (Ver figura 3.22a), así al día siguiente con el mismo procedimiento anteriormente descrito y las mismas precauciones se concluyó el vaciado del muro dando un buen acabado en la parte superior. (ver figura 3.22b)

**Figura 3.22** Tercera etapa de vaciado.

a) Disposición de encofrado



b) Acabado superior.



**Fuente:** Elaboración propia.



### 3.1.5.5 *Desencofrado y curado.*

El desencofrado se realizó a los 3 días del vaciado de la última etapa, cuando la estructura alcanzó la resistencia necesaria para soportar su peso propio. (Ver figura 3.23a)

Inmediatamente se procedió a la limpieza del encofrado (ya que se quedó adherido pequeñas proporciones de mezcla de hormigón endurecido y algunas rebabas) utilizando planchas o badilejos metálicos. Se guardó el encofrado en lugares adecuados con el fin de evitar que se deforme.

El curado se lo realizó cada 2 horas mediante regado con manguera por 3 semanas de lunes a viernes. (ver figura 3.23b)

**Figura 3.23** Desencofrado y curado de muro.

a) Desencofrado



b) Curado



**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.1.6 **Modelado de estructura en software SAP2000.**

Con la finalidad de determinar las tensiones en cualquier sección del muro se recurrió al uso del programa SAP2000, para la fuerza F equivalente al empuje de tierras.

Se planteó un modelo de estructura con sección hueca para cada tipo de muro, es decir muro con botellas horizontales paralelo y perpendicular a la pantalla, muro con botellas verticales y un modelo de sección llena para verificar las tensiones en cada una de ellas con la fuerza F, antes del ensayo de carga.

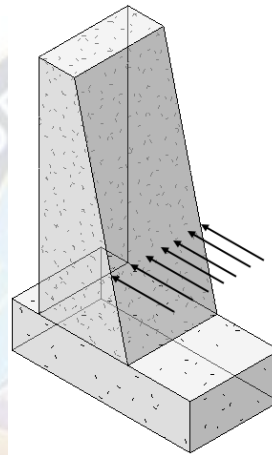
Para los datos de entrada se utilizó la geometría del muro II, coeficiente de balasto de 1.98 kg/cm<sup>3</sup> para la interacción suelo estructura (dato extraído del proyecto: DISEÑO,

CONSTRUCCIÓN Y PRUEBA DE UN EQUIPO PARA LA EJECUCIÓN DEL ENSAYO DE CARGA HORIZONTAL CON PLACA” realizado por Rubén Yujra e Ing. Ángel Ramos)

En la figura 3.24 a se muestra el modelo del muro sin de botellas, en la figura 3.24 b y c se muestra las tensiones principales en las secciones críticas para éste caso de modelo. Bajo la combinación de cargas peso propio mas empuje equivalente de tierras.

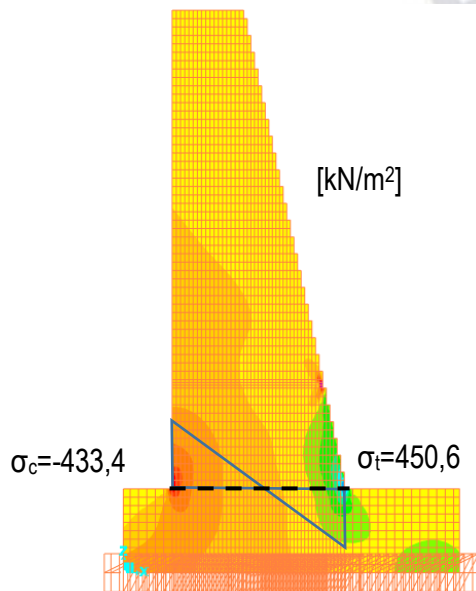
**Figura 3.24** Modelo estructural sin botellas.

a) Modelo de muro sin el análisis de botellas

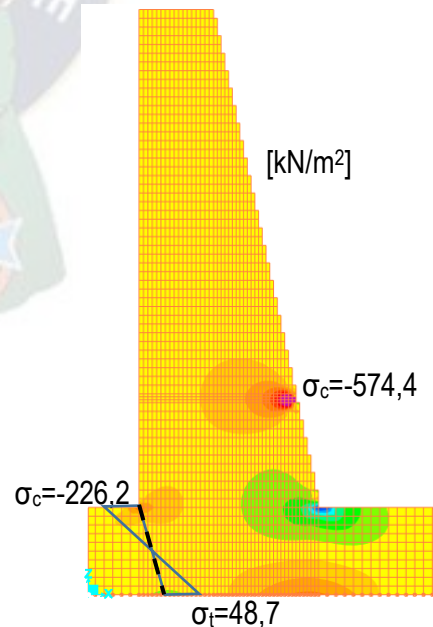


Sección llena, tensiones principales.

a) Tensiones en dirección S33 (Pantalla)



b) Tensiones en dirección S11 (Puntera – Talón)

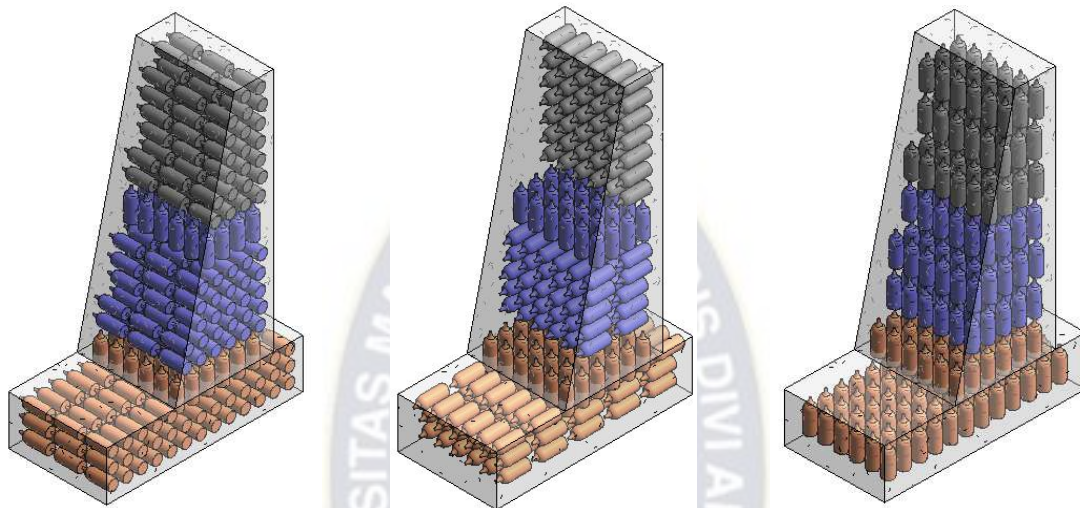


Fuente: Elaboración Propia.

En la figura 3.25 a b y c se muestra la posición de las botellas en el muro, horizontales y verticales.

**Figura 3.25** Modelo de estructura sección hueca.

- a) Con botellas horizontales paralelo a la pantalla      b) Con botellas horizontales perpendicular a la pantalla      c) Con botellas verticales

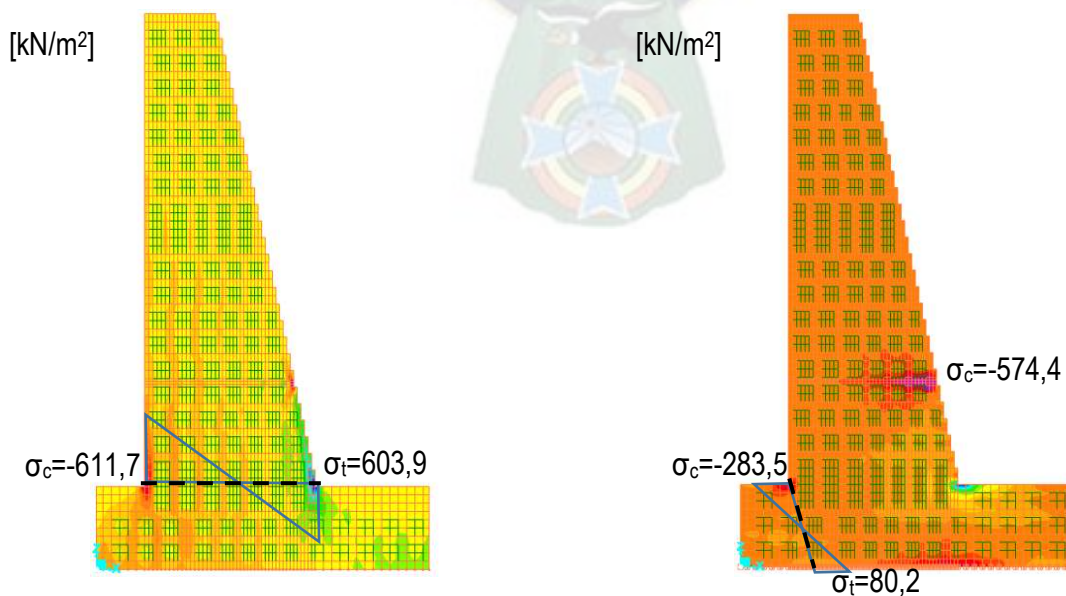


**Fuente:** Elaboración Propia.

Sección hueca, tensiones en el muro para botellas horizontales paralelo a la pantalla, ver figura 3.26

**Figura 3.26** Tensiones principales, botellas horizontales paralelas.

- a) Tensiones en dirección S33 (Pantalla)      b) Tensiones en dirección S11 (Puntera – Talón)

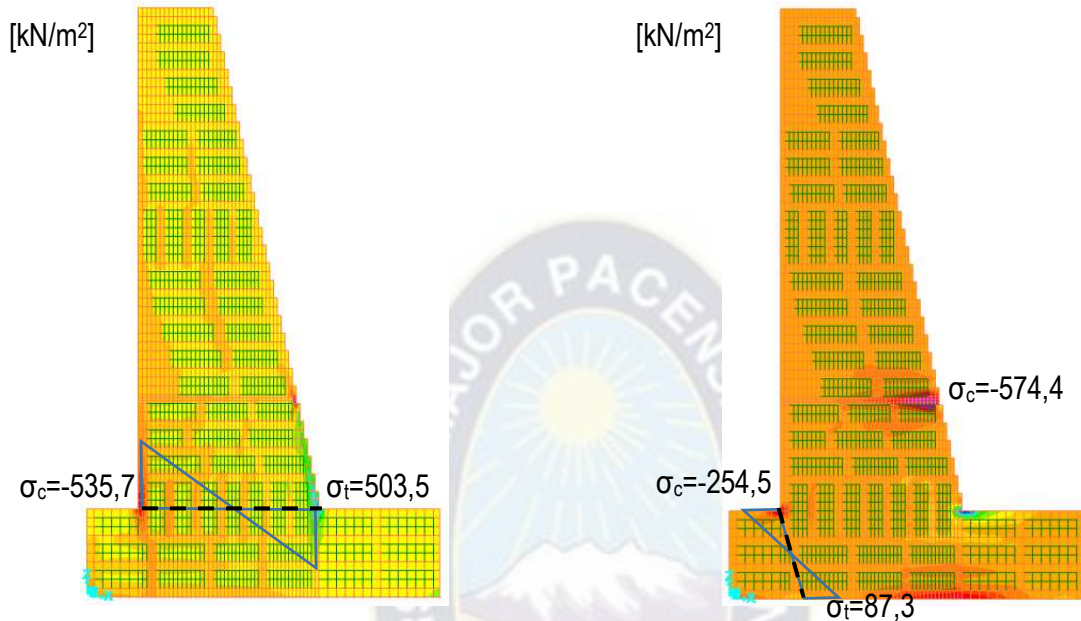


**Fuente:** Elaboración Propia.

Sección hueca, tensiones en el muro para botellas horizontales perpendiculares a la pantalla, ver figura 3.27

**Figura 3.27** Tensiones principales, botellas horizontales perpendiculares.

a) Tensiones en dirección S33 (Pantalla)      b) Tensiones en dirección S11 (Puntera – Talón)

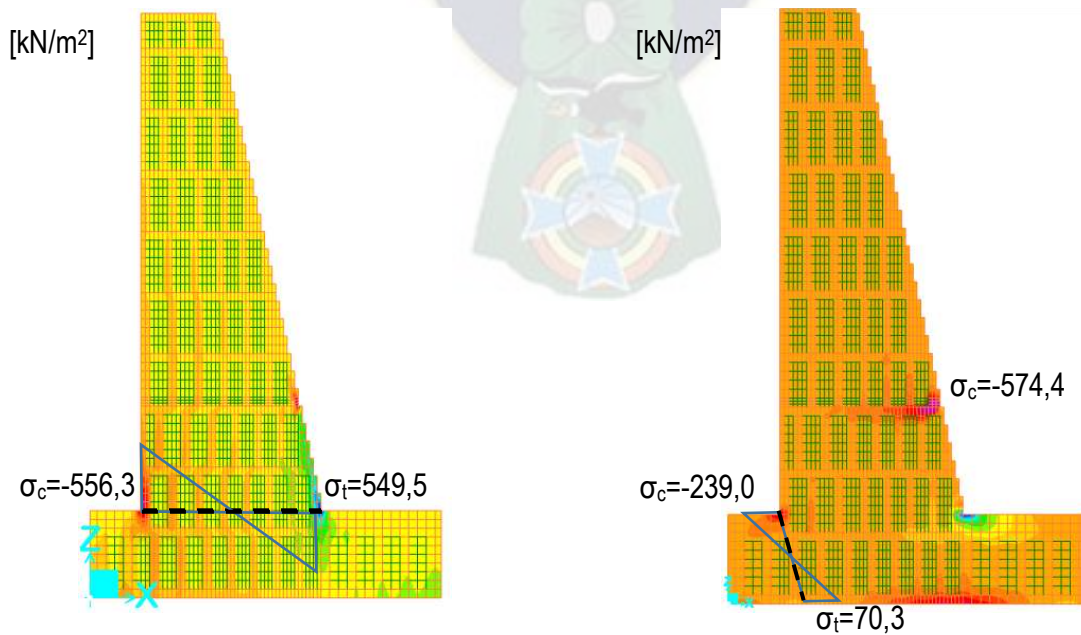


**Fuente:** Elaboración Propia.

Sección hueca, tensiones en el muro para botellas verticales, ver figura 3.28

**Figura 3.28** Tensiones principales, botellas verticales.

a) Tensiones en dirección S33 (Pantalla)      b) Tensiones en dirección S11 (Puntera – Talón)



**Fuente:** Elaboración Propia.

De los gráficos anteriores se observa que se obtienen mayores tensiones, con botellas colocadas en posición horizontal paralelo a la pantalla.

### 3.1.7 Ensayo de carga

Previo al ensayo de carga se realizó la calibración del gato hidráulico (figura 3.29) con la finalidad de verificar su desempeño, para ello se utilizó un anillo dinamométrico y un sistema metálico mostrado en la figura en posición horizontal, ésta calibración se la realizó en el Instituto de Ensayo de Materiales de la monoblock.

**Figura 3.29** Calibración de gato hidráulico.



**Fuente:** Elaboración propia.

Con la ayuda de la tabla “Calibración del anillo Dinamométrico” se obtuvo la variación de la presión “y” [kg/cm<sup>2</sup>] con la carga “x” [kN], como sigue:

$$y = 3,653 * x + 3,6356$$

La fuerza que se debe ejercer es de  $F = 1.6 * 35.90 = 57.44$  kN, obteniendo de esta manera el siguiente cuadro:

**Cuadro 3.7** Resumen de tabla “ Calibración del gato hidráulico”.

Fuerza [kN]	Presión [kg/m <sup>2</sup> ]
57,44	<b>213,50</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

Lo que indica que para una fuerza de 57.44 kN se debe obtener una presión de 213,50 kg/cm<sup>2</sup>.

### 3.1.7.1 Preparación y acondicionamiento.

**Disposición del gato hidráulico:** Se colocó el gato hidráulico de manera horizontal y centrado sobre una mesa metálica de apoyo a una altura igual a la tercera parte de la altura del muro respecto a la base de fundación. Para una buena distribución de la fuerza en contacto con el muro se utilizó una madera biselada con la inclinación del trasdos y un perfil metálico de manera que se tenga una distribución uniforme de la carga, y en contacto con el suelo se utilizó bloques de hormigón y placas metálicas. (Ver figura 3.30)

**Figura 3.30** Disposición del gato hidráulico.



**Fuente:** Elaboración propia.

**Disposición de los extensómetros:** Se colocó el primer y tercer extensómetro para leer el desplazamiento horizontal en la zapata y la corona del muro respectivamente (ver figura 3.31 a y b), el segundo fue dispuesto para leer el desplazamiento vertical en la zapata. (ver figura 3.31 c)

**Figura 3.31** Disposición de extensómetros.  
“E2” Zapata – Medición vertical



“E3” Corona de Muro – Medición Horizontal



“E1” Zapata – Medición Horizontal



**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.1.7.2 Procedimiento

Se colocó a ceros los indicadores de desplazamientos de los extensómetros. Se aplicó presión en el gato hidráulico cada  $20 \text{ kg/cm}^2$  y se registró los valores marcados en los 3 extensómetros hasta alcanzar una presión de  $220 \text{ kg/cm}^2$  equivalente a  $59,22 \text{ kN}$ . Posteriormente se descargó lentamente y se observó la posible aparición de fisuras.

## CAPITULO 4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1 Dosificación

Para la dosificación se obtuvo las propiedades físico-mecánicas de los agregados.

**Cuadro 4.1** Propiedades físico-mecánicas de los agregados

MATERIAL	ABSORCION %	Pe	PUc [kg/m <sup>3</sup> ]
Agua	*****	<b>1,000</b>	*****
Cemento	*****	<b>2,985</b>	*****
Grava	<b>1,744</b>	<b>2,602</b>	<b>1610</b>
Arena	<b>1,885</b>	<b>2,587</b>	<b>1810</b>
TMN del agregado grueso		3/4"	
Módulo de finura arena:		Mf= 3,12	

**Fuente:** Elaboración propia.

### 4.2 Evaluación de la resistencia mecánica de los muros de Hormigón Ciclópeo Pet.

Para la evaluación de la resistencia mecánica de los muros de contención construidos, se extrajo 24 probetas cilíndricas por muro, 8 por cada etapa de vaciado para que fueran sometidas al ensayo de compresión. Los resultados obtenidos se presentan en el cuadro 4.2

**Cuadro 4.2** Resistencia a compresión de probetas cilíndricas de los muros.

	Cilindro	Edad [días]	Perímetro [cm]	Carga [kN]	Resistencia [MPa]	Peso Unit. [kg/m <sup>3</sup> ]
<b>MURO I</b>	Zapata	66	32,05	87,7	10,72	2257
	Cuerpo Inf.	64	31,95	47,35	5,82	2238
	Cuerpo Sup.	63	32,05	50,3	6,15	2303
<b>MURO II</b>	Zapata	72	32,05	95,95	11,74	2305
	Cuerpo Inf.	70	32	96,4	11,83	2305
	Cuerpo Sup.	69	32,2	97,4	11,80	2290
<b>MURO III</b>	Zapata	65	32	93,55	11,48	2314
	Cuerpo Inf.	63	32,05	92,4	11,30	2307
	Cuerpo Sup.	42	32,15	95	11,55	2281

**Fuente:** Elaboración propia.

Debido a las bajas tensiones obtenidas de las probetas del muro I se procedió a extraer un núcleo del muro, obteniendo una tensión en compresión de 8,20 MPa, como se muestra en el cuadro 4.3



**Cuadro 4.3** Resistencia a compresión del cilindro, extracción de núcleo.

<b>HORMIGÓN ENDURECIDO - CUERPO SUPERIOR MURO 1 EXTRACCION DE NUCLEO</b>							
Probeta N <sup>o</sup>	Edad [días]	Perímetro [cm]	Carga [kN]	Resistencia	Peso [g]	Altura [cm]	Peso Unitario
				[MPa]			Obtenida
1	69	22	31,6	<b>8,20</b>	1341	15,1	<b>2306</b>

**Fuente:** Elaboración Propia.

Como las tensiones más desfavorables son las tracciones como se vio en la verificación del muro, de ahí que se realizaron ensayos por hendimiento para determinar la resistencia a tracción, como se observa en el cuadro 4.4

**Cuadro 4.4** Resistencia a tracción de probetas cilíndricas del muro III.

	Cilindro	Edad [días]	Diametro prom [cm]	Fuerza	Resistencia [MPa]	Peso Unit. [kg/m <sup>3</sup> ]
				kN		
MURO III	Zapata	66	10,20	62,40	1,93	2300
	Cuerpo Inf.	64	10,49	56,40	1,69	2234
	Cuerpo Sup.	63	10,16	66,50	2,05	2278

**Fuente:** Elaboración Propia.

Como se puede observar éstas tensiones son mayores a las que se presentaron en los muros.

### 4.3 Análisis del peso Unitario

Para el caso del proyecto con botellas plásticas en posición errática se obtuvo:

En el cuadro 4.5 se muestra el cuadro resumen del peso unitario del muro con botellas en posición errática.

**Cuadro 4.5** Peso Unitario con botellas en posición errática.

MURO	V <sub>botella</sub> [m <sup>3</sup> ]	P <sub>botella</sub> [kg]	V <sub>total</sub> [m <sup>3</sup> ]	V <sub>hormigón</sub> [m <sup>3</sup> ]	PU <sub>hormigón</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	P <sub>hormigón</sub> [kg]	P <sub>total</sub> [kg]	PU <sub>total</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	PU <sub>total</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]
1	0,8514	1449,45	3,0432	2,1918	2266	4966,63	6416,08	20,68	
2	0,8456	1431,20	3,0473	2,2017	2300	5063,81	6495,01	20,91	20,83
3	0,8485	1432,50	3,0533	2,2048	2301	5072,49	6504,99	20,90	

**Fuente:** Elaboración Propia.

De las investigaciones anteriores de muros utilizando como elemento desplazador a la botella se obtuvieron los siguientes resultados para la obtención del peso unitario.

En el cuadro 4.6, 4.7, 4.8 y 4.9 se muestra el peso unitario del muro con botellas en posición horizontal perpendicular a la pantalla, en posición horizontal perpendicular a la pantalla, en posición vertical y con piedra manzana respectivamente.

**Cuadro 4.6** Peso Unitario con botellas en posición horizontal paralelo a la pantalla.

MURO	V muro [m <sup>3</sup> ]	V bot [m <sup>3</sup> ]	V Ho [m <sup>3</sup> ]	PU Ho [kg/m <sup>3</sup> ]	P Ho [kg]	P bot [kg]	P total [kg/m <sup>3</sup> ]	PU Ho+bot [kg/m <sup>3</sup> ]	PU Ho+bot [kN/m <sup>3</sup> ]	PU Ho+bot [kN/m <sup>3</sup> ]
I	3,01	0,8087	2,2013	2303,31	5070,28	1275,66	6345,94	2108,28	20,68	
II	3,06	0,8146	2,2454	2254,87	5063,09	1285,08	6348,17	2074,56	20,35	20,58
III	3,02	0,8168	2,2032	2306,53	5081,75	1288,42	6370,17	2109,33	20,69	

**Fuente:** Elaboración Propia.

**Cuadro 4.7** Peso Unitario con botellas en posición horizontal perpendicular a la pantalla.

MURO	V muro [m <sup>3</sup> ]	V bot [m <sup>3</sup> ]	V Ho [m <sup>3</sup> ]	PU Ho [kg/m <sup>3</sup> ]	P Ho [kg]	P bot [kg]	P total [kg/m <sup>3</sup> ]	PU Ho+bot [kg/m <sup>3</sup> ]	PU Ho+bot [kN/m <sup>3</sup> ]	PU Ho+bot [kN/m <sup>3</sup> ]
I	3,08	0,7964	2,2836	2335	5332,21	1299,96	6632,17	2153,30	21,12	
II	3,14	0,7964	2,3436	2335	5472,31	1299,96	6772,27	2156,77	21,16	21,14
III	3,11	0,7964	2,3136	2335	5402,26	1299,96	6702,22	2155,05	21,14	

**Fuente:** Elaboración Propia.

**Cuadro 4.8** Peso Unitario con botellas en posición vertical.

MURO	V muro [m <sup>3</sup> ]	V bot [m <sup>3</sup> ]	V Ho [m <sup>3</sup> ]	PU Ho [kg/m <sup>3</sup> ]	P Ho [kg]	P bot [kg]	P total [kg/m <sup>3</sup> ]	PU Ho+bot [kg/m <sup>3</sup> ]	PU Ho+bot [kN/m <sup>3</sup> ]	PU Ho+bot [kN/m <sup>3</sup> ]
I	3,11	0,8172	2,2928	2364	5420,18	1334,4	6754,58	2171,89	21,31	
II	3,08	0,8172	2,2628	2364	5349,26	1334,4	6683,66	2170,02	21,29	21,30
III	3,13	0,8172	2,3128	2364	5467,46	1334,4	6801,86	2173,12	21,32	

**Fuente:** Elaboración Propia.

**Cuadro 4.9** Peso Unitario con piedra manzana.

MURO	V muro [m <sup>3</sup> ]	V piedra [m <sup>3</sup> ]	V Ho [m <sup>3</sup> ]	PU Ho [kg/m <sup>3</sup> ]	P Ho [kg]	P piedra [kg]	P total [kg/m <sup>3</sup> ]	PU HoC, [kg/m <sup>3</sup> ]	PU Ho+bot [kN/m <sup>3</sup> ]	PU Ho+bot [kN/m <sup>3</sup> ]
I	3,1	0,871635	2,228	2354	5245,57	2440,58	7686,15	2479,40	24,79	
II	3,09	0,917	2,173	2354	5115,24	2567,6	7682,84	2486,36	24,86	24,80
III	3,13	0,846	2,284	2354	5376,54	2368,8	7745,34	2474,55	24,75	

**Fuente:** Elaboración Propia.

Obteniendo el siguiente cuadro resumen promedio para los cuatro casos de posición para la botella:

**Cuadro 4.10** Peso Unitario promedio.

PU <sub>HC</sub> PET [kN/m <sup>3</sup> ]				PU <sub>HC</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]
Paralelo	Perpend.	Vertical	Errática	H°C°
20,58	21,14	21,3	20,83	24,80
Prom = 20,96 ≈ 21,0 ± 0,5 [ $\frac{kN}{m^3}$ ]				

**Fuente:** Elaboración Propia.

#### 4.4 Resultados del ensayo de carga.

Producto de la fuerza F ejercida en el muro se observó desplazamientos tanto verticales como horizontales, cuyos valores se muestran en el cuadro 4.11.

**Cuadro 4.11** Desplazamientos en los muros de contención con botellas en posición errática.

	Presion [kg/cm <sup>2</sup> ]	Extensómetro 1 Zapata Desp, Horizontal [mm]	Extensómetro 2 Zapata Desp, Vertical [mm]	Extensómetro 3 Corona Desp, Horizontal [mm]
MURO I	220	1,010	0,675	2,150
MURO II	220	0,650	2,760	5,100
MURO III	220	0,096	10,050	23,250

**Fuente:** Elaboración propia.

Se observa en el cuadro anterior una variación en los resultados, debido a que en el ensayo intervienen muchas variables, como ser el suelo de fundación, el suelo de apoyo para el gato hidráulico, así también la capa pobre de hormigón que debido al tiempo de hormigonado entre ésta y la zapata del muro exista un grado de homogeneidad.

## CAPITULO 5 ANÁLISIS DE COSTOS

Para el cálculo de precios unitarios se consideraron dos alternativas, costos directos y costos totales como para una licitación, correspondiente a dos ítems que son:

Hormigón ciclópeo tradicional.

Hormigón ciclópeo con botellas plásticas pet.

### 5.1 Hormigones

Para el caso de un hormigón ciclópeo tradicional, los rendimientos por unidad de volumen de hormigón, fueron extraídos de la revista “Presupuesto y construcción” y para el caso de hormigón ciclópeo con botellas pet la dosificación empleada fue la que se muestra en el cuadro 5.1

**Cuadro 5.1** Dosificación base.

Material	Condiciones Secas Para 1 m <sup>3</sup> de Hormigón	
	Peso[kg]	Volumen[m <sup>3</sup> ]
Agua	211,67	0,21
Cemento	238,64	0,08
Grava	913,3	0,35
Arena	910,46	0,35

**Fuente:** Elaboración propia.

#### 5.1.1 Hormigón ciclópeo con botellas plásticas pet, (HCP)

De acuerdo a las condiciones establecidas en el vaciado se obtuvo un volumen de botellas y hormigón para los tres muros de 2,55 m<sup>3</sup> y 6,59 m<sup>3</sup>, correspondientes a un 27,90 % y 72,10 % respectivamente.

**Materiales** para un muro de HCP con 30% de material desplazante por m<sup>3</sup> de volumen.

Cemento	=	238,64*0,7	=	167 kg/m <sup>3</sup> <sub>H</sub>
Arena corriente	=	0,35*0,7	=	0,24 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> <sub>H</sub>
Grava común	=	0,35*0,7	=	0,24 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> <sub>H</sub>
Botellas pet			=	104 bot/m <sup>3</sup> <sub>H</sub>

La mano de obra, para el caso de un muro de HCP con 30% de piedra desplazadora, no necesariamente requiere que sea calificada, el rendimiento se muestra en el cuadro 5.2

**Cuadro 5.2** Rendimiento de la mano de obra para muro de HCP.

Mano de obra	Unidad	Rendimiento
Albañil	[hr/m <sup>3</sup> ]	<b>5,25</b>
Ayudante	[hr/m <sup>3</sup> ]	<b>7,00</b>
Peon	[hr/m <sup>3</sup> ]	<b>6,12</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

## 5.2 Comparación de costos

**Cuadro 5.3** Cuadro de Comparación de costos.

	P.U. [Bs/m <sup>3</sup> ] AUTOCONSTRUCCION	$\Delta\%$	P.U. [Bs/m <sup>3</sup> ] EMPRESA CONSTRUCTORA	$\Delta\%$
H.C. 30% Piedra G.A.M.L.P.	598,57	9,16	1045,06	-3,16
H.C. 30% Piedra G.A.M.S.C.	758,58	38,34	1199,27	11,13
H.C.P.	548,36	0,00	1079,17	0,00

**Fuente:** Elaboración Propia.

Como se observa en el cuadro anterior, los muros de hormigón ciclópeo pet son más económicos para caso de autoconstrucción sin embargo para el caso de una empresa constructora es más económico un muro de hormigón ciclópeo tradicional, considerando 30% de material desplazador, considerando ciudades de La Paz y Santa Cruz.

## CAPITULO 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 Conclusiones

El proyecto realizado cumplió con el objetivo general de estudiar el comportamiento estructural de muros de contención de hormigón ciclópeo pet, colocadas es posición errática para lo cual:

- a) Se construyeron tres muros de HCP de la misma manera que los muros de hormigón ciclópeo tradicional, en la cual no se presentó contratiempos en su materialización ni dificultades en el colocado de botellas, por lo cual el muro es factible constructivamente.
- b) Se obtuvo un peso unitario de promedio para el muro pet con botellas en posición errática de:

$$20,83 \approx 21,0 \pm 0,5 \frac{kN}{m^3}$$

El cual de acuerdo a la clasificación de hormigón según su peso unitario se encuentra en hormigón normal o corriente que varía de 20 a 28 kN/m<sup>3</sup>, apto para el diseño de estructuras de contención por gravedad.

- c) Ante la aplicación de una fuerza F=57,44 kN/m equivalente al empuje de suelos no se evidenció presencia de fisuración en las secciones críticas de la estructura por lo que el muro de HCP cumple satisfactoriamente las condiciones estructurales.
- d) Ante la aplicación de la fuerza F que es equivalente al empuje de tierras, el muro falló al deslizamiento y al vuelco, y supero la capacidad de soporte del terreno, como se puede ver en 3.1.4. ello se debe a que no se tiene relleno que ayuda a la estabilidad del terreno.
- e) Según el modelo de elementos finitos, se encontró que se presentan menores tensiones cuando la botella se encuentra en posición horizontal perpendicular a la pantalla y botellas en posición vertical.
- f) En cuanto al costo de construcción se determinó que un muro de HCP con 30% de botellas plásticas pet, en lo que se refiere a:
  - Empresa Constructora: resultó más económico un muro de hormigón ciclópeo tradicional un 3,16 % comparado con un muro de hormigón ciclópeo pet en la ciudad de La Paz, en Santa Cruz resultó más económico un muro de hormigón ciclópeo pet

un 11,13 % comparado con un muro de hormigón ciclópeo tradicional. Ambos casos con un 30% de piedra manzano.

- Autoconstrucción: resultó más económico un 9,16% y 38,34% comparado con un muro de hormigón ciclópeo tradicional en la ciudad de La Paz y Santa Cruz respectivamente, También para un 30% de piedra manzano.
- g) En los lugares donde no existe piedra, como la zona del oriente de Bolivia, construir muros de HCP es económico y se los podría utilizar para la construcción de viviendas materializando una plataforma con muros de HCP, cuya altura estaría por encima del nivel de inundación, luego rellenar con tierra compactada y encima construir su vivienda.
- h) Se comprobó que el procedimiento de fabricación de un muro de HCP es fácilmente reproducible por personal no especializado, por lo tanto, el costo de mano de obra no es mayor que el requerido para fabricar un HC tradicional y estructuralmente cumplen con lo requerido, Por lo que un muro pet funciona igual que un muro de hormigón ciclópeo tradicional.

## 6.2 Recomendaciones

- a) Al no requerirse mano de obra calificada o con conocimientos especiales, éste método de fabricación es recomendable para procesos de autoconstrucción.
- b) Se recomienda la construcción de éste tipo de muros de contención de HCP ya que de esta manera estamos ayudando a nuestro medio ambiente ecológicamente y a nuestro país entrando a un proceso de reutilización de botellas plásticas pet.
- c) Se recomienda que las botellas plásticas pet se encuentren preferentemente en buen estado, es decir no deben poseer perforaciones o hallarse aplastadas y deben tener la respectiva tapa para el cerrado hermético.
- d) Para tener un buen acabado sería adecuado utilizar colamarina en el encofrado, de esta manera se evitaría el tener que corregir , que como se sabe ésta reparación se desprende.

## FUENTES DE INFORMACIÓN

- Cantuta Escobar, S., Gonzales Quispe, N., & Limachi Limachi, J. L. (s.f.). *Estudio de Muros de Contención de Hormigón Ciclópeo utilizando como elemento desplazador botellas plásticas pet colocadas en posición vertical y horizontal*. Instituto de Ensayo de Materiales, La Paz - Bolivia.
- Cerruto Anibarro, F. (2005). *Guía de Ensayos (Agregados Hormigón)*. La Paz - Bolivia: UMSA.
- Cerruto Anibarro, F. M. (2015). *Introducción al Diseño de Mezclas de Hormigón* (Séptima ed.). La Paz: Instituto de Ensayo de Materiales.
- Challco Condo, I. (s.f.). *ESTUDIO DE MÓDULO DE ELASTICIDAD DE TABLEROS CONTRACHAPADOS FENOLÍTICOS PRODUCIDOS EN BOLIVIA Y UTILIZADOS EN ENCOFRADOS*. Instituto de Ensayo de Materiales, La Paz - Bolivia, La Paz .
- Chambi, L., & Perez, F. (2009). *Estudio del Hormigón Ciclópeo Aligerado con Botellas Plásticas Pet*. La Paz - Bolivia: UMSA.
- Das, B. M. (2012). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones* (Séptima ed.). Mexico: Cengage Learning.
- Jimenez Montoya, Garcia Mesenguer, A., Moran Cabre, F., & Arroyo Portero, J. (2011). *Hormigón Armado*. España.
- Junta de Acuerdo de Cartagena PADT REFORT. (2000). *Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino*.
- McCormac, J., & Brown, R. (2011). *Diseño de Concreto Reforzado*. New Jersey - USA.
- Ortiz Meriles, Y. (s.f.). *Muros de Contención de Hormigón con Botellas Plásticas Pet como Elemento Desplazador*. La Paz - Bolivia: Instituto de Ensayo de Materiales - UMSA.
- Yujra , R. (s.f.). *DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PRUEBA DE UN EQUIPO PARA LA EJECUCIÓN DEL ENSAYO DE CARGA HORIZONTAL CON PLACA*. Instituto de Ensayo de Materiales, La Paz - Bolivia.



## **ANEXO A1**

# **CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS**

### A1.1 Ensayo de análisis granulométrico.

**Cuadro A1.1** Análisis granulométrico Grava y Arena ASTM C-136

**AGREGADO GRUESO.**

Peso Inicial [P<sub>Inicial Grava</sub>]: 7009 [g]

Tamiz	Abertura [mm]	Peso Retenido [g]	Retenido Acumulado [g]	Retenido Acumulado [%]	Peso que Pasa [g]	Porcentaje que Pasa Total [%]	Porcentaje que Pasa [%]	Especificaciones	
								Máx.	Mín.
2"	50,00	0,00	0,00	0,0	7005,5	100,0	100,0		
1 1/2"	37,50	0,00	0,00	0,0	7005,5	100,0	100,0		
1"	25,00	0,00	0,00	0,0	7005,5	100,0	100,0	100	100
3/4"	19,00	14,90	14,90	0,2	6990,6	99,8	99,8	100	90
1/2"	12,50	1850,30	1865,20	26,6	5140,3	73,4	70,7		
3/8"	9,50	1770,10	3635,30	51,9	3370,2	48,1	43,0	55	20
# 4	4,75	2738,80	6374,10	91,0	631,4	9,0	0,0	10	0
Pasa # 4	Charola	631,40	7005,50	100,0					
		Σ :	7005,50		Módulo granulométrico [MG]: 6,43		Porcentaje grueso (Grava) [%]: 91,0 %		
		Dif. [g]:	3,50		Tamaño máximo Nominal [TMN]: 1 "		Porcentaje finos (Grava) [%]: 9,0 %		
		Pérdidas [%]:	0,05 %						

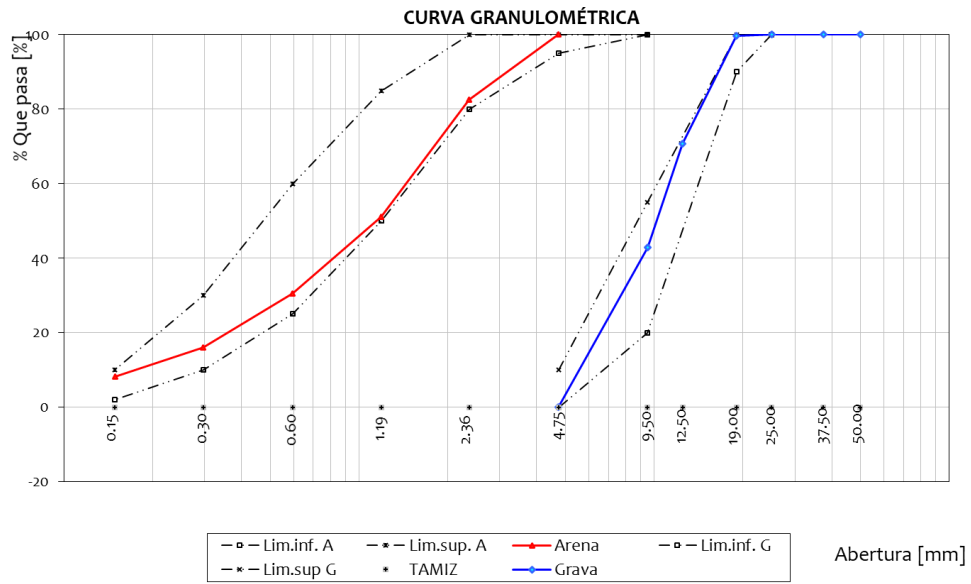
**AGREGADO FINO:**

Peso Inicial [P<sub>Inicial Arena</sub>]: 1251,1 [g]

Tamiz	Abertura [mm]	Peso Retenido [g]	Retenido Acumulado [g]	Retenido Acumulado [%]	Peso que Pasa [g]	Porcentaje que Pasa Total [%]	Porcentaje que Pasa [%]	Porcentaje e que Pasa [%]	Especificaciones	
									Máx.	Mín.
3/8"	9,50				1243,4	100,0	100,0	0,0	100	100
# 4	4,750	4,20	4,20	0,3	1239,2	99,7	100,0	0,0	100	95
# 8	2,360	216,20	220,40	17,7	1023,0	82,3	82,6	17,4	100	80
# 16	1,190	389,00	609,40	49,0	634,0	51,0	51,2	48,8	85	50
# 30	0,595	255,50	864,90	69,6	378,5	30,4	30,5	69,5	60	25
# 50	0,297	179,90	1044,80	84,0	198,6	16,0	16,0	84,0	30	10
# 100	0,149	96,30	1141,10	91,8	102,3	8,2	8,3	91,7	10	2
Charola	Charola	102,30								
		Σ :	1243,40		Módulo de finura de la Arena [Mf <sub>Arena</sub> ]: 3,12 [g]		Porcentaje grueso (Grava) [%]: 99,7 %			
		Dif. [g]:	7,70				Porcentaje finos (Grava) [%]: 0,3 %			
		Pérdidas [%]:	0,62 %							

**Fuente:** “Guía de Ensayos (Agregados-Hormigón) Autor: Cerruto Fernando”

**Figura A1.1** Curva granulométrica de agregados



**Fuente:** “Guía de Ensayos (Agregados-Hormigón) Autor: Cerruto Fernando”

## A1.2 Ensayo peso específico y absorción del agregado grueso y fino.

**Cuadro A1.2 Peso específico y absorción del agregado grueso y fino**

<b>PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO: ASTM C-127</b>		
Peso Recipiente:	$P_{Recip} [g] =$	222,9
Peso Muestra SSS:	$P_{MSSS} [g] =$	4179,9
Peso Sumergido Muestra + Canastillo	$P_{S(M+C)} [g] =$	3488,4
Peso Sumergido Canastillo:	$P_{S(C)} [g] =$	887,7
Peso Sumergido Muestra: $P_{S(M)} = P_{S(M+C)} - P_{S(C)}$	$P_{S(M)} [g] =$	2600,7
Peso o Volumen de agua: $P_{Agua} = P_{S(M+C)} - P_{S(M)}$	$P_{Agua} [g] =$	1579,2
Peso Específico SSS: $G_{SSS} = P_{MSSS} / P_{Agua}$	$G_{SSS} [] =$	<b>2,647</b>
Peso Específico Seco: $G_s = P_{MS} / P_{Agua}$	$G_s [] =$	<b>2,601</b>
Peso Muestra secada al horno + Recipiente:	$P_{MS+Recip} [g] =$	4329,7
Peso Recipiente:	$P_{Recip} [g] =$	222,9
Peso Muestra secada al horno: $P_{MS} = P_{MS+Recip} - P_{Recip}$	$P_{MS} [g] =$	4106,8
Peso de Agua Absorbida: $P_{agua Abs} = P_{MSSS} - P_{MS}$	$P_{Agua Abs} [g] =$	73,1
Porcentaje de Absorción: $\% Abs = (P_{agua Abs} * 100) / P_{MS}$	$\% Abs [%] =$	<b>1,780</b>
<b>PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO: ASTM C-128</b>		
Peso Frasco Volumétrico:	$P_F [G] =$	148,0
Peso fresco lleno de agua:	$P_{F+Agua} [g] =$	646,7
Peso Muestra SSS:	$P_{MSSS} [g] =$	440,0
Peso Frasco + Agua + Muestra:	$P_{F+Agua+M} [g] =$	919,7
Peso Agua Añadida: $W = P_{F+Agua+M} - P_F - P_{MSSS}$	$W [g] =$	331,7
Capacidad del Frasco: $V = P_{F+Agua} - P_F$	$V [g] =$	498,7
Peso del agua desplazada: $P_w = V - W$	$P_w [g] =$	167,0
Peso Específico SSS: $G_{SSS} = P_w / P_{MSSS}$	$G_{SSS} [] =$	<b>2,635</b>
Peso Específico Seco: $P_{MS} / P_w$	$G_s [] =$	<b>2,585</b>
Peso Muestra secada al horno + recipiente:	$P_{MS+Recip} [g] =$	578,7
Peso Recipiente:	$P_{Recip} [g] =$	147,0
Peso Muestra secada al horno: $P_{MS} = P_{MS+Recip} - P_{Recip}$	$P_{MS} [g] =$	431,7
Peso de Agua Absorbida: $P_{agua Abs} = P_{MSSS} - P_{MS}$	$P_{Agua Abs} [g] =$	8,3
Porcentaje de Absorción: $\% Abs = (P_{agua Abs} * 100) / P_{MS}$	$\% Abs [%] =$	<b>1,923</b>

**Fuente:** “Guía de Ensayos (Agregados-Hormigón) Autor: Cerruto Fernando”

### A1.3 Ensayo peso unitario de los agregados.

**Cuadro A1.3 Peso Unitario del agregado grueso y fino**

PESO UNITARIO Y VACÍOS DE AGREGADO ASTM C-29			
<b>Datos del recipiente</b>		Agregado Grueso	Agregado Fino
Peso del Recipiente (Tara):	$P_{\text{Recipiente}} \text{ [g]} =$	6426	1786
Volumen del Recipiente:	$V_{\text{Recipiente}} \text{ [cm}^3\text{]} =$	14329	2834
<b>Datos del Peso Unitario SUELTO:</b>		Agregado Grueso	Agregado Fino
Peso Recipiente + Muestra Suelta:	$P_{\text{Recipiente + Muestra Suelta}} \text{ [g]} =$	27648	6113,1
Peso de la Muestra Suelta:	$P_{\text{Muestra Suelta}} \text{ [g]} =$	21221,7	4327,4
Peso Unitario Suelto:	$PUS \text{ [g/cm}^3\text{]} =$	1,481	1,527
<b>Peso Unitario Suelto:</b>	<b><math>PUS \text{ [Kg/m}^3\text{]} =</math></b>	<b>1481</b>	<b>1527</b>
<b>Datos del Peso Unitario COMPACTADO:</b>		Agregado Grueso	Agregado Fino
Peso Rec + Muestra Compact:	$P_{\text{Recipiente + Muestra Compactada}} \text{ [g]} =$	29497,0	6916,0
Peso de la Muestra Compactada:	$P_{\text{Muestra Compactada}} \text{ [g]} =$	23071	5130,3
Peso Unitario Compactado:	$PUC \text{ [g/cm}^3\text{]} =$	1,610	1,810
<b>Peso Unitario Compactado:</b>	<b><math>PUC \text{ [Kg/m}^3\text{]} =</math></b>	<b>1610</b>	<b>1810</b>

**Fuente:** “Guía de Ensayos (Agregados-Hormigón) Autor: Cerruto Fernando”

## ANEXO A2 DISEÑO DE DOSIFICACIÓN

MATERIAL	HUMEDAD %	ABSORCION %	Pe	Puc, kg/m <sup>3</sup>
Agua	*****	*****	<b>1,000</b>	*****
Cemento	*****	*****	<b>2,985</b>	*****
Grava		<b>1,744</b>	<b>2,602</b>	<b>1610</b>
Arena		<b>1,885</b>	<b>2,587</b>	<b>1810</b>

TMN	3/4"	Mf= 3.12	
1. RESISTENCIA MEDIA (CBH-87)			<b>14,2 Mpa</b>
2. ASENTAMIENTO ( TABLA 4.1 )			<b>7 cm</b>
3. CANTIDAD DE AGUA ( TABLA 4.3 )			<b>211,668 kg/m<sup>3</sup>H°</b>
4. AIRE ATRAPADO (TABLA 4.3 )			<b>0,545 %</b>
5. RELACION AGUA CEMENTO ( TABLA 4.4 )			<b>0,887 *</b>
6. CONTENIDO DE CEMENTO			<b>238,643 kg/m<sup>3</sup>H°</b>
7. CANTIDAD DE AGREGADO GRUESO ( TABLA 4.6 )			
VG=	<b>0,567</b>	m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> H°	
PG = VG*PUG			PG= 913,300997 kg/m <sup>3</sup> H°
8. CANTIDAD DE AGREGADO FINO SOBRE EL VOLUMEN ABSOLUTO			
Va= 0,212			Vc= 0,080
VG = 0,351			V%v = 0,0054467
VA=1-(Va+Vc+VG+V%v)			VA= 0,352 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> H°
PA=VA*PeA*PUa			PA= 910,464 kg/m <sup>3</sup> H°

CANTIDAD EN PESO AGREGADOS SECOS	
kg/m <sup>3</sup> H°	DOS-BASE
Agua	211,67
Cemento	238,64
Grava seca	913,30
Arena seca	910,46
Total	2274,08

## ANEXO A3

# RESULTADOS DE LOS MUROS DE CONTENCIÓN

### A3.1 Botellas plásticas pet.

Se adjunta CD, para el detalle de cada peso de botella.

**Cuadro A3.1** Peso promedio y cantidad de botellas por muro.

**Fuente:** Elaboración propia.

	MURO I								
	ZAPATA			CUERPO INFERIOR			CUERPO SUPERIOR		
	3,00 L	2,50 L	2,00 L	3,00 L	2,50 L	2,00 L	3,00 L	2,50 L	2,00 L
Peso Promedio [g]	5424,1	4555,6	0,0	5425,1	4630,6	3975,6	5283,7	0,0	3624,6
Número de botellas	80	34	0	34	20	100	2	0	52

	MURO II								
	ZAPATA			CUERPO INFERIOR			CUERPO SUPERIOR		
	3,00 L	2,50 L	2,00 L	3,00 L	2,50 L	2,00 L	3,00 L	2,50 L	2,00 L
Peso Promedio [g]	5408,7	4604,6	3686,3	5461,4	4631,9	3666,9	0,0	4650,9	3717,1
Número de botellas	73	26	5	34	20	98	0	10	57

	MURO III								
	ZAPATA			CUERPO INFERIOR			CUERPO SUPERIOR		
	3,00 L	2,50 L	2,00 L	3,00 L	2,50 L	2,00 L	3,00 L	2,50 L	2,00 L
Peso Promedio [g]	5391,6	4625,7	3537,5	5532,3	4627,8	3680,4	5610,2	4636,3	3641,5
Número de botellas	70	25	5	34	20	99	2	10	60

	Número de botellas		
	3,00 lt	2,50 lt	2,00 lt
MURO I	116	54	152
MURO II	107	56	160
MURO III	106	55	164

	Peso promedio [g]		
	3,00 lt	2,50 lt	2,00 lt
MURO I	5377,6	4593,1	3800,1
MURO II	5435,1	4629,1	3690,1
MURO III	5511,4	4630,0	3619,8



### A3.2 Dimensiones obtenidas de los muros

**Cuadro A3.2** Dimensiones de pantalla y cimentación por muro.

**Fuente:** Elaboración propia.

Pantalla 1	h	b	l1	l2	c
1	285	100.5	100.2	41.5	29
2	284.8	100.4	100.2	41.2	29.1
3	284.5	100.2			
4	283	100.5			
Prom.	284.3	100.4	100.2	41.4	29.1

Pantalla 2	h	b	l1	l2	c
1	285	100.4	102	42.1	28.9
2	285.5	100.5	101.8	42.1	30
3	285.5	100			
4	284.8	100			
Prom.	285.2	100.2	101.9	42.1	29.5

Pantalla 3	h	b	l1	l2	c
1	288	100.5	101.5	41.5	30
2	288	100.4	101.4	41.9	29.2
3	287	100.5			
4	287.5	100			
Prom.	287.6	100.4	101.5	41.7	29.6

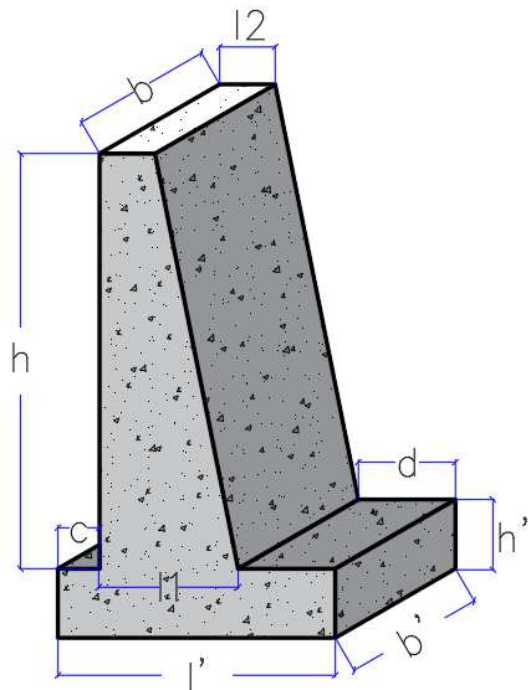
[cm]

Zapata 1	b'	h'	l'
1	100	51.5	200.4
2	100.4	50.5	200.2
3	100.9	50.6	
4	100.2	51	
Prom.	100.375	50.9	200.3

Zapata 2	b'	h'	l'
1	99.7	50	200.3
2	99.5	50.1	200.2
3	99.5	50	
4	100	50.4	
Prom.	99.675	50.125	200.25

Zapata 3	b'	h'	l'
1	99.7	50	200.5
2	99	51	200.2
3	99.3	51	
4			
Prom.	99.33	50.67	200.35

[cm]



Volumen [m3]		
Muro 1	Muro 2	Muro 3
3.0559	3.0577	3.0609

### A3.3 Resultado de ensayo a compresión de probetas extraídas de los muros.

**Cuadro A3.3** Probetas cilíndricas Muro I  
**Fuente:** Elaboración Propia.

HORMIGÓN ENDURECIDO - ZAPATA MURO 1											
Probeta N <sup>o</sup>	Fecha de		Edad [días]	Perímetro [cm]	Carga [kN]	Resistencia [Mpa]		Peso [g]	Altura [cm]	Peso Unitario	
	Vaciado	Ensayo								Obtenida	Promedio
1	martes,21-sep.-21	miércoles,22-sep.-21	1	31.9	9.2	<b>1.14</b>	<b>1.16</b>	3739.8	20.4	<b>2264</b>	<b>2283</b>
2				32	9.7	<b>1.19</b>		3714	19.8	<b>2302</b>	
3	martes,21-sep.-21	jueves,23-sep.-21	2	31.8	22.6	<b>2.81</b>	<b>2.61</b>	3691.2	20.1	<b>2282</b>	<b>2276</b>
4				31.9	19.6	<b>2.42</b>		3695	20.1	<b>2270</b>	
5	martes,21-sep.-21	martes,28-sep.-21	7	32	33.8	<b>4.15</b>	<b>4.32</b>	3664.4	19.8	<b>2271</b>	<b>2275</b>
6				31.9	36.4	<b>4.50</b>		3671	19.9	<b>2278</b>	
7	martes,21-sep.-21	viernes,26-nov.-21	66	32	76.8	<b>9.42</b>	<b>10.72</b>	3608.3	19.5	<b>2271</b>	<b>2257</b>
8				32.1	98.6	<b>12.02</b>		3586.6	19.5	<b>2243</b>	

HORMIGÓN ENDURECIDO - CUERPO INFERIOR MURO 1											
Probeta N <sup>o</sup>	Fecha de		Edad [días]	Perímetro [cm]	Carga [kN]	Resistencia [Mpa]		Peso [g]	Altura [cm]	Peso Unitario	
	Vaciado	Ensayo								Obtenida	Promedio
1	jueves,23-sep.-21	viernes,24-sep.-21	1	32.2	6.1	<b>0.74</b>	<b>0.73</b>	3656.8	19.7	<b>2250</b>	<b>2233</b>
2				32.4	6.1	<b>0.73</b>		3685.3	19.9	<b>2217</b>	
3	jueves,23-sep.-21	lunes,27-sep.-21	4	31.9	19.3	<b>2.38</b>	<b>2.50</b>	3437.3	20.3	<b>2091</b>	<b>2180</b>
4				32.2	21.6	<b>2.62</b>		3724.6	19.9	<b>2268</b>	
5	jueves,23-sep.-21	jueves,30-sep.-21	7	32	24.3	<b>2.98</b>	<b>3.14</b>	3714.6	20	<b>2279</b>	<b>2284</b>
6				31.9	26.7	<b>3.30</b>		3669.6	19.8	<b>2289</b>	
7	jueves,23-sep.-21	viernes,26-nov.-21	64	32.1	52.9	<b>6.45</b>	<b>5.82</b>	3552.9	19.6	<b>2211</b>	<b>2238</b>
8				31.8	41.8	<b>5.19</b>		3573.3	19.6	<b>2266</b>	

HORMIGÓN ENDURECIDO - CUERPO SUPERIOR MURO 1											
Probeta N <sup>o</sup>	Fecha de		Edad [días]	Perímetro [cm]	Carga [kN]	Resistencia [Mpa]		Peso [g]	Altura [cm]	Peso Unitario	
	Vaciado	Ensayo								Obtenida	Promedio
1	viernes,24-sep.-21	lunes,27-sep.-21	3	32	18.8	<b>2.31</b>	<b>2.34</b>	3656.7	19.8	<b>2266</b>	<b>2279</b>
2				32	19.4	<b>2.38</b>		3735.1	20	<b>2292</b>	
3	viernes,24-sep.-21	martes,28-sep.-21	4	32.1	18.5	<b>2.26</b>	<b>2.28</b>	3619.9	19.4	<b>2276</b>	<b>2278</b>
4				31.9	18.7	<b>2.31</b>		3618.4	19.6	<b>2280</b>	
5	viernes,24-sep.-21	viernes,01-oct.-21	7	31.9	23.4	<b>2.89</b>	<b>2.97</b>	3620.1	20.1	<b>2224</b>	<b>2254</b>
6				31.9	24.7	<b>3.05</b>		3643.2	19.7	<b>2284</b>	
7	viernes,24-sep.-21	viernes,26-nov.-21	63	32	48.7	<b>5.98</b>	<b>6.15</b>	3704.7	19.7	<b>2308</b>	<b>2303</b>
8				32.1	51.9	<b>6.33</b>		3694.5	19.6	<b>2299</b>	

**Cuadro A3,4 Probetas cilíndricas Muro II**  
**Fuente:** Elaboración Propia.

HORMIGÓN ENDURECIDO - ZAPATA MURO 2											
Probeta N <sup>o</sup>	Fecha de		Edad [días]	Perímetro [cm]	Carga [kN]	Resistencia [Mpa]		Peso [g]	Altura [cm]	Peso Unitario	
	Vaciado	Ensayo				Promedio				Obtenida	Promedio
1	martes.28-sep.-21	miércoles.29-sep.-21	1	32	12	<b>1.47</b>	<b>1.46</b>	3614.8	19.2	<b>2310</b>	<b>2276</b>
2				31.9	11.7	<b>1.44</b>		3704.4	20.4	<b>2242</b>	
3	martes.28-sep.-21	viernes.01-oct.-21	3	32	25.8	<b>3.17</b>	<b>3.40</b>	3761.5	20	<b>2308</b>	<b>2293</b>
4				32	29.6	<b>3.63</b>		3731.2	20.1	<b>2278</b>	
5	martes.28-sep.-21	martes.05-oct.-21	7	31.8	45.8	<b>5.69</b>	<b>5.67</b>	3692.1	20.1	<b>2283</b>	<b>2281</b>
6				32.2	46.7	<b>5.66</b>		3760.8	20	<b>2279</b>	
7	martes.28-sep.-21	jueves.09-dic.-21	72	32.1	100.6	<b>12.27</b>	<b>11.74</b>	3690.5	19.5	<b>2308</b>	<b>2305</b>
8				32	91.3	<b>11.20</b>		3714.9	19.8	<b>2302</b>	

HORMIGÓN ENDURECIDO - CUERPO INFERIOR MURO 2											
Probeta N <sup>o</sup>	Fecha de		Edad [días]	Perímetro [cm]	Carga [kN]	Resistencia [Mpa]		Peso [g]	Altura [cm]	Peso Unitario	
	Vaciado	Ensayo				Promedio				Obtenida	Promedio
1	jueves.30-sep.-21	viernes.01-oct.-21	1	31.9	13.6	<b>1.68</b>	<b>1.76</b>	3772.2	20.4	<b>2283</b>	<b>2285</b>
2				32	15	<b>1.84</b>		3707.5	19.9	<b>2286</b>	
3	jueves.30-sep.-21	lunes.04-oct.-21	4	33	40.8	<b>4.71</b>	<b>4.21</b>	4065.7	20.4	<b>2300</b>	<b>2288</b>
4				32.1	30.4	<b>3.71</b>		3769.6	20.2	<b>2276</b>	
5	jueves.30-sep.-21	jueves.07-oct.-21	7	32	45.04	<b>5.53</b>	<b>5.13</b>	3735	19.8	<b>2315</b>	<b>2317</b>
6				32.1	38.84	<b>4.74</b>		3765.6	19.8	<b>2319</b>	
7	jueves.30-sep.-21	jueves.09-dic.-21	70	32	99.2	<b>12.17</b>	<b>11.83</b>	3758.5	20	<b>2306</b>	<b>2305</b>
8				32	93.6	<b>11.49</b>		3718.1	19.8	<b>2304</b>	

HORMIGÓN ENDURECIDO - CUERPO SUPERIOR MURO 2											
Probeta N <sup>o</sup>	Fecha de		Edad [días]	Perímetro [cm]	Carga [kN]	Resistencia [Mpa]		Peso [g]	Altura [cm]	Peso Unitario	
	Vaciado	Ensayo				Promedio				Obtenida	Promedio
1	viernes.01-oct.-21	lunes.04-oct.-21	3	32	30	<b>3.68</b>	<b>3.58</b>	3717	19.9	<b>2292</b>	<b>2300</b>
2				31.9	28.1	<b>3.47</b>		3774.8	20.2	<b>2308</b>	
3	viernes.01-oct.-21	martes.05-oct.-21	4	32.1	45.2	<b>5.51</b>	<b>5.48</b>	3771.4	19.9	<b>2311</b>	<b>2310</b>
4				32.1	44.7	<b>5.45</b>		3728.1	19.7	<b>2308</b>	
5	viernes.01-oct.-21	viernes.03-dic.-21	63	32.1	85.1	<b>10.38</b>	<b>10.17</b>	3740.3	19.7	<b>2315</b>	<b>2319</b>
6				32	81.1	<b>9.95</b>		3748	19.8	<b>2323</b>	
7	viernes.01-oct.-21	jueves.09-dic.-21	69	32.1	93.9	<b>11.45</b>	<b>11.80</b>	3731.1	19.9	<b>2287</b>	<b>2290</b>
8				32.3	100.9	<b>12.15</b>		3866.9	20.3	<b>2294</b>	

**Cuadro A3.5** Probetas cilíndricas Muro III  
**Fuente:** Elaboración Propia.

HORMIGÓN ENDURECIDO - ZAPATA MURO 3											
Probeta N <sup>o</sup>	Fecha de		Edad [días]	Perímetro [cm]	Carga [kN]	Resistencia [Mpa]		Peso [g]	Altura [cm]	Peso Unitario	
	Vaciado	Ensayo								Obtenida	Promedio
1	martes.05-oct.-21	miércoles.06-oct.-21	1	32.1	12.4	<b>1.51</b>		3811.5	20.4	<b>2279</b>	
2				32.2	13.3	<b>1.61</b>		<b>1.56</b>	3755.1	19.7	
3	martes.05-oct.-21	viernes.03-dic.-21	59	32.1	72.3	<b>8.82</b>		3712.1	19.3	<b>2346</b>	
4				31.9	64.6	<b>7.98</b>		<b>8.40</b>	3778.8	20.2	
5	martes.05-oct.-21	jueves.09-dic.-21	65	32	93.4	<b>11.46</b>		3746.4	19.9	<b>2310</b>	
6				32	93.7	<b>11.50</b>		<b>11.48</b>	3814	20.2	

HORMIGÓN ENDURECIDO - CUERPO INFERIOR MURO 3											
Probeta N <sup>o</sup>	Fecha de		Edad [días]	Perímetro [cm]	Carga [kN]	Resistencia [Mpa]		Peso [g]	Altura [cm]	Peso Unitario	
	Vaciado	Ensayo								Obtenida	Promedio
1	jueves.07-oct.-21	viernes.12-nov.-21	36	32	67.5	<b>8.28</b>		3757.9	20.1	<b>2294</b>	
2				32.1	69.8	<b>8.51</b>		<b>8.40</b>	3773.4	19.9	
3	jueves.07-oct.-21	viernes.03-dic.-21	57	32	87.7	<b>10.76</b>		3739.4	20	<b>2294</b>	
4				32.1	87.7	<b>10.70</b>		<b>10.73</b>	3504.3	18.6	
5	jueves.07-oct.-21	jueves.09-dic.-21	63	32.1	93.9	<b>11.45</b>		3746.4	19.9	<b>2296</b>	
6				32	90.9	<b>11.16</b>		<b>11.30</b>	3814	20.2	

HORMIGÓN ENDURECIDO - CUERPO SUPERIOR MURO 3.1											
Probeta N <sup>o</sup>	Fecha de		Edad [días]	Perímetro [cm]	Carga [kN]	Resistencia [Mpa]		Peso [g]	Altura [cm]	Peso Unitario	
	Vaciado	Ensayo								Obtenida	Promedio
1	viernes.08-oct.-21	viernes.19-nov.-21	42	32.2	96.5	<b>11.70</b>		3808	20.4	<b>2262</b>	
2				32.1	93.5	<b>11.40</b>		<b>11.55</b>	3771.6	20	
3	viernes.08-oct.-21	viernes.03-dic.-21	56	32.1	76	<b>9.27</b>		3825.6	20.1	<b>2321</b>	
4				31.9	71.9	<b>8.88</b>		<b>9.07</b>	3776.9	20.1	
5	viernes.08-oct.-21	jueves.09-dic.-21	62	32.1	75.1	<b>9.16</b>		3741.8	20.1	<b>2270</b>	
6				32.1	77.9	<b>9.50</b>		<b>9.33</b>	3761.9	20.1	

**Cuadro A3.6** Ensayo a Tracción probetas cilíndricas Muro III  
**Fuente:** Elaboración Propia.

$$T = \frac{2P}{\pi ld}$$

Where: T = splitting tensile strength, MPa [psi].  
P = maximum applied load indicated by the Testing machine, N [lbf].  
l = length, mm [in].  
d = diameter, mm [in].

HORMIGÓN ENDURECIDO - ZAPATA MURO 3											
Probeta N <sup>o</sup>	Fecha de		Edad [días]	Perímetro [cm]	Diámetro prom [cm]	Altura [cm]	Fuerza kN	Peso [g]	Tracción [MPa]	Peso Unitario	
	Vaciado	Ensayo								Obtenida	Promedio
1	martes.05-oct.-21	viernes.10-dic.-21	66	32	10.20	20	58.20	3811.5	1.82	2340	2300
				32.1		19.9					
				32							
2	martes.05-oct.-21	viernes.10-dic.-21	66	31.9	10.18	20.1	62.40	3712.1	1.93	2260	
				32		20.3					
				32							

HORMIGÓN ENDURECIDO - CUERPO INFERIOR MURO 3											
Probeta N <sup>o</sup>	Fecha de		Edad [días]	Perímetro [cm]	Diámetro prom [cm]	Altura [cm]	Fuerza kN	Peso [g]	Tracción [MPa]	Peso Unitario	
	Vaciado	Ensayo								Obtenida	Promedio
1	jueves.07-oct.-21	viernes.10-dic.-21	64	32.9	10.49	20.3	56.40	3811.5	1.69	2171	2234
				33		20.3					
				33							
2	jueves.07-oct.-21	viernes.10-dic.-21	64	31.8	10.15	19.9	51.30	3712.1	1.61	2298	
				32		20					
				31.9							

HORMIGÓN ENDURECIDO - CUERPO SUPERIOR MURO 3.1											
Probeta N <sup>o</sup>	Fecha de		Edad [días]	Perímetro [cm]	Diámetro prom [cm]	Altura [cm]	Fuerza kN	Peso [g]	Tracción [MPa]	Peso Unitario	
	Vaciado	Ensayo								Obtenida	Promedio
1	viernes.08-oct.-21	viernes.10-dic.-21	63	31.9	10.16	20.4	60.10	3811.5	1.85	2302	2278
				31.9		20.4					
				32							
2	viernes.08-oct.-21	viernes.10-dic.-21	63	31.9	10.16	20.3	66.50	3712.1	2.05	2253	
				32		20.3					
				31.9							

**Cuadro A3.7** Ensayo de extracción de núcleo Muro I  
**Fuente:** Elaboración Propia.

HORMIGÓN ENDURECIDO - CUERPO SUPERIOR MURO 1 EXTRACCION DE NUCLEO											
Probeta N <sup>o</sup>	Fecha de		Edad [días]	Perímetro [cm]	Carga [kN]	Resistencia [Mpa]		Peso [g]	Altura [cm]	Peso Unitario	
	Vaciado	Ensayo								Obtenida	Promedio
1	viernes.24-sep.-21	jueves.02-dic.-21	69	22	31.6	8.20		1341	15.1	2306	2306
2						8.20	8.20			2306	

### A3.4 Diseño muro de contención con botellas plásticas pet.

1. PREDIMENSIONAMIENTO:

Datos Geotécnicos:

Altura de Muro  $h_m := 335 \text{ cm}$   
 Altura de Zapata  $h_z := 50 \text{ cm}$   
 Base del Muro  $b_m := 200 \text{ cm}$   
 Corona del Muro  $b_c := 42 \text{ cm}$   
 Inclinación Trasdos  $i_{tr} := 60 \text{ cm}$   
 Longitud de Puntera  $l_{punt} := 30 \text{ cm}$   
 Talon de Muro  $t_m := b_m - l_{punt} - b_c - i_{tr} = 68 \text{ cm}$   
 Profundidad de Cimentación  $P := 0.0 \text{ m}$   
 $\sigma_{adm} := 90 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 1.25 = 112.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$   
 $q_v := 2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$  Sobre carga.

Datos Geotécnicos:  
 Peso Especifico H.C.P.  $\gamma_{HCP} := 20.83 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$   
 P.E. Suelo 1. Relleno  $\gamma_{S1} := 18 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$   
 P.E. Suelo 2. Fundación  $\gamma_{S2} := 18 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$   
 S1 Ángulo de fricción interna  $\phi_{s1} := 30^\circ$   
 S2 Ángulo de fricción interna  $\phi_{s2} := 30^\circ$   
 S2 Cohesión  $c_{s2} := 0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$   
 Ángulo de fricción entre suelo estructura  $\delta := \phi_{s2} = 30^\circ$

### 2. ANALISIS DE CARGAS

	Elemento	Área [m2]	Brazo [m]	Área*Brazo
Hormigón Ciclópeo	1	1.00	1.00	1.00
	2	1.20	0.51	0.61
	3	0.86	0.92	0.79
	$\Sigma$ (Suma) HC	3.05		2.40
Suelo 1	4	0.86	1.12	0.96
	5	1.94	1.66	3.22
	$\Sigma$ (Suma) S1	2.79		4.17

#### 2.1 - 2.2 Peso Propio y Peso del Relleno

$$PP_{muro} := A_{muro} \cdot \gamma_{HCP} = 63.57 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$PP_{suelo1} := A_{suelo1} \cdot \gamma_{S1} = 50.27 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$x_{cg\_muro} := \frac{A_{muro} \cdot x_{Brazo}}{A_{muro}} = 0.79 \text{ m}$$

$$x_{cg\_suelo1} := \frac{A_{suelo1} \cdot x_{Brazo}}{A_{suelo1}} = 1.49 \text{ m}$$

#### 2.3 Sobre Carga Vertical

$$sc_v := q_v \cdot (i_{tr} + t_m) = 2.56 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$x_{cg\_sc} := b_m - \left( \frac{i_{tr} + t_m}{2} \right) = 1.36 \text{ m}$$

## 2.4 Empuje activo en el Muro:

Coefficiente activo

$$k_a := \frac{1 - \sin(\phi_{s1})}{1 + \sin(\phi_{s1})}$$

$$k_a = 0.33$$

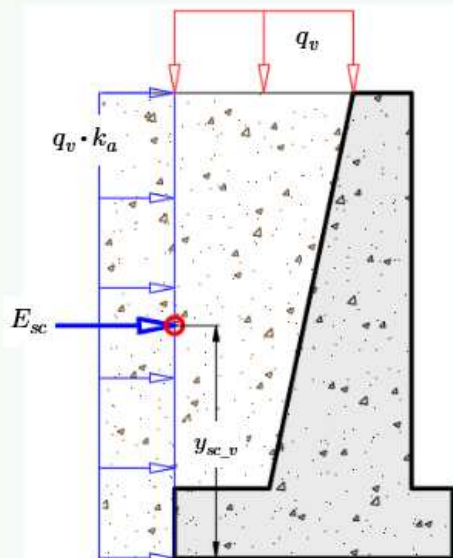
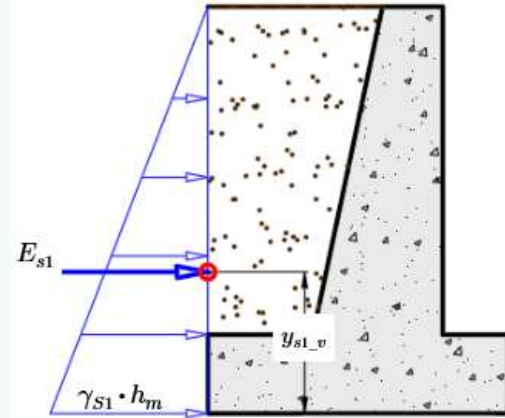
Donde:

$$\phi_{s1} = 30^\circ \text{ Ang. Fricc. Int. Suelo 1}$$

### 2.4.1 Empuje del Suelo:

$$E_{s1} := \frac{1}{2} \cdot \gamma_{s1} \cdot (h_m)^2 \cdot k_a = 33.67 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\rightarrow y_{s1\_v} := \frac{1}{3} (h_m) = 1.12 \text{ m}$$



### 2.4.2 Empuje de la Sobrecarga:

$$E_{sc} := q_v \cdot k_a \cdot (h_m) = 2.23 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\rightarrow y_{sc\_v} := \frac{(h_m)}{2} = 1.68 \text{ m}$$

## 3. RESUMEN DE CARGAS:

### 3.1 Cargas Verticales y Resistentes.

Fuerza total Vertical:

$$F_v := PP_{\text{muro}} + PP_{\text{suelo1}} + sc_v = 116.41 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Momento resistente

$$M_{res} := PP_{\text{muro}} \cdot x_{cg\_muro} + PP_{\text{suelo1}} \cdot x_{cg\_suelo1} + sc_v \cdot x_{cg\_sc}$$

$$M_{res} = 128.56 \frac{\text{kN} \cdot \text{m}}{\text{m}}$$

3.2 Cargas Horizontales y Desestabilizadoras.

Fuerza total Horizontal

$$F_h := E_{s1} + E_{sc} = 35.9 \frac{kN}{m}$$

Momento Actuante.

$$M_{act} := E_{s1} \cdot y_{s1\_v} + E_{sc} \cdot y_{sc\_v} = 41.34 \frac{kN \cdot m}{m}$$

4. ANALISIS DE ESTABILIDAD.

4.1 Verificación al volcamiento

$$FS_{volc} := \frac{M_{res}}{M_{act}} = 3.11 > 2$$

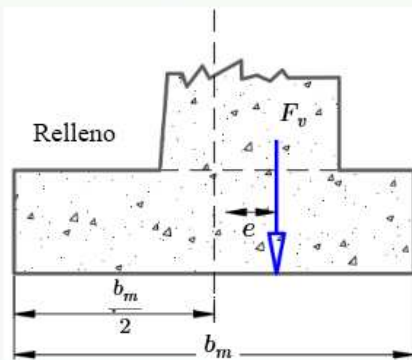
4.2 Verificación al deslizamiento

$$FS_{dest} := \frac{F_v \cdot \tan(\delta) + c_{cim} \cdot b_m}{F_h} = 1.87 > 1.5$$

$FS_v = \text{“Cumple”}$

$FS_d = \text{“Cumple”}$

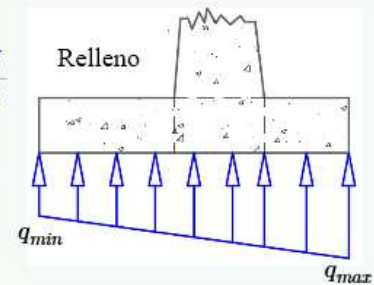
4.3 Capacidad portante del Suelo



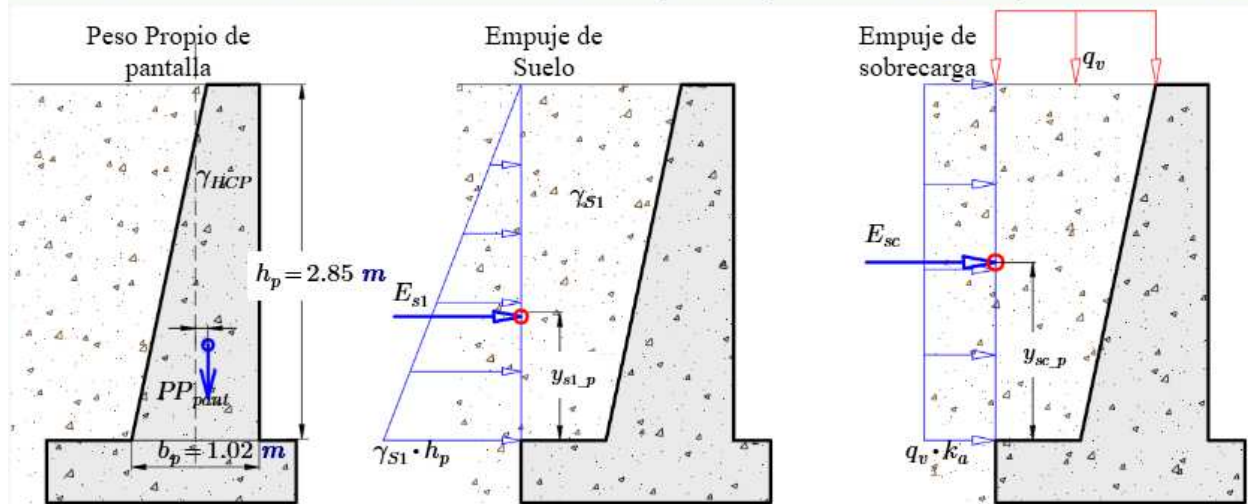
$$e := \frac{b_m}{2} - \frac{M_{res} - M_{act}}{F_v} = 0.25 \text{ m} < \frac{b_m}{6} = 0.33 \text{ m}$$

$$q_{max} := \frac{F_v}{b_m \cdot 1} + \frac{F_v \cdot e}{1 \cdot b_m^2} = 101.98 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{min} := \frac{F_v}{b_m \cdot 1} - \frac{F_v \cdot e}{1 \cdot b_m^2} = 14.42 \frac{kN}{m^2}$$



5. VERIFICACIÓN DEL ESPOLÓN O PANTALLA  $b_p := b_m - l_{punt} - t_m = 1.02 \text{ m}$   $h_p := h_m - h_z = 2.85 \text{ m}$





5.1 Empuje Horizontal de Suelo

$$E_{s1} := \frac{1}{2} \cdot \gamma_{s1} \cdot (h_p)^2 \cdot k_a = 24.37 \frac{kN}{m}$$

$$\rightarrow y_{s1_p} := \frac{1}{3} (h_p) = 0.95 \text{ m}$$

Momento del empuje S1

$$M_{Es1_h} := E_{s1} \cdot y_{s1_p} = 23.15 \frac{kN \cdot m}{m}$$

5.2 Empuje Horizontal de Sobre Carga

$$E_{sc} := q_v \cdot k_a \cdot (h_p) = 1.9 \frac{kN}{m}$$

$$\rightarrow y_{sc_p} := \frac{(h_p)}{2} = 1.43 \text{ m}$$

Momento del empuje SC

$$M_{Esc_h} := E_{sc} \cdot y_{sc_p} = 2.71 \frac{kN \cdot m}{m}$$

5.3 Peso Propio Pantalla

$$A_{pant} := A_{muro} - b_m \cdot h_z = 2.05 \text{ m}^2$$

$$PP_{pant} := A_{pant} \cdot \gamma_{HCP} = 42.74 \frac{kN}{m}$$

$$x_{cg_p} := \frac{b_c \cdot h_p \cdot \left(\frac{b_c}{2}\right) + \frac{1}{2} \cdot i_{tr} \cdot h_p \cdot \left(b_c + \frac{1}{3} i_{tr}\right)}{A_{pant}} = 0.38 \text{ m}$$

$$e_{pant} := \frac{b_p}{2} - x_{cg_p} = 0.13 \text{ m}$$

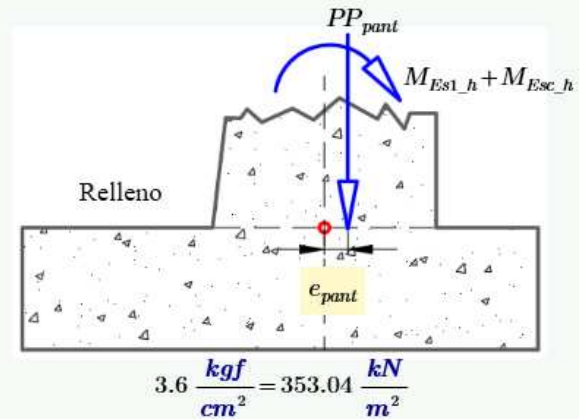
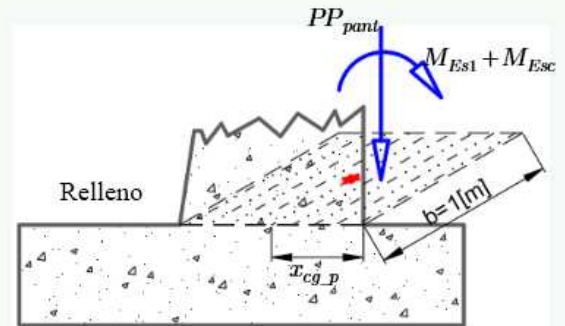
Momento del Peso Propio

$$M_{PP_{pant}} := PP_{pant} \cdot e_{pant} = 5.52 \frac{kN \cdot m}{m}$$

5.4 Momento característico aplicado en la pantalla

$$M_{k_p} := M_{Es1_h} + M_{Esc_h} + M_{PP_{pant}}$$

$$M_{k_p} = 31.38 \frac{kN \cdot m}{m}$$



Verificación de Tensiones: UTILIZANDO UN HORMIGON

$$f'_c := 11 \text{ MPa}$$

$$\sigma_c := \frac{PP_{pant}}{b_p \cdot 1} + \frac{6 \cdot M_{k_p}}{1 \cdot b_p^2} = 222.86 \frac{kN}{m^2} < f_{cd} := 0.45 f'_c = 4950 \frac{kN}{m^2} \quad \text{Cumple!! ACI 318-14}$$

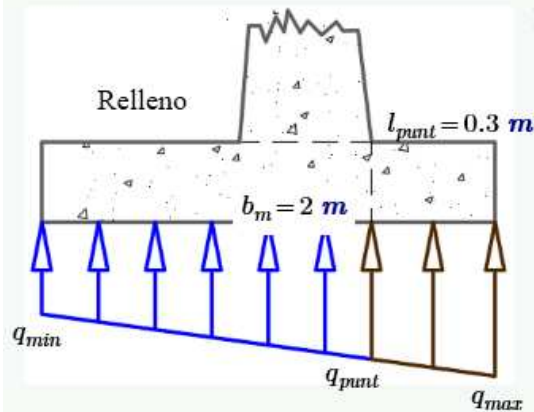
$$\sigma_t := \frac{PP_{pant}}{b_p \cdot 1} - \frac{6 \cdot M_{k_p}}{1 \cdot b_p^2} = -139.05 \frac{kN}{m^2} < f_{ct,d} := 0.25 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot \text{MPa}^{0.5} = 829.16 \frac{kN}{m^2} \quad \text{Cumple!! ACI 318-14}$$

Verificación de tensiones

$$x_{Vu_{pant}} := \frac{\frac{1}{2} \cdot l_{pant}^2 \left( q'_{muro} \cdot \frac{2}{3} + q_{pant} \cdot \frac{1}{3} \right) \cdot m}{V_{u_{pant}}} = 0.148 \text{ m}$$

$$M_{u_{pant}} := V_{u_{pant}} \cdot x_{Vu_{pant}} = 5.9 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

### 6. VERIFICACIÓN DE LA PUNTERA



Del análisis de tensiones de todo el muro (Tensiones características)

$$q_{max} = 101.98 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{min} = 14.42 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{punt} := \frac{b_m - l_{punt}}{b_m} \cdot (q_{max} - q_{min}) + q_{min} = 88.85 \frac{kN}{m^2}$$

$$V_{punt} := \frac{q_{max} + q_{punt}}{2} \cdot l_{punt} \cdot 1 \text{ m} = 28.62 \text{ kN}$$

Verificación de tensiones

$$x_{Vu\_punt} := \frac{\frac{1}{2} \cdot l_{punt}^2 \left( q_{max} \cdot \frac{2}{3} + q_{punt} \cdot \frac{1}{3} \right) \cdot m}{V_{punt}} = 0.15 \text{ m}$$

$$M_{punt} := V_{punt} \cdot x_{Vu\_punt} = 4.39 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Cumple!!

$$\sigma_{c\_punt} := \frac{6 \cdot M_{punt}}{1 \text{ m} \cdot h_z^2} = 105.41 \frac{kN}{m^2}$$

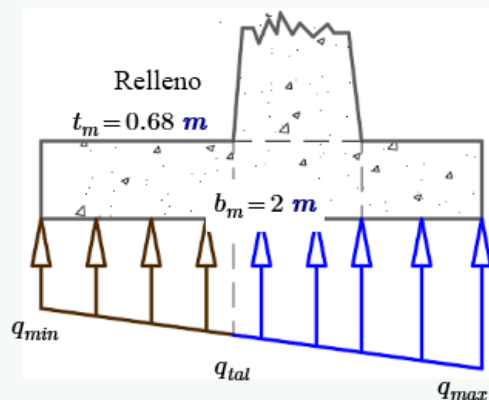
$$< f_{cd} := 0.45 f_c' = 4950 \frac{kN}{m^2}$$

Cumple!!

$$\sigma_{t\_punt} := -\frac{6 \cdot M_{punt}}{1 \text{ m} \cdot h_z^2} = -105.41 \frac{kN}{m^2}$$

$$< f_{ct,d} := 0.25 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot MPa^{0.5} = 829.16 \frac{kN}{m^2}$$

### 7. VERIFICACIÓN DEL TALON



Del análisis de tensiones de todo el muro (Tensiones características)

$$q_{max} = 101.98 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{min} = 14.42 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{tal} := \frac{b_m - l_{punt} - b_p}{b_m} \cdot (q_{max} - q_{min}) + q_{min} = 44.19 \frac{kN}{m^2}$$

$$V_{tal} := \frac{q_{min} + q_{tal}}{2} \cdot t_m \cdot 1 \text{ m} = 19.93 \text{ kN}$$

Verificación de tensiones

$$x_{V_{tal}} := \frac{\frac{1}{2} \cdot t_m^2 \left( q_{min} \cdot \frac{2}{3} + q_{tal} \cdot \frac{1}{3} \right) \cdot m}{V_{tal}} = 0.28 \text{ m}$$

$$M_{tal} := PP_{suelo1} \cdot 1 \text{ m} \cdot \left( \frac{t_m}{2} \right) + s_{c_v} \cdot 1 \text{ m} \cdot \frac{t_m}{2} - V_{tal} \cdot x_{V_{tal}} = 12.33 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\sigma_{c\_punt} := \frac{6 \cdot M_{tal}}{1 \text{ m} \cdot h_z^2} = 296.03 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} < f_{cd} := 0.45 f_c' = 4950 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \text{ Cumple!!}$$

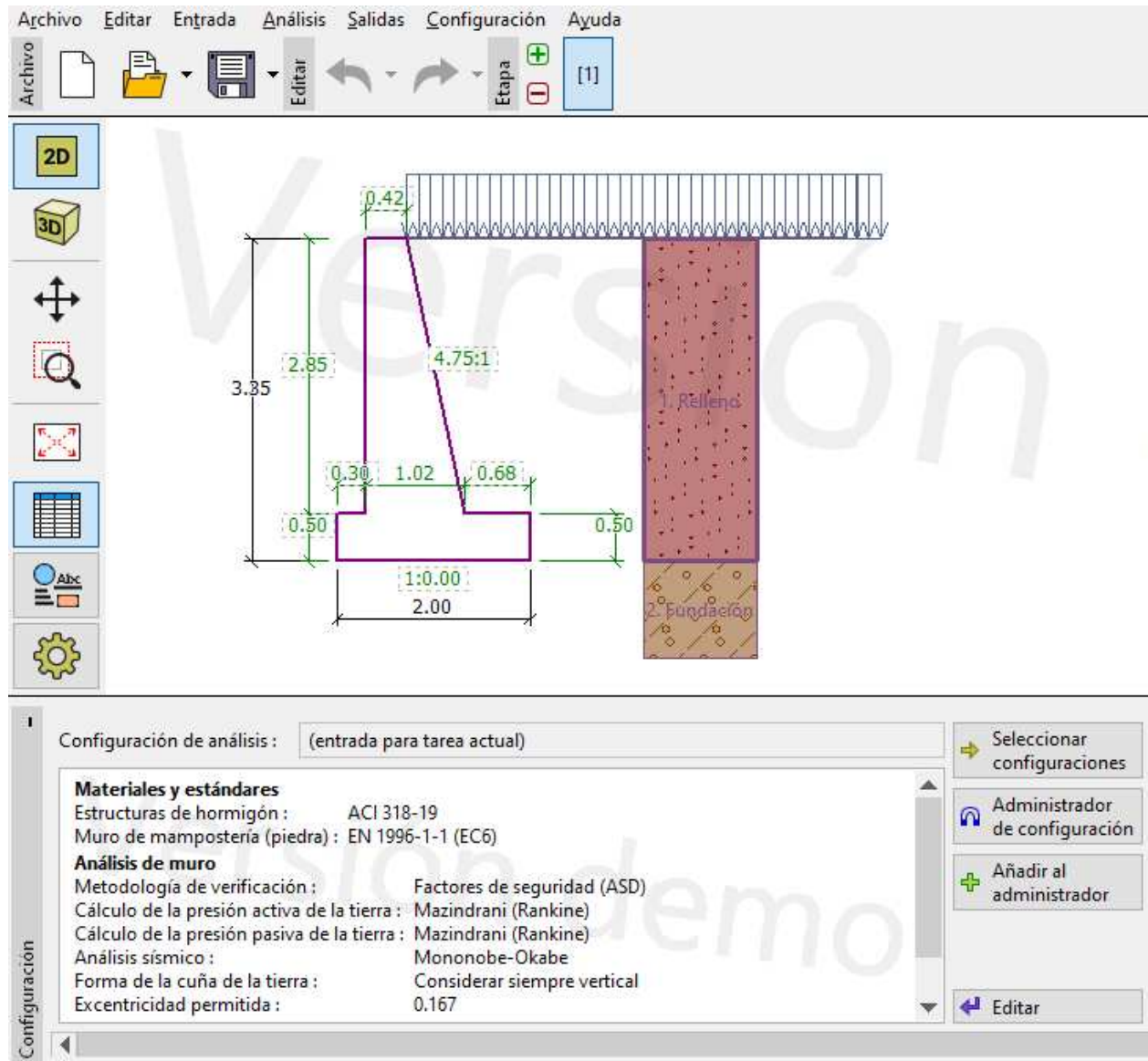
$$\sigma_{t\_punt} := -\frac{6 \cdot M_{tal}}{1 \text{ m} \cdot h_z^2} = -296.03 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} < f_{ct,d} := 0.25 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot \text{MPa}^{0.5} = 829.16 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \text{ Cumple!!}$$

### A3.5 Diseño de un Muro de contención utilizando el software GEO-5

#### A3.5.1 Datos de Entrada.

**Figura A3.1** Configuración y geometría en GEO-5

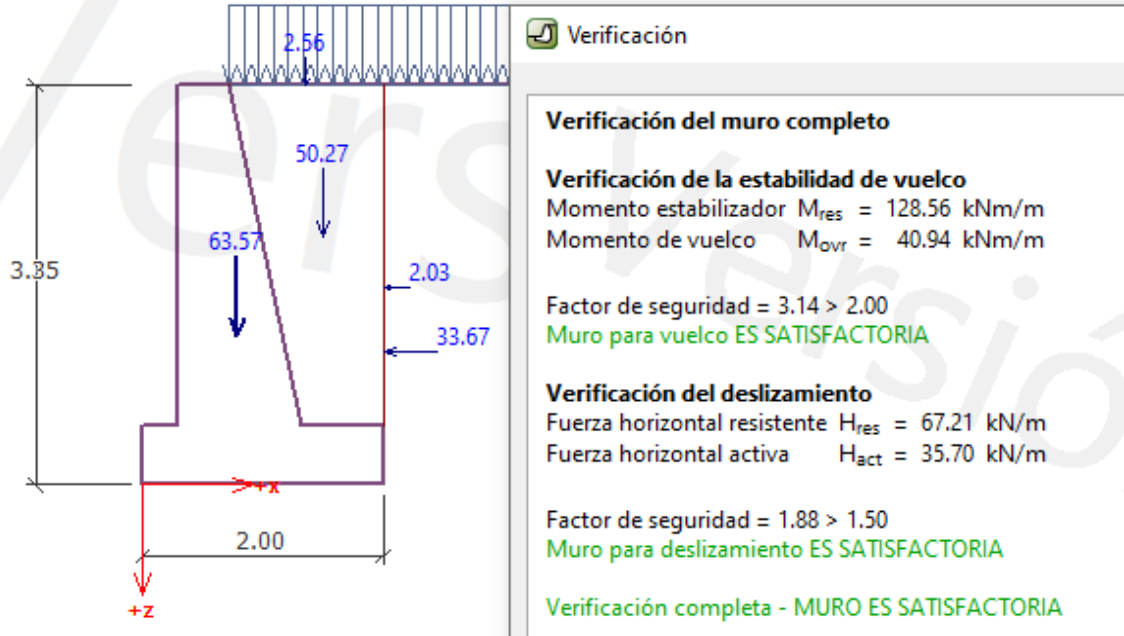
**Fuente:** Elaboración Propia



A3.5.2 Datos de Salida

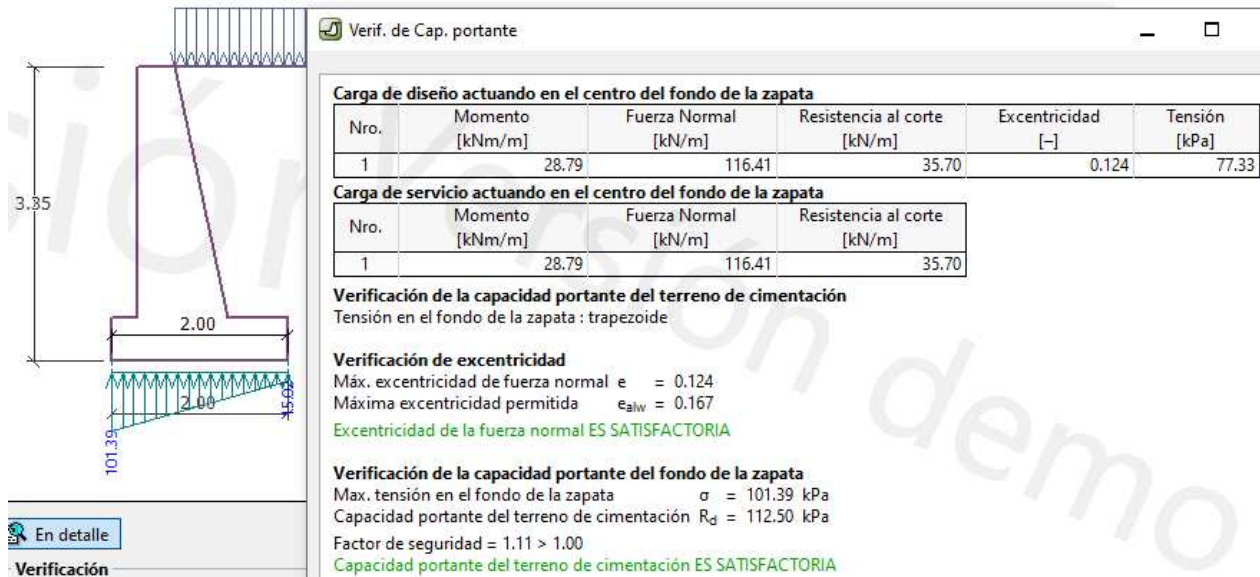
**Figura A3.2** Verificación del Equilibrio.

**Fuente:** Elaboración Propia.



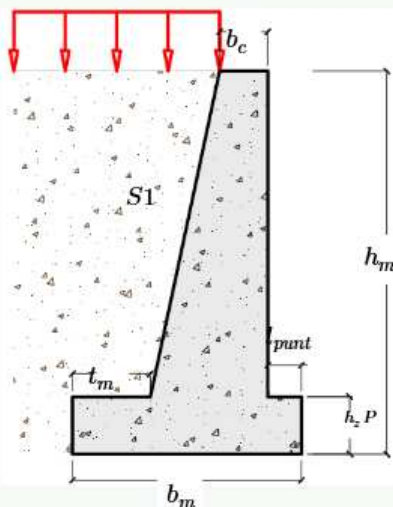
**Figura A3.3** Verificación de la capacidad portante del suelo.

**Fuente:** Elaboración Propia.



### A3.6 Verificación de la estructura bajo la aplicación de una fuerza “F”

1. PREDIMENSIONAMIENTO:

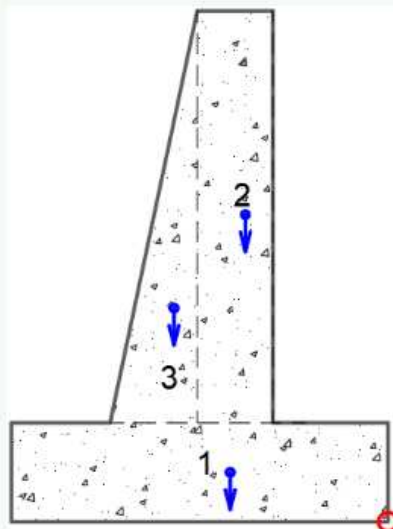


Altura de Muro  $h_m := 3.35 \text{ m}$   
 Altura de Zapata  $h_z := 0.50 \text{ m}$   
 Base del Muro  $b_m := 2.00 \text{ m}$   
 Corona del Muro  $b_c := 0.42 \text{ m}$   
 Inclinación Trasdos  $i_{tr} := 0.60 \text{ m}$   
 Longitud de Puntera  $l_{punt} := 0.30 \text{ m}$   
 Talon de Muro  
 $t_m := b_m - l_{punt} - b_c - i_{tr} = 0.68 \text{ m}$   
 Profundidad de Cimentación  
 $P := 0.5 \text{ m}$   
 Cohesion del terreno de fundación  
 $c_{cim} := \frac{2}{3} \cdot c_{s2} = 0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$   
 $\sigma_{adm} := 90 \cdot 1.25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 112.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Datos Geotécnicos:  
 Peso Especifico H.C.P  
 $\gamma_{HCP} := 20.83 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$   
 Peso Especifico Suelo 1.  
 Relleno  $\gamma_{S1} := 18.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$   
 Peso Especifico Suelo 2.  
 Fundación  $\gamma_{S2} := 18.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$   
 S1 Ángulo de fricción interna  
 $\phi_{s1} := 30^\circ$   
 S2 Ángulo de fricción interna  
 $\phi_{s2} := 30^\circ$   
 S2 Cohesión  $c_{s2} := 00 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$   
 Ángulo de fricción entre suelo estructura  $\delta := \phi_{s2} = 30^\circ$

Sobre carga  $q_v := 2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

### 2. ANALISIS DE CARGAS



	Elemento	Área [m2]	Brazo [m]	Área*Brazo
Hormigón Ciclópeo	1	1.00	1.00	1.00
	2	1.20	0.51	0.61
	3	0.86	0.92	0.79
	$\Sigma$ (Suma) HC	3.05		2.40

#### 2.1 Peso Propio

$$PP_{muro} := A_{muro} \cdot \gamma_{HCP} = 63.573 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$x_{cg\_muro} := \frac{A_{muro} \cdot x_{Brazo}}{A_{muro}} = 0.785 \text{ m}$$

#### 2.2 Sobre Carga Vertical

$$sc_v := q_v \cdot (i_{tr} + t_m) = 2.56 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$x_{cg\_sc} := b_m - \left( \frac{i_{tr} + t_m}{2} \right) = 1.36 \text{ m}$$

### 2.3 Empuje activo en el Muro:

Coefficiente activo

$$k_a := \frac{1 - \sin(\phi_{s1})}{1 + \sin(\phi_{s1})}$$

$$k_a = 0.333$$

Donde:

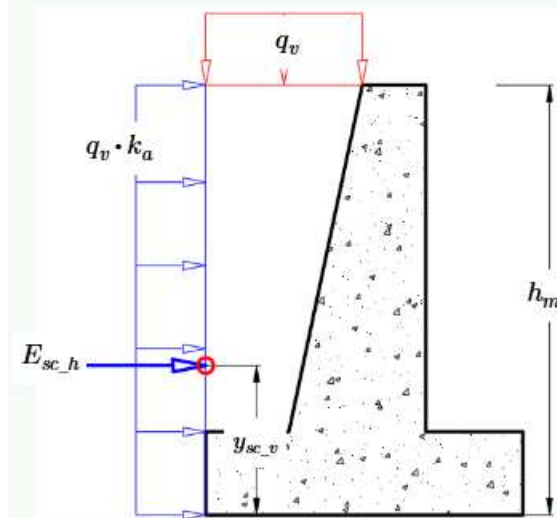
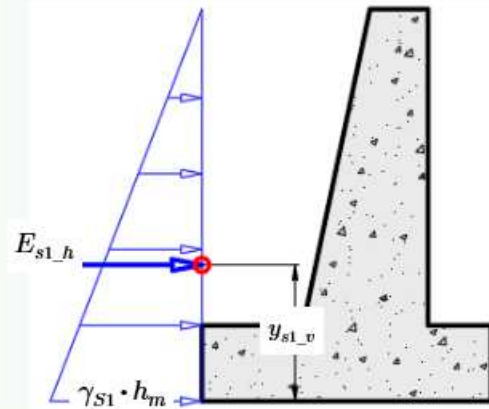
$$\phi_{s1} = 30^\circ \text{ Ang. Fricc. Int. Suelo 1}$$

#### 2.3.1 Empuje del Suelo:

$$E_{s1} := \frac{1}{2} \cdot \gamma_{s1} \cdot (h_m)^2 \cdot k_a = 33.668 \frac{kN}{m}$$

$$\rightarrow y_{s1_v} := \frac{1}{3} (h_m) = 1.117 \text{ m}$$

$$E_{s1_h} := 1.6 \cdot E_{s1} = 53.868 \frac{kN}{m}$$



#### 2.3.2 Empuje de la Sobrecarga:

$$E_{sc} := q_v \cdot k_a \cdot (h_m) = 2.233 \frac{kN}{m}$$

$$\rightarrow E_{sc_h} := 1.6 \cdot E_{sc} = 3.573 \frac{kN}{m}$$

para la condición del ensayo:

$$y_{sc_v} := \frac{(h_m)}{3} = 1.117 \text{ m}$$

### 3. RESUMEN DE CARGAS:

#### 3.1 Cargas Verticales y Resistentes.

Fuerza total Vertical:

$$F_v := PP_{muro} = 63.573 \frac{kN}{m}$$

Momento resistente:

$$M_{res} := PP_{muro} \cdot x_{cg\_muro} = 49.931 \frac{kN \cdot m}{m}$$

#### 3.2 Cargas Horizontales y Desestabilizadoras.

Fuerza total Horizontal

$$F_h := E_{s1_h} + E_{sc_h} = 57.441 \frac{kN}{m}$$

Momento Actuante.

$$M_{act} := E_{s1_h} \cdot y_{s1_v} + E_{sc_h} \cdot y_{sc_v} = 64.143 \frac{kN \cdot m}{m}$$

4. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD.

4.1 Verificación al volcamiento

$$FS_{votc} := \frac{M_{res}}{M_{act}} = 0.778 > 2$$

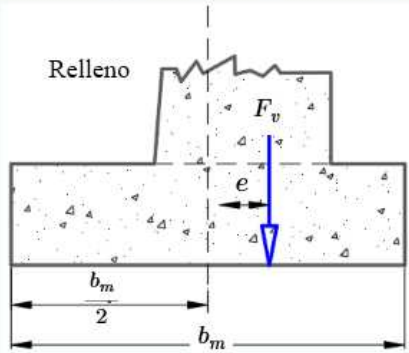
$FS_v = \text{“No Cumple”}$

4.2 Verificación al deslizamiento

$$FS_{dest} := \frac{F_v \cdot \tan(\delta) + c_{cim} \cdot b_m}{F_h} = 0.639 > 1.5$$

$FS_d = \text{“No Cumple”}$

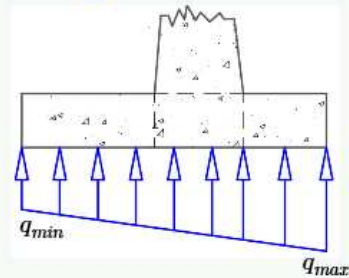
4.3 Capacidad portante del Suelo



$$e := \frac{b_m}{2} \cdot \frac{M_{res} - M_{act}}{F_v} = 1.224 \text{ m} < \frac{b_m}{6} = 0.333 \text{ m}$$

$$q_{max} := \frac{F_v}{b_m \cdot 1} + \frac{F_v \cdot e}{1 \cdot b_m^2} = 148.464 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

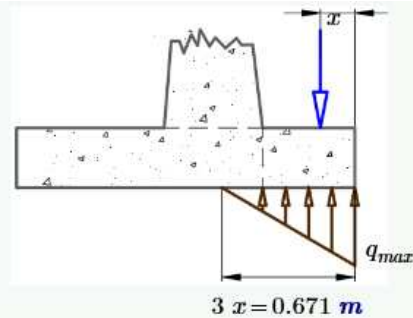
$$q_{min} := \frac{F_v}{b_m \cdot 1} - \frac{F_v \cdot e}{1 \cdot b_m^2} = -84.891 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$



Al existir tensiones de tracción, utilizamos la siguiente ecuación para el cálculo de la tensión máxima y de esa manera despreciar la zona traccionada.

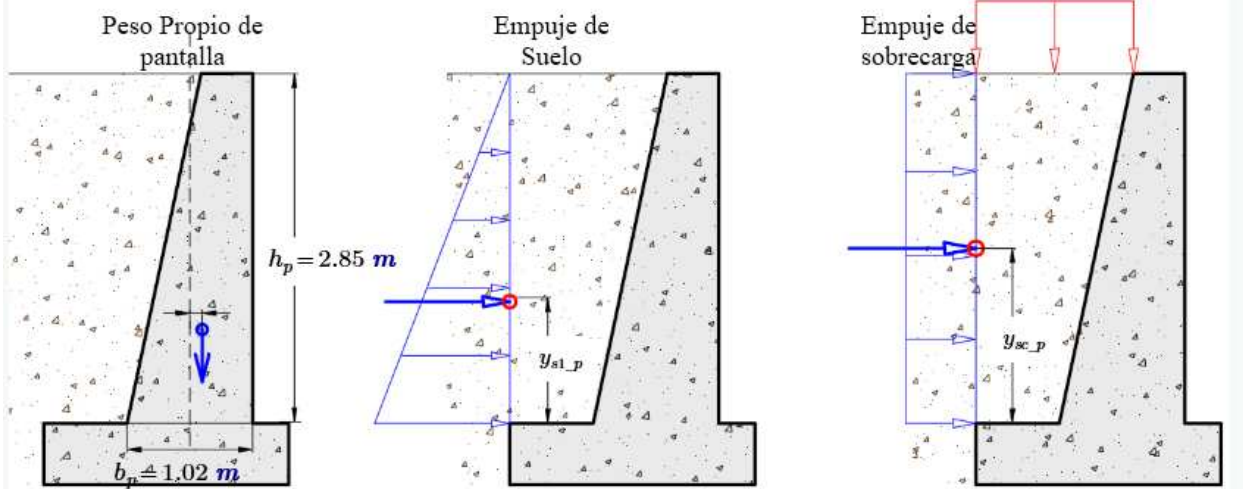
$$x := \frac{M_{act} - M_{res}}{F_v} = 0.224 \text{ m}$$

$$q_{max} := \frac{2}{3} \cdot \frac{F_v}{x} = 189.586 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} < \sigma_{adm} = 112.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$



5. VERIFICACIÓN DEL ESPOLÓN O PANTALLA

$$b_p := b_m - l_{punt} - t_m = 1.02 \text{ m} \quad h_p := h_m - h_z = 2.85 \text{ m}$$





5.1 Empuje Horizontal de Suelo

$$E_{s1} := \frac{1}{2} \cdot \gamma_{s1} \cdot (h_m)^2 \cdot k_a = 33.668 \frac{kN}{m}$$

$$E_{s1_h} := E_{s1} \cdot 1.6 = 53.868 \frac{kN}{m}$$

$$\rightarrow y_{s1_p} := \frac{1}{3} (h_m) - h_z = 0.617 m$$

5.2 Empuje Horizontal de Sobre Carga

$$E_{sc} := q_v \cdot k_a \cdot (h_m) = 2.233 \frac{kN}{m}$$

$$E_{sc_h} := E_{sc} \cdot 1.6 = 3.573 \frac{kN}{m}$$

Condición del ensayo  $\rightarrow y_{sc_p} := \frac{(h_m)}{3} - h_z = 0.617 m$

Momento del empuje S1

$$M_{Es1_h} := E_{s1_h} \cdot y_{s1_p} = 33.219 \frac{kN \cdot m}{m}$$

Momento del empuje SC

$$M_{Esc_h} := E_{sc_h} \cdot y_{sc_p} = 2.204 \frac{kN \cdot m}{m}$$

5.3 Peso Propio Pantalla

$$A_{pant} := A_{muro} - b_m \cdot h_z = 2.052 m^2$$

$$PP_{pant} := A_{pant} \cdot \gamma_{HCP} = 42.743 \frac{kN}{m}$$

$$x_{cg_p} := \frac{b_c \cdot h_p \cdot \left(\frac{b_c}{2}\right) + \frac{1}{2} \cdot i_{tr} \cdot h_p \cdot \left(b_c + \frac{1}{3} i_{tr}\right)}{A_{pant}} = 0.381 m$$

$$e_{pant} := \frac{b_p}{2} - x_{cg_p} = 0.129 m$$

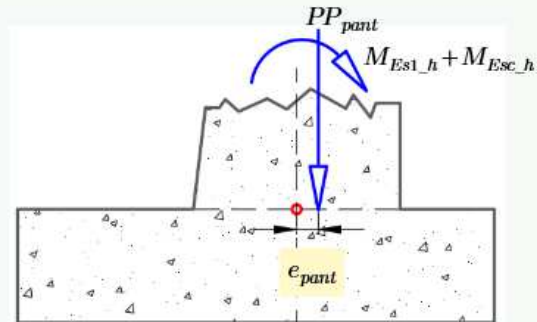
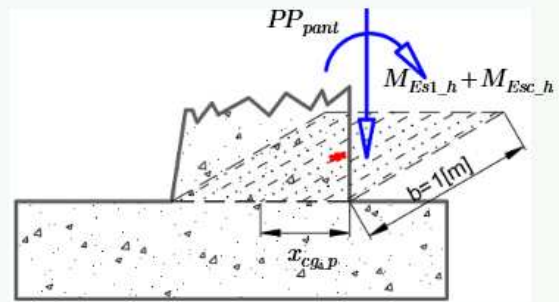
Momento del Peso Propio

$$M_{PP_{pant}} := PP_{pant} \cdot e_{pant} = 5.521 \frac{kN \cdot m}{m}$$

5.4 Momento aplicado en la pantalla para la fuerza F

$$M_u := M_{Es1_h} + M_{Esc_h} + M_{PP_{pant}}$$

$$M_u = 40.943 \frac{kN \cdot m}{m}$$

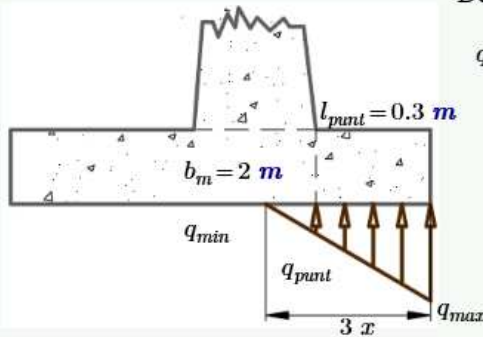


Verificación de Tensiones: UTILIZANDO UN HORMIGON  $f'_c := 11 MPa$

$$\sigma_c := \frac{PP_{pant}}{b_p \cdot 1} + \frac{6 \cdot M_u}{1 \cdot b_p^2} = 278.025 \frac{kN}{m^2} < f_{cd} := 0.45 f'_c = 4950 \frac{kN}{m^2} \text{ Cumple!!}$$

$$\sigma_t := \frac{PP_{pant}}{b_p \cdot 1} - \frac{6 \cdot M_u}{1 \cdot b_p^2} = -194.215 \frac{kN}{m^2} < f_{ct,d} := 0.25 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot MPa^{0.5} = 829.156 \frac{kN}{m^2} \text{ Cumple!!}$$

### 6. VERIFICACIÓN DE LA PUNTERA



Del análisis de tensiones de todo el muro (Tensiones para la fuerza F)

$$q_{max} = 189.586 \frac{kN}{m^2} \quad q_{min} := 0 \frac{kN}{m^2}$$

$$q_{punt} := \frac{3x - l_{punt}}{3x} \cdot (q_{max}) = 104.779 \frac{kN}{m^2}$$

$$V_{punt} := \frac{q_{max} + q_{punt}}{2} \cdot l_{punt} \cdot 1 m = 44.155 kN$$

Verificación de tensiones

$$x_{V_{punt}} := \frac{\frac{1}{2} \cdot l_{punt}^2 \left( q_{max} \cdot \frac{2}{3} + q_{punt} \cdot \frac{1}{3} \right) \cdot m}{V_{punt}} = 0.164 m \quad M_{punt} := V_{punt} \cdot x_{V_{punt}} = 7.259 kN \cdot m$$

Cumple!!

$$\sigma_{c\_punt} := \frac{6 \cdot M_{punt}}{1 m \cdot h_z^2} = 174.222 \frac{kN}{m^2} < f_{cd} := 0.45 f_c' = 4950 \frac{kN}{m^2}$$

Cumple!!

$$\sigma_{t\_punt} := -\frac{6 \cdot M_{punt}}{1 m \cdot h_z^2} = -174.222 \frac{kN}{m^2} < f_{ct,d} := 0.25 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot MPa^{0.5} = 829.156 \frac{kN}{m^2}$$

### 7. VERIFICACIÓN DEL TALON

Para esta verificación el único que produce tensión es el peso propio, por tanto:

$$M_{talon} := h_z \cdot \gamma_{HCP} \cdot 1 m \cdot \frac{t_m^2}{2} = 2.408 kN \cdot m$$

$$\sigma_{c\_punt} := \frac{6 \cdot M_{talon}}{1 m \cdot h_z^2} = 57.791 \frac{kN}{m^2} < f_{cd} := 0.45 f_c' = 4950 \frac{kN}{m^2} \quad \text{Cumple!!}$$

$$\sigma_{t\_punt} := -\frac{6 \cdot M_{talon}}{1 m \cdot h_z^2} = -57.791 \frac{kN}{m^2} < f_{ct,d} := 0.25 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot MPa^{0.5} = 829.156 \frac{kN}{m^2} \quad \text{Cumple!!}$$

### A3.7 Cálculo de encofrado para muro de contención

#### A3.7.1 Pantalla de muro

Cálculo de encofrado, muro de contención ciclópeo pet, con una altura de vaciado de  $h_m := 1.5 \text{ m}$

Datos a usar:

\* Tableros contrachapados fenólicos (colamarina)

$$e_{tab} := 16.65 \text{ mm} , \sigma_{flex\_tab} := 14 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} , E_{tab} := 5800 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} , b_{tab} := 1 \text{ m}$$

\* Pies derechos y cepos con madera tipo "B"

$$\sigma_{flex\_B} := 150 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} , E_B := 75000 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} , \tau_{corte\_B} := 12 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

\* Tirantes:  $\sigma_{acero} := 420 \text{ MPa}$  ,

\* **Diseño del tablero contrachapado:**

Asumimos una carga uniforme hidrostática máxima en la base de:

$$q_{tab} := 23 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot (h_m - 0.5 \text{ m}) \cdot 1 \text{ m} = 23 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Flexión: Distancia entre Pies derechos:  $l_{pie} := \sqrt{\frac{5}{3} \cdot \frac{\sigma_{flex\_tab} \cdot b_{tab} \cdot e_{tab}^2}{q_{tab}}} = 0.53 \text{ m}$

Deflexión: Distancia entre Pies derechos:  $l_{pie} := \sqrt[3]{\frac{4}{135} \cdot \frac{E_{tab} \cdot b_{tab} \cdot e_{tab}^3}{q_{tab}}} = 0.326 \text{ m}$

Separación entre Pies derechos  $s_{pie} := 32.5 \text{ cm}$

\* **Diseño de pies derechos:** Separación entre Cepos  $s_{cepos} := 0.468 \text{ m}$

Asumimos una carga uniforme hidrostática máxima en la base de:

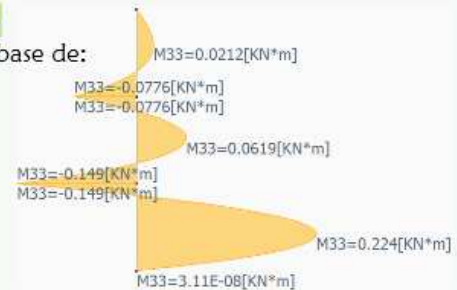
$$q_{pie} := 23 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot h_m \cdot s_{pie} = 11.213 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M_{max\_pie} := \frac{1}{10} \cdot q_{pie} \cdot s_{cepos}^2 = 0.246 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$w_{nec\_pie} := \frac{M_{max\_pie}}{\sigma_{flex\_B}} = 16.695 \text{ cm}^3$$

Adoptamos una sección: (Utilizando la tabla del pacto andino)

Sección: 1"x4"  $w_{secc} := 33.8 \text{ cm}^3$   $A_{secc} := 22.5 \text{ cm}^2$   $I_{x\_secc} := 151.9 \text{ cm}^4$



Verificación a corte:

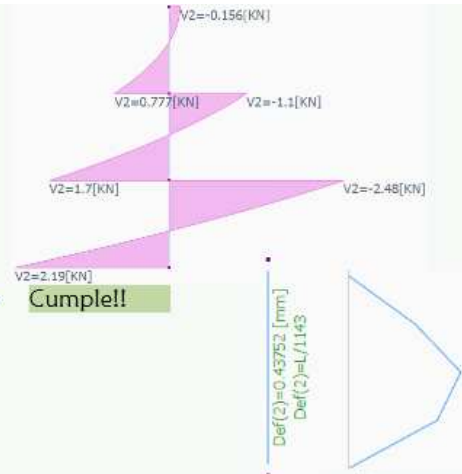
$$Q := q_{pie} \cdot \frac{s_{cepos}}{2} = 2.624 \text{ kN}$$

$$\tau := \frac{3}{2} \cdot \frac{Q}{A_{secc}} = 17.836 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad \tau_{adm} := 12 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Verificación Deformación:

$$\delta_{secc} := \frac{1}{128} \cdot \frac{q_{pie} \cdot s_{cepos}^4}{E_B \cdot I_{x_{secc}}} = 0.376 \text{ mm} \quad \delta_{adm} := \frac{s_{cepos}}{360} = 1.3 \text{ mm}$$

$$\delta_{secc} := \frac{1}{128} \cdot \frac{q_{pie} \cdot (0.5 \text{ m})^4}{E_B \cdot I_{x_{secc}}} = 0.49 \text{ mm}$$



\* **Diseño de cepos:** Separación entre tirantes  $s_{tirantes} := 0.5 \text{ m}$

Asumimos una carga uniforme hidrostática máxima en la base de:

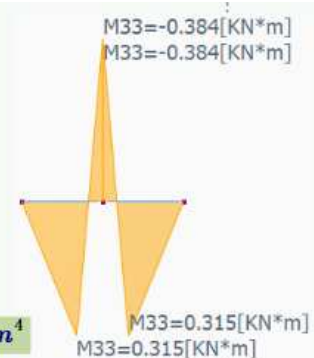
$$q_{cepos} := 23 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot h_m \cdot s_{cepos} = 16.146 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M_{max\_cepo} := \frac{1}{10} \cdot q_{cepos} \cdot s_{tirantes}^2 = 0.404 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$w_{nec\_cepo} := \frac{M_{max\_cepo}}{\sigma_{flex.B}} = 27.441 \text{ cm}^3$$

Adoptamos una sección: (Utilizando la tabla del pacto andino)

Sección: 2\*(1"x3")  $w_{secc} := 2 \cdot 17.6 \text{ cm}^3$   $A_{secc} := 2 \cdot 16.3 \text{ cm}^2$   $I_{x_{secc}} := 2 \cdot 57.2 \text{ cm}^4$



Verificación a corte:

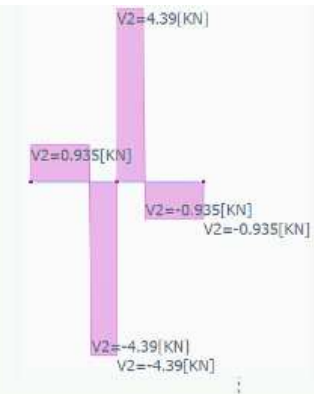
$$Q := 0.55 \cdot q_{cepos} \cdot s_{tirantes} = 4.44 \text{ kN}$$

$$\tau := \frac{3}{2} \cdot \frac{Q}{A_{secc}} = 20.833 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad \tau_{adm} := 12 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Verificación Deformación:

$$\delta_{secc} := \frac{1}{128} \cdot \frac{q_{cepos} \cdot s_{tirantes}^4}{E_B \cdot I_{x_{secc}}} = 0.094 \text{ cm} \quad \delta_{adm} := \frac{s_{cepos}}{360} = 0.13 \text{ cm}$$

Cumple!!



\* **Diseño de tirante**  $\sigma_{acero} = 420 \text{ MPa}$

$$F_{tirante} := 9.35 \text{ kN}$$

$$A_{tirante} := \frac{F_{tirante}}{\sigma_{acero}} = 0.223 \text{ cm}^2, \quad d := \sqrt{\frac{A_{tirante} \cdot 4}{\pi}} = 0.532 \text{ cm}$$

$$\phi_{tirante} := 6 \text{ mm}$$

### A3.7.2 Cimentación de muro de contención

Cálculo de encofrado, zapata del muro de contención, con una altura de vaciado de  $h_m := 0.5 \text{ m}$

Datos a usar:

\* Tableros contrachapados fenólicos (colamarina)

$$e_{tab} := 18.65 \text{ mm}, \quad \sigma_{flex\_tab} := 112.24 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}, \quad E_{tab} := 61224.5 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}, \quad b_{tab} := 1 \text{ m}$$

\* Pies derechos y cepos con madera tipo "B"

$$\sigma_{flex\_B} := 150 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}, \quad E_B := 75000 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}, \quad \tau_{corte\_B} := 12 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

\* Tirantes:  $\sigma_{acero} := 420 \text{ MPa}$ ,

\* **Diseño del contrachapado:**

Asumimos una carga uniforme hidrostática máxima en la base de:

$$q_{tab} := 23 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot h_m \cdot 1 \text{ m} = 11.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Flexión: Distancia entre Pies derechos:  $l_{pie} := \sqrt{\frac{5}{3} \cdot \frac{\sigma_{flex\_tab} \cdot b_{tab} \cdot e_{tab}^2}{q_{tab}}} = 0.745 \text{ m}$

Deflexión: Distancia entre Pies derechos:  $l_{pie} := \sqrt[3]{\frac{4}{135} \cdot \frac{E_{tab} \cdot b_{tab} \cdot e_{tab}^3}{q_{tab}}} = 0.465 \text{ m}$

Separación entre Pies derechos  $s_{pie} := 49.75 \text{ cm}$

\* **Diseño de pies derechos:** Separación entre APOYOS  $s_{cepos} := 0.5 \text{ m}$

Asumimos una carga uniforme hidrostática máxima en la base de:

$$q_{pie} := 23 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot h_m \cdot s_{pie} = 5.721 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M_{max\_pie} := \frac{1}{8} \cdot q_{pie} \cdot s_{cepos}^2 = 0.179 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad w_{nec\_pie} := \frac{M_{max\_pie}}{\sigma_{flex\_B}} = 12.154 \text{ cm}^3$$

Adoptamos una sección: (Utilizando la tabla del pacto andino)

Sección: 1"x4"  $w_{secc} := 33.8 \text{ cm}^3$   $A_{secc} := 22.5 \text{ cm}^2$   $I_{x\_secc} := 151.9 \text{ cm}^4$

Verificación a corte:

$$Q := q_{pie} \cdot \frac{s_{cepos}}{2} = 1.43 \text{ kN}$$

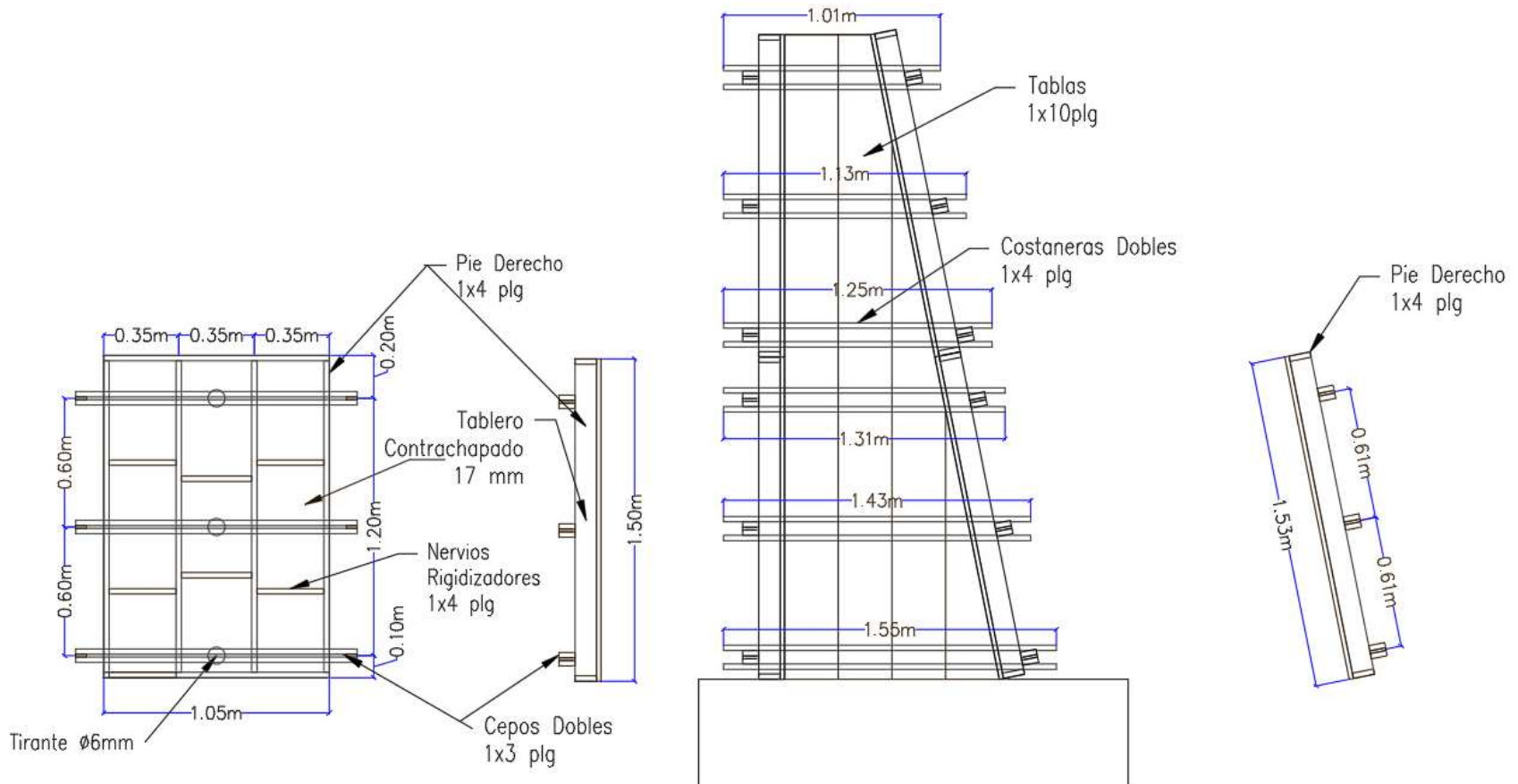
$$\tau := \frac{3}{2 \cdot A_{secc}} \cdot (Q) = 9.723 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad \tau_{adm} := 12 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Verificación Deformación:

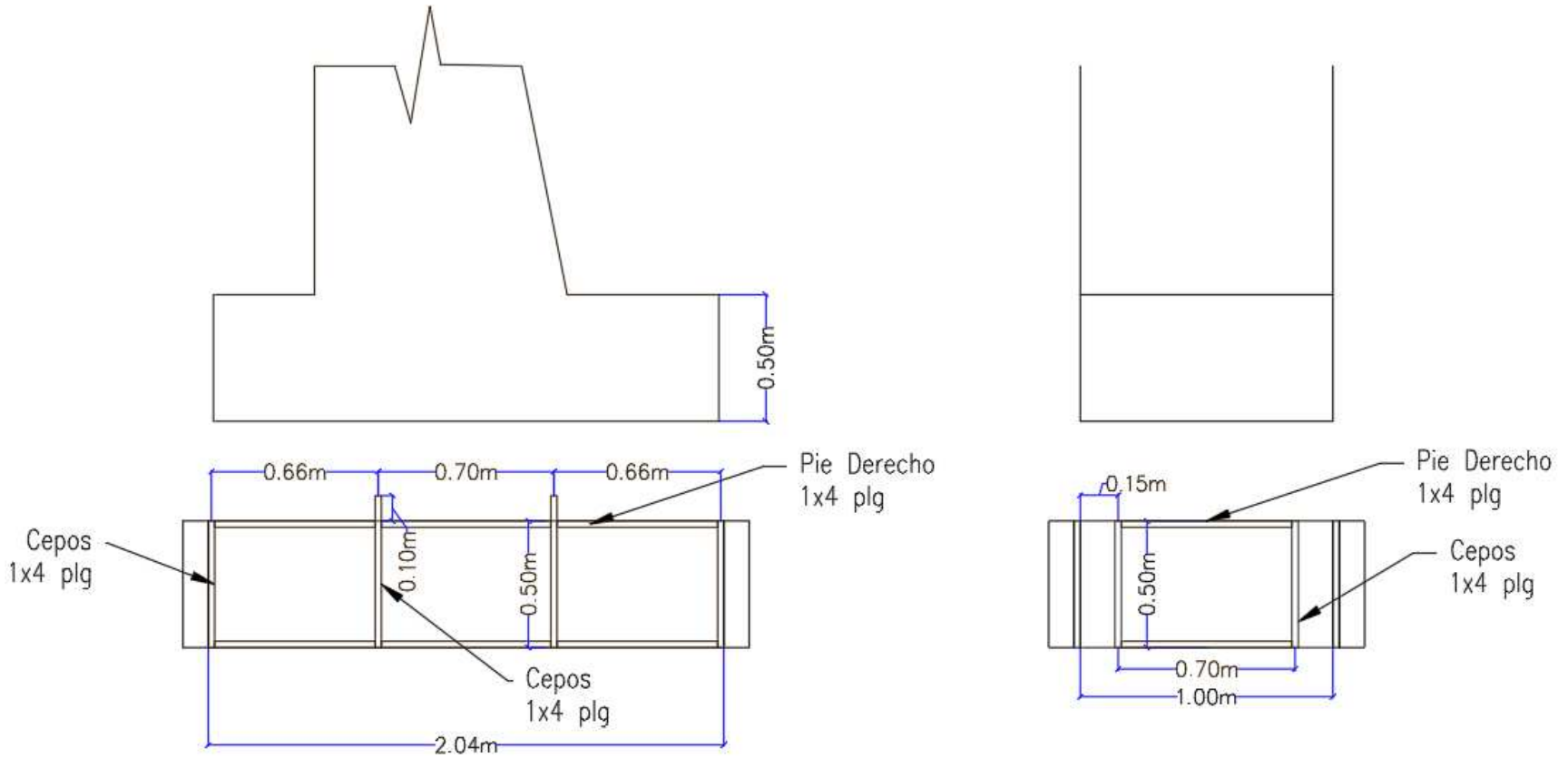
$$f_{secc} := \frac{1}{128} \cdot \frac{q_{pie} \cdot s_{cepos}^4}{E_B \cdot I_{x\_secc}} = 0.025 \text{ cm} \quad f_{adm} := \frac{s_{cepos}}{360} = 0.139 \text{ cm} \quad \text{Cumple!!}$$

A3.7.3 Plano encofrado de madera

PANTALLA



CIMENTACIÓN



## **ANEXO A4**

# MANUAL DE CONSTRUCCIÓN



## “MANUAL DE CONSTRUCCIÓN PARA UN MURO DE CONTENCIÓN DE HCP”

El presente manual toma como referencia los documentos:

MANUAL DE CONSTRUCCIÓN PARA UN MURO DE CONTENCIÓN DE HCP  
“BOTELLAS EN POSICIÓN HORIZONTAL Y VERTICAL”  
“MANUAL DE CONSTRUCCIÓN DE UN MURO DE CONTENCIÓN DE HCP”

### A4.1 Introducción

Éste manual describe el procedimiento de construcción de un muro de contención con botellas plásticas pet (HCP) como elemento desplazador, las cuales son rellenas con el material proveniente de la excavación,

### A4.2 Materiales, herramientas y equipos

Los materiales utilizados son cemento, agregado fino, agregado grueso, botellas plásticas de 2, 2,5 y 3 litros, encofrado de construcción, clavos y tierra cernida proveniente de la excavación, Las herramientas serán las requeridas por el constructor utilizando mínimamente picota, pala, sierra mecánica, manguera, martillo, flexómetro, hilo, badilejo, En cuanto a los equipos mínimamente se utilizará vibradora y mezcladora.

### A4.3 Forma de ejecución

#### A4.3.1 Preparación de la cota de fundación

A criterio del constructor con el equipo y/o herramientas adecuadas, El replanteo y trazado de las fundaciones, así como los volúmenes de excavación deberán ceñirse estrictamente a las dimensiones y niveles de fundación en los planos, El método de trabajo elegido no deberá afectar ni causar daños en las estructuras aledañas.

**Figura A4.1 Excavación.**  
**Fuente:** Elaboración Propia



Para la excavación con maquinaria se recomienda de 10 a 20 cm por encima de la cota de fundación para posteriormente perfilarlo manualmente.

**Figura A4.2 Carpeta de nivelación.**

**Fuente:** Elaboración Propia



Con la finalidad de nivelar y evitar que el hormigón se contamine durante el vaciado del cimiento del muro se debe vaciar una carpeta de nivelación de 5 a 10 cm.

Es importante realizar un ensayo SPT (Standard Penetration Test) en la cota de fundación para verificar la capacidad de soporte del terreno y compararlo con el de diseño.

**A4.3.2 Llenado de botellas**

Las botellas plásticas a emplear son de 2,00 2,50 y 3,00 litros de capacidad mismas que deberán encontrarse en buenas condiciones (sin perforaciones) y poseer su respectiva tapa para un cerrado hermético.

**Figura A4.3 Tamizado de tierra.**

**Fuente:** Elaboración Propia



El cernido de tierra se realizará con el material de excavación con un tamiz de  $\frac{3}{4}$ , obteniendo un material que pueda ingresar por la boquilla de la botella sin ningún problema

**Figura A4.4** Llenado y compactado de botellas.

**Fuente:** Elaboración Propia



Para una buena compactación del material de relleno en la botella se lo apisonó en 3 capas cada una con 25 golpes utilizando una varilla metálica (16 mm de diámetro, 60[cm] de largo y extremo redondeado) y golpeando las botellas contra el piso.

(Se tiene un similar resultado utilizando barras de construcción con un diámetro mayor a 10 mm)

Llenada y compactada la botella se procede al cerrado hermético.

**A4.3.3** Encofrado

Es recomendable utilizar en la cara vista del muro madera del tipo tablero contrachapado fenolítico o calamina plana galvanizada con el fin de obtener un acabado agradable a la vista,

**Figura A4.5** Encofrado de madera.

**Fuente:** Elaboración Propia



Construidos los encofrados se debe pintar con aceite de automóvil sucio en la superficie de contacto con el hormigón y en menor proporción en la superficie externa, así evitar la adherencia con el hormigón, conservar el encofrado y obtener un buen acabado.

**A4.3.4** Replanteo de la cimentación sobre la carpeta de nivelación,

Con las herramientas adecuadas se procede al replanteo de la cimentación para posteriormente colocar el encofrado, el cual debe estar debidamente asegurado y apuntalado, (Es muy buena práctica colocar tornillos de expansión para una mejor sujeción y no tenga fallas durante el vibrado o vaciado)

**Figura A4.6** Replanteo de cimentación.  
**Fuente:** Elaboración Propia



**Figura A4.7** Colocado de encofrado.  
**Fuente:** Elaboración Propia



#### A4.3.5 Vaciado de los muros de hormigón ciclópeo pet, (HCP)

Para el hormigonado se recomienda utilizar una dosificación por peso para obtener un hormigón endurecido de la resistencia especificada de proyecto con mayor calidad.

**Figura A4.8** Primera camada de botellas.  
**Fuente:** Elaboración Propia



Primeramente, se debe vaciar una capa de 10 cm de mezcla de hormigón con el respectivo vibrado, posteriormente colocar una primera camada de botellas en posición errática cuidando una separación entre estas no menor a 2 cm y una separación del encofrado no menor a 8 cm.

**Figura A4,9** Segunda capa de hormigón.  
**Fuente:** Elaboración Propia



Colocar una segunda capa de mezcla de hormigón hasta cubrir las botellas, posteriormente realizar el vibrado, Luego colocar una segunda camada de botellas, Repetir el proceso hasta alcanzar la altura de vaciado.

**Figura A4,10** Botellas de espera.  
**Fuente:** Elaboración Propia



Para que exista una mejor adherencia entre el vaciado del cemento y el cuerpo del muro se colocó botellas en posición inclinada con tendencia a la verticalidad, así estos funcionarían como llaves de corte, Estas botellas de espera son colocadas en una sección igual a las dimensiones de la base de pantalla restando 8 a 10 cm a cada lado,

**Figura A4.11** Encofrado cuerpo de muro.  
**Fuente:** Elaboración Propia



Dispuesto el encofrado del cuerpo sobre su cimentación, antes del vaciado se debe echar con agua no contaminada para limpiar impurezas, así como polvo o tierra, Para el vaciado del cuerpo se sigue el procedimiento antes descrito.

#### A4.3.6 Desencofrado y curado del muro.

El desencofrado se debe realizar cuando la estructura alcance una resistencia necesaria capaz de soportar su peso propio.

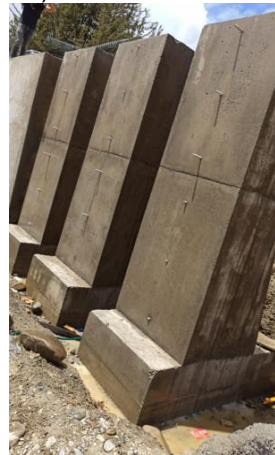
Para el curado de la estructura se puede optar por un regado continuo, siete veces al día durante 3 semanas.

**Figura A4.12** Desencofrado y curado,  
**Fuente:** Elaboración Propia

a) Desencofrado



b) Curado de muro

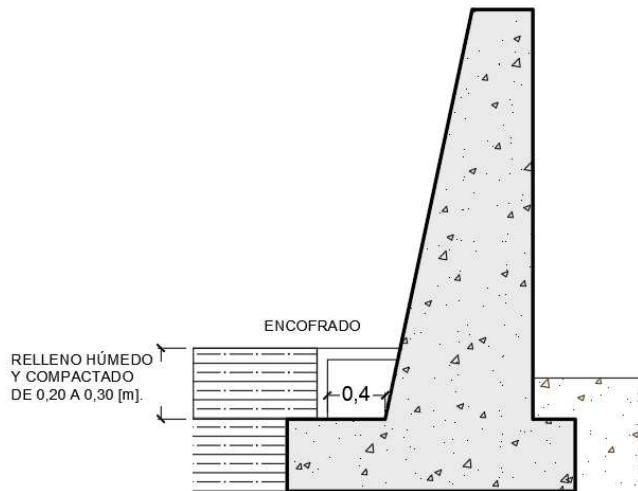


#### A4.4 Relleno.

Una vez que el hormigón haya alcanzado la resistencia adecuada, se deberá colocar la capa drenante y el relleno para garantizar la durabilidad de la estructura.

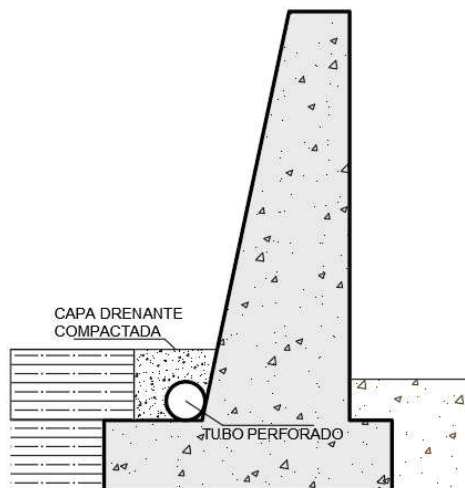
El procedimiento se muestra a continuación:

**Figura A4.13** 1ra capa de relleno compactado,  
**Fuente:** Elaboración Propia



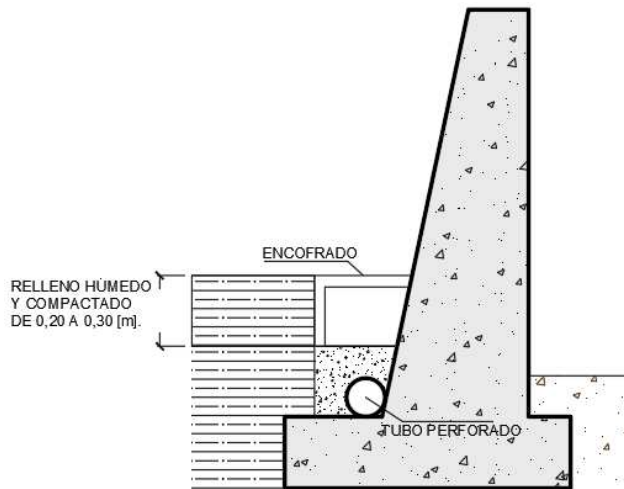
Se debe colocar un encofrado como se muestra en la figura para evitar que la capa drenante sea contaminada por el relleno, Colocar el relleno por capas de 0,20 a 0,30 m, y humedecer cada una hasta llegar a la humedad óptima y compactarlas hasta llegar a un grado de compactación del 90 o 95% del ensayo Proctor Standard. La compactación deberá ser mecánica (para  $e = 0,30$  m) o manual (para  $e = 0,20$  m), ésta última deberá ser minuciosa y uniforme.

**Figura A4.14** 1ra capa de material drenante.  
**Fuente:** Elaboración Propia



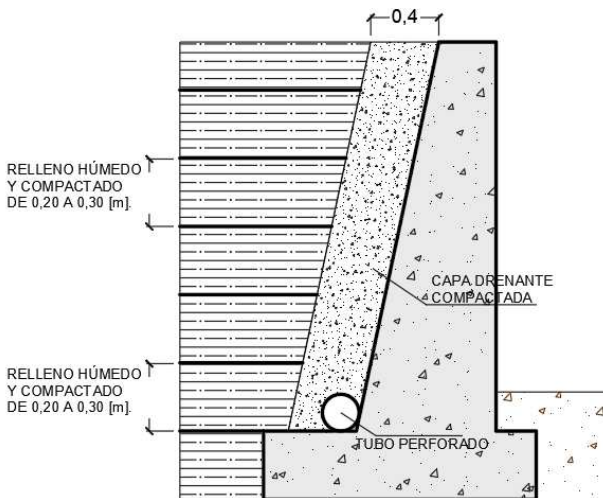
Retirar el encofrado y colocar un tubo perforado. Luego, colocar la primera capa drenante en toda la longitud del muro de contención y ésta deberá también ser compactada.

**Figura A4,15** 2da capa de relleno compactado.  
**Fuente:** Elaboración Propia



Colocar el encofrado y una segunda capa de relleno y compactarla de la forma ya indicada, luego retirar el encofrado y colocar la segunda capa drenante.

**Figura A4,16** Relleno terminado,  
**Fuente:** Elaboración Propia



Se debe realizar todo el proceso anteriormente indicado para cada una de las capas, hasta alcanzar la altura del muro de contención, lo cual es recomendable para evitar la presión hidrostática sobre el muro. Por otro lado, un tubo perforado es una mejor solución que el uso de las barbacanas, ya que, por ellas, además de salir agua que se infiltra en el terreno, se arrastra también material fino, produciéndose asentamiento en el relleno, El tubo perforado deberá conectarse al sistema de alcantarillado.



## **ANEXO A5**

# **RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE CARGA**

### A5.1 Anillo dinamométrico

EQUIPO ANILLO DINANOMETRICO  
CAPACIDAD 10000 lb

RESOLUCIÓN DEL EXTENSÓMETRO  
CORRIDA DEL EXTENSÓMETRO  
EQUIPO DE CALIBRACIÓN

0,01 mm  
3 cm  
MÁQUINA UNIVERSAL DE  
ENSAYOS “AMSLER”

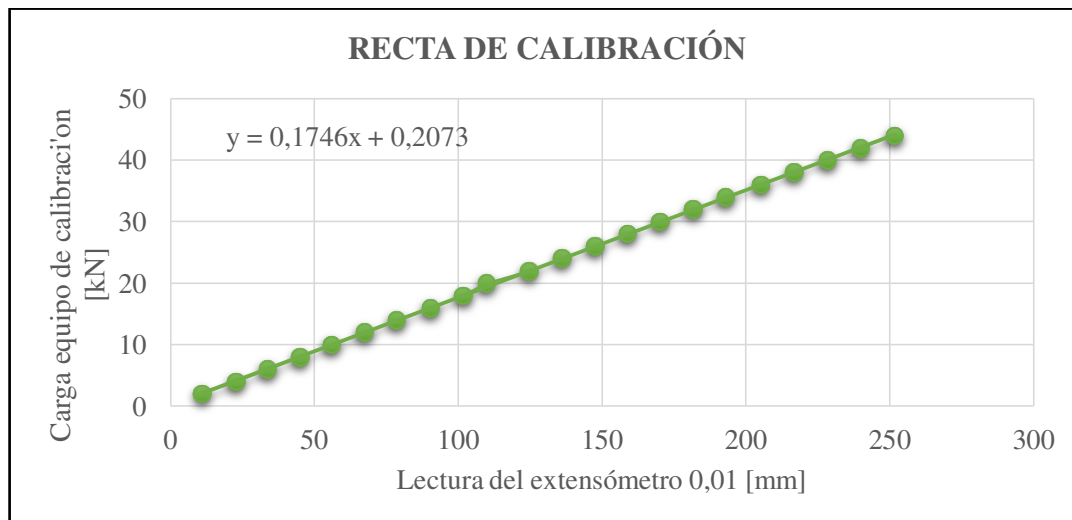
**Cuadro A5.1** Calibración de anillo dinamométrico.

**Fuente:** Elaboración Propia.

CARGA EQUIPO DE CALIBRACION [kN]	LECTURAS EXTENSOMETRO x 0,01mm			PROMEDIO
	I	II	III	
2	10.5	11	11.5	11
4	22.5	23	23	23
6	33	34	34.5	34
8	44.5	45.5	45.5	45
10	55	56.5	56.5	56
12	67	67.5	68	68
14	78	79	79	79
16	90	91	90.5	91
18	101.5	102	102	102
20	103	113.5	113.5	110
22	124	125	125	125
24	136	136	136.5	136
26	147.5	147.5	148	148
28	158.5	159	159.5	159
30	170	170.5	170.5	170
32	181.5	182	182	182
34	193	192.5	193.5	193
36	205	205.5	205.5	205
38	216.5	217	217	217
40	228	228.5	229	229
42	240	240	240	240
44	251.5	252	252	252

**Figura A5.1** Recta de calibración Anillo dinamométrico.

**Fuente:** Elaboración Propia.



## A5.2 Gato hidráulico

**Cuadro A5.2** Calibración gato hidráulico.

**Fuente:** Elaboración Propia.

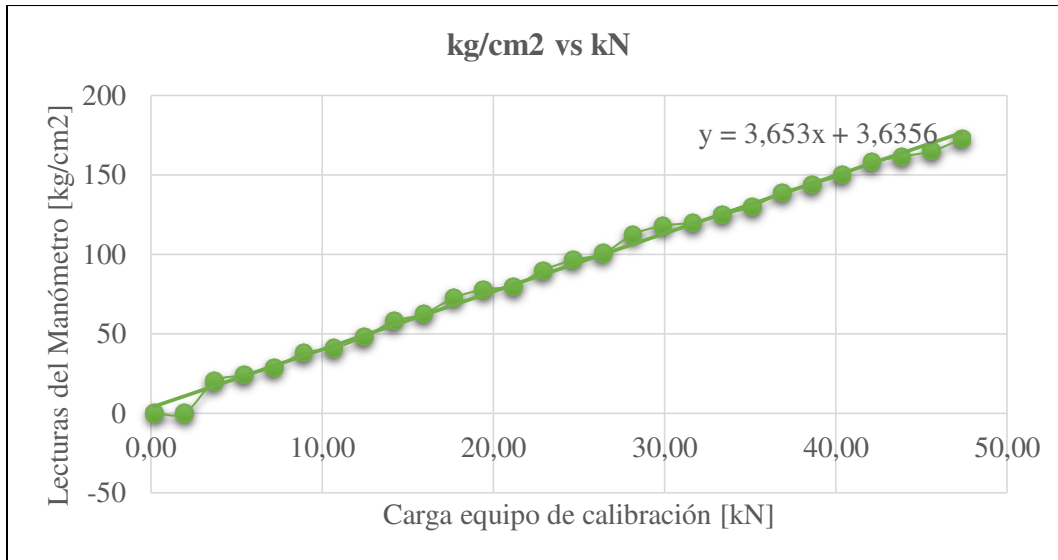
Carga equipo de calibracion [kN]	Lectura del extensometro x 0.01[mm]	1ra Lectura manometro del gato hidraulico [kg/cm <sup>2</sup> ]	2da Lectura manometro del gato hidraulico [kg/cm <sup>2</sup> ]	Lectura promedio del manómetro [kg/cm <sup>2</sup> ]
0.21	0	0	0	0
1.95	10	0	0	0
3.70	20	20	20	20
5.44	30	23	25	24
7.19	40	28	30	29
8.94	50	38	38	38
10.68	60	40	42	41
12.43	70	45	51	48
14.17	80	58	58	58
15.92	90	60	65	63
17.66	100	70	75	73
19.41	110	78	78	78
21.16	120	80	80	80
22.90	130	90	90	90
24.65	140	95	98	97
26.39	150	100	101	101
28.14	160	110	115	113
29.88	170	118	118	118
31.63	180	120	120	120
33.38	190	125	125	125
35.12	200	130	130	130
36.87	210	138	140	139
38.61	220	143	145	144
40.36	230	150	150	150
42.10	240	158	158	158
43.85	250	160	163	162
45.60	260	165	165	165
47.34	270	170	175	173

El empuje calculado  $E=35,90 \text{ kN} \approx 36 \text{ kN}$  equivalente a una presión de  $135 \text{ kg/cm}^2$ , sin embargo, en el ensayo debemos ejercer una fuerza de  $F=1,6 \cdot E=57,44 \text{ kN}$  que equivale a una presión de  $213,50 \text{ kg/cm}^2$ .

Por tanto, la presión será de  $220 \text{ kg/cm}^2$ .

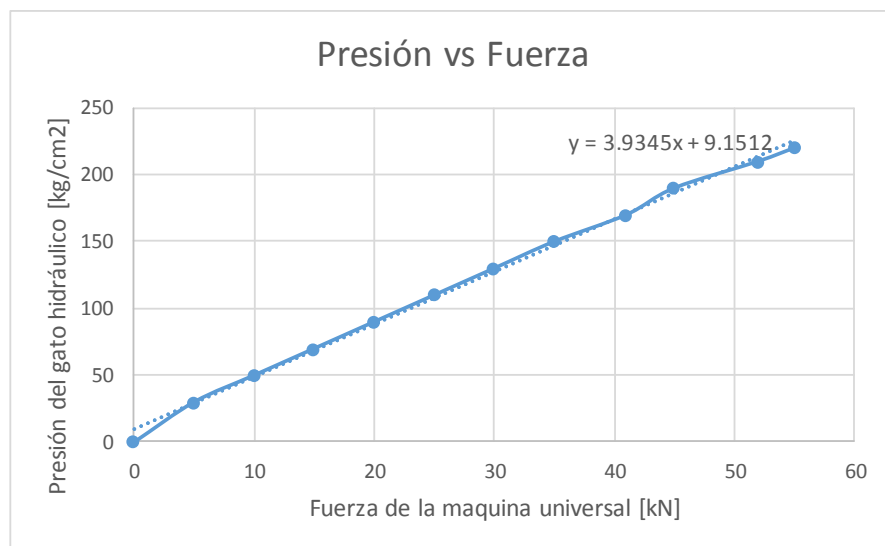
**Figura A5.2** Recta de calibración gato hidráulico.

**Fuente:** Elaboración Propia.



Se realizó una calibración con la maquina universal del laboratorio de materiales que dan resultados muy similares al realizado en con la maquina universal de ensayos Amsler.

Maquina Universal [kN]	Gato Hidráulico [kg/cm <sup>2</sup> ]
0	0
5	30
10	50
15	70
20	90
25	110
30	130
35	150
41	170
45	190
52	210
55	220



### A5.3 Lecturas de extensómetros

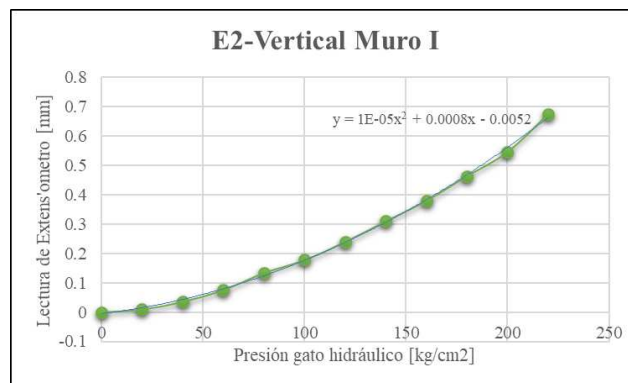
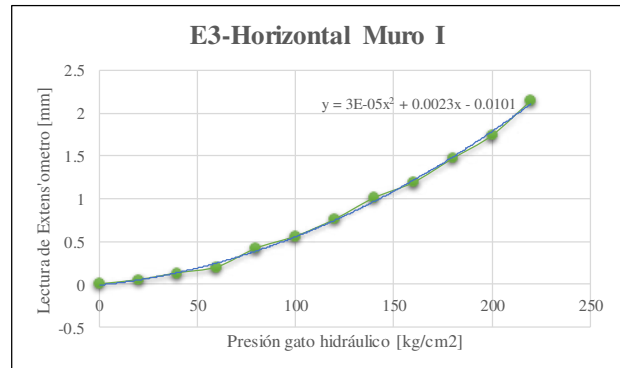
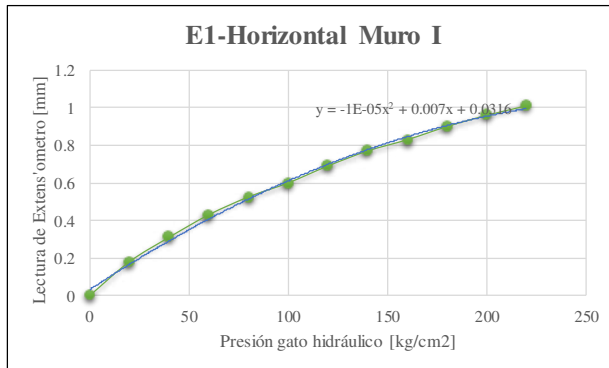
**Cuadro A5.3** Lecturas de extensómetros

Fuente: Elaboración Propia.

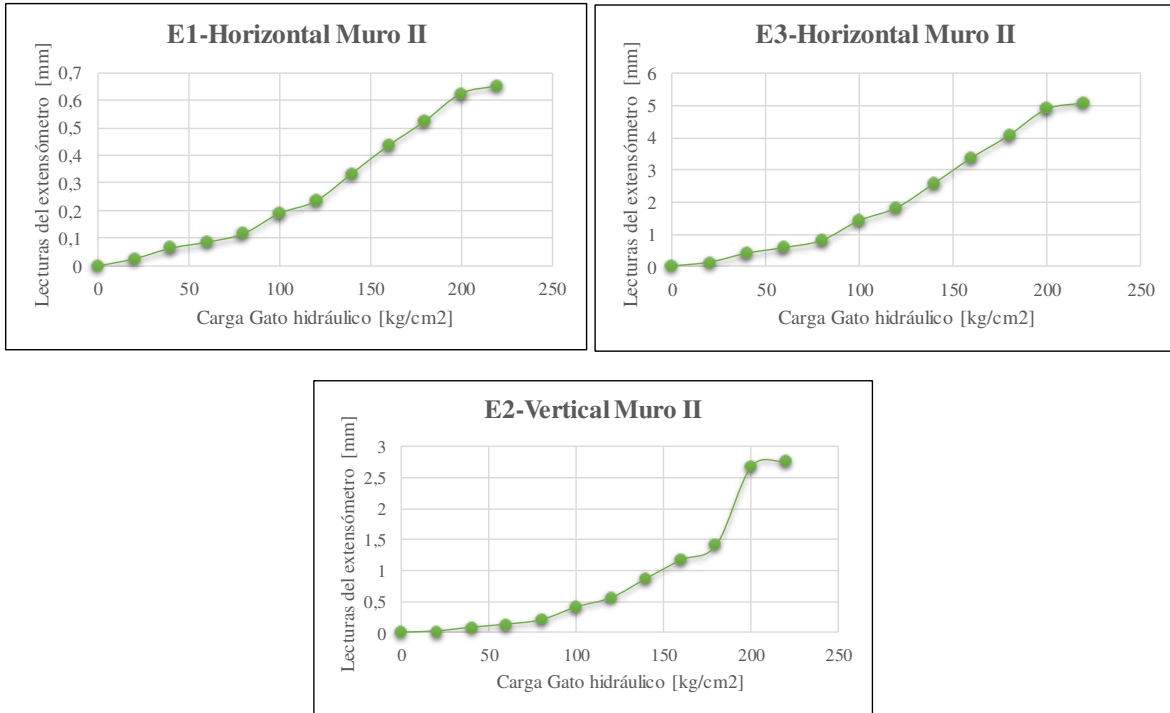
Gato Hidráulico [kg/cm <sup>2</sup> ]	MURO I			MURO II			MURO III		
	E1 [mm]	E2 [mm]	E3 [mm]	E1 [mm]	E2 [mm]	E3 [mm]	E1 [mm]	E2 [mm]	E3 [mm]
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
20	0,180	0,010	0,050	0,026	0,018	0,120	0,008	0,069	0,290
40	0,310	0,036	0,130	0,064	0,078	0,400	0,076	0,236	0,910
60	0,430	0,076	0,200	0,086	0,128	0,580	0,080	0,510	1,850
80	0,525	0,134	0,420	0,116	0,200	0,800	0,092	0,845	2,950
100	0,600	0,178	0,560	0,190	0,408	1,420	0,095	1,368	4,700
120	0,690	0,240	0,760	0,234	0,558	1,820	0,095	1,800	6,050
140	0,770	0,310	1,010	0,334	0,870	2,580	0,096	2,700	9,100
160	0,830	0,380	1,190	0,434	1,170	3,380	0,096	3,965	12,450
180	0,900	0,464	1,470	0,522	1,410	4,080	0,096	5,715	15,750
200	0,960	0,546	1,740	0,622	2,680	4,900	0,096	7,650	19,300
220	1,010	0,675	2,150	0,650	2,760	5,100	0,096	10,050	23,250

**Figura A5.3** Lecturas extensómetros Muro I.

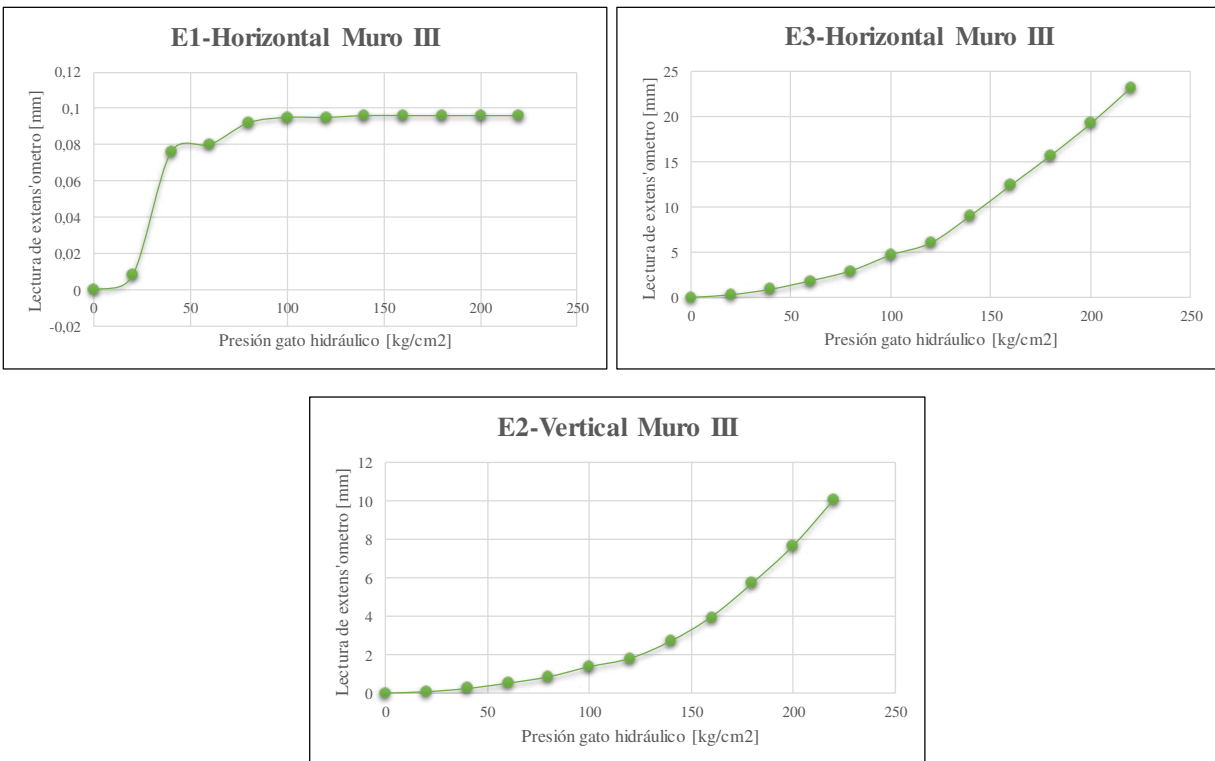
Fuente: Elaboración Propia.



**Figura A5.4** Lecturas extensómetros Muro II.  
**Fuente:** Elaboración Propia.



**Figura A5.5** Lecturas extensómetros Muro III.  
**Fuente:** Elaboración Propia.



## **ANEXO A6**

# **ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

Para el cálculo de precios unitarios se analizó desde dos puntos de vista.

Costo directo, en caso de autoconstrucción.

Costo total, para el caso de construcción que esté a cargo de una empresa constructora, en la cual intervienen gastos generales y administrativos, utilidad e impuestos.

**Cuadro A6.1** Actividad: HCP - Hormigón ciclópeo con botellas pet.

**Fuente:** Elaboración propia.

MATERIALES A INTERVENIR POR 1 [m <sup>3</sup> ] DE HCP	Unidad	Cantidades
VOLUMEN DE HORMIGÓN	m <sup>3</sup>	0,72
VOLUMEN DE ARENA CORRIENTE	m <sup>3</sup>	0,24
VOLUMEN DE GRAVA	m <sup>3</sup>	0,24
VOLUMEN DE CEMENTO	kg	167
VOLUMEN DE AGUA	m <sup>3</sup>	0,15
NÚMERO DE BOTELLAS	PZA	104

DETERMINACIÓN DE LOS TIEMPOS DE EJECUCIÓN

	ALBAÑIL	AYUDANTE	PEÓN
ENCOFRADO			
TIEMPO DE ENCOFRADO	145	145	15
DESENCOFRADO			
TIEMPO DE DESENCOFRADO	95	95	10
LLENADO DE BOTELLAS			
TIEMPO DE LLENADO	0	65	312
VACIADO DEL HCP			
TIEMPO DE VACIADO	75	115	30
TIEMPO TOTAL DE PRODUCCIÓN	315	420	367
PRODUCCIÓN [m <sup>3</sup> /h]	PR=C*fc/tp		
	0,190	0,143	0,163
RENDIMIENTO [h/m <sup>3</sup> ]	5,25	7,00	6,12



ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

**Cuadro A6.2** Precios referenciales - Gestión 2020 (Costos directos).

**Fuente:** GOBIERNO AUTÓNOMO MUNICIPAL DE LA PAZ.

Actividad: H°C° CON 30% DE PIEDRA DESPLAZADORA DOSIF 1 : 3 : 4

Unitario: m<sup>3</sup>

Cantidad: 1,00

Moneda: Bolivianos

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Bs,	Total Bs,
<b>1.- MATERIALES</b>				
ARENA CORRIENTE	m3	0,41300	110,000	45,43
CEMENTO PORTLAND IP-30	kg	192,69700	0,870	167,65
CLAVOS	kg	0,31900	9,740	3,11
GRAVA COMÚN	m3	0,55100	90,000	49,59
MADERA DE CONSTRUCCIÓN (3 USOS)	p2	9,89820	5,000	49,49
PIEDRA BRUTA	m3	0,31200	115,000	35,88
<b>TOTAL MATERIALES</b>				<b>351,15</b>
<b>2.- MANO DE OBRA</b>				
ALBAÑIL DE PRIMERA	Hrs	6,00000	20,120	120,72
AYUDANTE	Hrs	6,80000	14,710	100,03
BENEFICIOS SOCIALES - %			0%	0
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO - %			0%	0
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>220,75</b>
<b>3.- EQUIPO Y MAQUINARIA</b>				
MEZCLADORA	HR,	0,50000	17,500	8,75
VIBRADORA	HR,	0,50000	13,750	6,88
HERRAMIENTAS - % DE LA MANO DE OBRA			5,00%	11,04
<b>TOTAL EQUIPO Y MAQUINARIA</b>				<b>26,67</b>
<b>TOTAL PRECIO UNITARIO (Numeral)</b>				<b>598,57</b>

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

**Cuadro A6.3** Precios referenciales - Gestión 2022 (Costos directos).

**Fuente:** INSUCONS – SANTA CRUZ.

**Actividad:** H°C° CON 30% DE PIEDRA DESPLAZADORA

**Unitario:** m<sup>3</sup>

**Cantidad:** 1,00

Moneda: Bolivianos

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Bs,	Total Bs,
<b>1.- MATERIALES</b>				
ARENA CORRIENTE	M3	0,41300	100,000	41,30
CEMENTO PORTLAND IP-30	KG	192,69700	1,200	231,24
CLAVOS	KG	0,31900	13,000	4,15
RIPIO RODADO	M3	0,55100	170,000	93,67
MADERA DE CONSTRUCCIÓN	P2	9,89820	8,000	79,19
PIEDRA BRUTA	M3	0,31200	192,000	59,90
<b>TOTAL MATERIALES</b>				<b>509,45</b>
<b>2.- MANO DE OBRA</b>				
MAESTRO ALBAÑIL	HR,	6,00000	18,750	112,50
AYUDANTE	HR,	8,00000	12,500	100,00
BENEFICIOS SOCIALES - %			0,00%	0,00
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO - %			0,00%	0,00
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>212,50</b>
<b>3.- EQUIPO Y MAQUINARIA</b>				
MEZCLADORA	HR,	0,50000	30,000	15,00
VIBRADORA	HR,	0,50000	22,000	11,00
HERRAMIENTAS - % DE LA MANO DE OBRA			5,00%	10,63
<b>TOTAL UTILIDAD</b>				<b>36,63</b>
<b>TOTAL PRECIO UNITARIO</b> Numeral)				<b>758,58</b>

**Cuadro A6.4** Precios referenciales - Gestión 2022 (Costos directos).

**Fuente:** Elaboración Propia.

**Actividad:** HoCoP CON 30% DE BOTELLA DESPLAZADORA

**Unitario:** m<sup>3</sup>

**Cantidad:** 1,00

**Moneda:** Bolivianos

Descripción	Unidad,	Cantidad,	Precio Bs,	Total Bs,
<b>1,- MATERIALES</b>				
ARENA CORRIENTE	M3	0,24000	110,000	26,40
CEMENTO PORTLAND IP-30	KG	167,00000	0,870	145,29
CLAVOS	KG	0,50000	9,740	4,87
GRAVA COMÚN	M3	0,24000	90,000	21,60
MADERA DE CONSTRUCCIÓN	P2	10,00000	5,000	50,00
BOTELLAS RELLENADAS CON TIERRA (2, 2,5 Y 3 Lt)	PZA	104,00000	0,000	0,00
<b>TOTAL MATERIALES</b>				<b>248,16</b>
<b>2,- MANO DE OBRA</b>				
ALBAÑIL	HR,	5,25000	20,120	105,63
AYUDANTE	HR,	7,00000	14,710	102,97
PEON	HR,	6,12000	10,200	62,42
BENEFICIOS SOCIALES - %			0,00%	0,00
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO - %			0,00%	0,00
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>271,02</b>
<b>3,- EQUIPO Y MAQUINARIA</b>				
MEZCLADORA	HR,	0,50000	17,500	8,75
VIBRADORA	HR,	0,50000	13,750	6,88
HERRAMIENTAS - % DE LA MANO DE OBRA			5,00%	13,55
<b>TOTAL UTILIDAD</b>				<b>28,51</b>
<b>TOTAL PRECIO UNITARIO Numeral)</b>				<b>548,36</b>

**Cuadro A6.5 Precios referenciales - Gestión 2022 (Costos Totales).**

**Fuente:** Gobierno Autónomo Municipal de La Paz.

**Actividad:** HoCo CON 30% DE PIEDRA DESPLAZADORA

**Unitario:** m<sup>3</sup>

**Cantidad:** 1,00

**Moneda:** Bolivianos

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Bs,	Total Bs,
<b>1.- MATERIALES</b>				
ARENA CORRIENTE	m3	0,41300	110,000	45,43
CEMENTO PORTLAND IP-30	kg	192,69700	0,870	167,65
CLAVOS	kg	0,31900	9,740	3,11
GRAVA COMÚN	m3	0,55100	90,000	49,59
MADERA DE CONSTRUCCIÓN (3 USOS)	p2	9,89820	5,000	49,49
PIEDRA BRUTA	m3	0,31200	115,000	35,88
<b>TOTAL MATERIALES</b>				<b>351,15</b>
<b>2.- MANO DE OBRA</b>				
ALBAÑIL DE PRIMERA	Hrs	6,00000	20,120	120,72
AYUDANTE	Hrs	6,80000	14,710	100,03
BENEFICIOS SOCIALES - %			71,18%	157,13
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO - %			14,94%	56,46
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>434,34</b>
<b>3.- EQUIPO Y MAQUINARIA</b>				
MEZCLADORA	HR,	0,50000	17,500	8,75
VIBRADORA	HR,	0,50000	13,750	6,88
HERRAMIENTAS - % DE LA MANO DE OBRA			5,00%	21,72
<b>TOTAL EQUIPO Y MAQUINARIA</b>				<b>37,35</b>
<b>4.- GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>				
GASTOS GENERALES - %			12,00%	98,74
<b>TOTAL GASTOS GENERALES</b>				<b>98,74</b>
<b>5.- UTILIDAD</b>				
UTILIDAD - %			10,00%	92,16
<b>TOTAL UTILIDAD</b>				<b>92,16</b>
<b>6.- IMPUESTOS A LA TRANSACCÓN</b>				
IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES - %			3,09%	31,32
<b>TOTAL IMPUESTOS A LA TRANSACCÓN</b>				<b>31,32</b>
<b>TOTAL PRECIO UNITARIO Numeral)</b>				<b>1045,06</b>

**Cuadro A6.6** Precios referenciales - Gestión 2022 (Costos Totales).

**Fuente:** Gobierno Autónomo Municipal de Santa Cruz.

**Actividad:** HoCo CON 30% DE PIEDRA DESPLAZADORA

**Unitario:** m<sup>3</sup>

**Cantidad:** 1,00

**Moneda:** Bolivianos

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Bs,	Total Bs,
<b>1.- MATERIALES</b>				
ARENA CORRIENTE	M3	0,41300	100,000	41,30
CEMENTO PORTLAND IP-30	KG	192,69700	1,200	231,24
CLAVOS	KG	0,31900	13,000	4,15
RIPIO RODADO	M3	0,55100	170,000	93,67
MADERA DE CONSTRUCCIÓN	P2	9,89820	8,000	79,19
PIEDRA BRUTA	M3	0,31200	192,000	59,90
<b>TOTAL MATERIALES</b>				<b>509,45</b>
<b>2.- MANO DE OBRA</b>				
MAESTRO ALBAÑIL	HR,	6,00000	18,750	112,50
AYUDANTE	HR,	8,00000	12,500	100,00
BENEFICIOS SOCIALES - %			71,18%	151,26
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO - %			14,94%	25,57
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>389,33</b>
<b>3.- EQUIPO Y MAQUINARIA</b>				
MEZCLADORA	HR,	0,50000	30,000	15,00
VIBRADORA	HR,	0,50000	22,000	11,00
HERRAMIENTAS - % DE LA MANO DE OBRA			5,00%	19,47
<b>TOTAL EQUIPO Y MAQUINARIA</b>				<b>45,47</b>
<b>4.- GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>				
GASTOS GENERALES - %			12,00%	113,31
<b>TOTAL GASTOS GENERALES</b>				<b>113,31</b>
<b>5.- UTILIDAD</b>				
UTILIDAD - %			10%	105,76
<b>TOTAL UTILIDAD</b>				<b>105,76</b>
<b>6.- IMPUESTOS A LA TRANSACCÓN</b>				
IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES - %			3,09%	35,95
<b>TOTAL IMPUESTOS A LA TRANSACCÓN</b>				<b>35,95</b>
<b>TOTAL PRECIO UNITARIO Numeral)</b>				<b>1199,27</b>

**Cuadro A6.7** Precios referenciales - Gestión 2022 (Costos Totales).

**Fuente:** Elaboración Propia.

**Actividad:** HoCoP CON 30% DE BOTELLA DESPLAZADORA

**Unitario:** m<sup>3</sup>

**Cantidad:** 1,00

**Moneda:** Bolivianos

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Bs,	Total Bs,
<b>1,- MATERIALES</b>				
ARENA CORRIENTE	M3	0,24000	110,000	26,40
CEMENTO PORTLAND IP-30	KG	167,00000	0,870	145,29
CLAVOS	KG	0,50000	9,740	4,87
GRAVA COMÚN	M3	0,24000	90,000	21,60
MADERA DE CONSTRUCCIÓN	P2	10,00000	5,000	50,00
BOTELLAS RELLENADAS CON TIERRA (2, 2,5 Y 3 Lt)	PZA	104,00000	0,000	0,00
<b>TOTAL MATERIALES</b>				<b>248,16</b>
<b>2,- MANO DE OBRA</b>				
ALBAÑIL	HR,	5,25000	20,120	105,63
AYUDANTE	HR,	7,00000	14,710	102,97
PEON	HR,	6,12000	10,200	62,42
BENEFICIOS SOCIALES - %			71,18%	192,91
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO - %			14,94%	69,31
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>				<b>533,24</b>
<b>3,- EQUIPO Y MAQUINARIA</b>				
MEZCLADORA	HR,	0,50000	17,500	8,75
VIBRADORA	HR,	0,50000	13,750	6,88
HERRAMIENTAS - % DE LA MANO DE OBRA			5,00%	26,66
<b>TOTAL EQUIPO Y MAQUINARIA</b>				<b>42,29</b>
<b>4,- GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS</b>				
GASTOS GENERALES - %			12,00%	101,96
<b>TOTAL GASTOS GENERALES</b>				<b>101,96</b>
<b>5,- UTILIDAD</b>				
UTILIDAD - %			10,00%	95,17
<b>TOTAL UTILIDAD</b>				<b>95,17</b>
<b>6,- IMPUESTOS A LA TRANSACCÓN</b>				
IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES - %			3,09%	32,35
<b>TOTAL IMPUESTOS A LA TRANSACCÓN</b>				<b>32,35</b>
<b>TOTAL PRECIO UNITARIO Numeral)</b>				<b>1079,17</b>

Nombre: Cesar Israel Apaza Macuchapi CI.: 6002979 LP Cel.: 74096925

Correo: [angel--74096@hotmail.com](mailto:angel--74096@hotmail.com)

Dirección: Zona Chamoco Chico, Calle Sagrado Corazón de Jesús #1745

U.M.S.A.

Carrera de Ingeniería Civil