

**UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**TESIS**

**“PARÁMETROS TÉCNICOS DE DISEÑO DE TAPÓN DE  
CONCRETO PARA SU EMPLEO COMO MURO DE  
CONTENCIÓN DE RELLENO HIDRÁULICO EN TAJEOS”**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN INSTITUCIONAL:  
TRANSPORTE Y URBANISMO**

**PRESENTADO POR:  
Bach. PERCY JAMIE ORDOÑEZ SÁNCHEZ**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**HUANCAYO – PERÚ**

**2021**

Ing. Julio Fredy Porras Mayta  
**Asesor**

## **DEDICATORIA**

La presente tesis, dedico con todo cariño y respeto a mi digna madre y mi familia, por haber sido ellos los elementos motivadores para concluir con mucho esfuerzo y sacrificio mi carrera profesional como Ingeniero Civil.

Bach: Percy Jamie Ordoñez Sánchez

## **AGRADECIMIENTO**

Al concluir mis estudios profesionales como Ingeniero Civil, tengo que reconocer que no fue tarea sencilla, en varias oportunidades me encontré con breves fracasos y problemas en mi formación académica, los superé gracias a la labor pedagógica y ética de los docentes ingenieros de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Peruana “Los Andes” de la incontrastable ciudad de Huancayo. Por ello presento mi reconocimiento y agradecimiento a las dignas autoridades de la UPLA y a los docentes ingenieros de la Escuela de Ingeniería Civil.

Asimismo, agradecer a la empresa por darme la oportunidad para desenvolverme como profesional y adquirir nuevos conocimientos.

Del mismo modo al Ingeniero, asesor de la presente tesis, quien complemento satisfactoriamente mi formación académica al concluir mi formación profesional.

Bach: Percy Jamie Ordoñez Sánchez

## HOJA DE CONFORMIDAD DE JURADOS

---

Dr. Casio Aurelio Torres López  
PRESIDENTE

---

Ing.  
Jurado

---

Ing.  
Jurado

---

Ing.  
Jurado

---

Mg. Miguel Angel Carlos Canales  
Secretario docente

# INDICE

Asesor.....	i
DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
HOJA DE CONFORMIDAD DE JURADOS .....	iv
INDICE.....	v
INDICE DE TABLAS .....	vii
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
INTRODUCCIÓN .....	xii
CAPITULO I.....	1
EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	1
1.1.    Planeamiento del problema.....	1
1.2.    Formulación y sistematización del problema.....	2
1.2.1.    Problema general .....	2
1.2.2.    Problemas específicos.....	2
1.3.    Justificación .....	2
1.3.1.    Social o práctica .....	2
1.3.2.    Metodológica .....	2
1.4.    Delimitación del problema.....	3
1.4.1.    Delimitación espacial.....	3
1.4.2.    Delimitación temporal .....	3
1.4.3.    Delimitación económica.....	3
1.5.    Limitaciones .....	3
1.6.    Objetivos .....	3
1.6.1.    Objetivo general .....	3
1.6.2.    Objetivos específicos.....	4
CAPITULO II.....	5
MARCO TEORICO .....	5
2.1    Antecedentes .....	5
2.1.1    Internacionales .....	5
2.1.2    Nacionales.....	8
2.2    Marco conceptual.....	14
2.3    Definición de términos.....	20
2.4    Hipótesis .....	27
2.4.1    Hipótesis general .....	27
2.4.2    Hipótesis específicas.....	27
2.5    Variables .....	28
2.5.1    Definición conceptual de la variable .....	28
2.5.2    Definición operacional de la variable.....	28

2.5.3	Operacionalización de la variable .....	29
CAPITULO III	.....	30
METODOLOGIA	.....	30
3.1	El método de investigación .....	30
3.2	El tipo de investigación .....	30
3.3	El nivel de investigación .....	30
3.4	Diseño de investigación .....	31
3.5	Población y muestra.....	31
3.5.1	La población: .....	31
3.5.2	La muestra .....	31
3.6	Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	31
3.6.1	Técnicas de recolección de datos.....	31
3.6.2	Instrumentos de recolección de datos .....	31
3.6.3	Procesamiento de la información.....	32
3.6.4	Técnicas y análisis de datos. ....	32
CAPITULO IV	.....	33
RESULTADOS	.....	33
4.1	Caracterización geomecánica de las labores .....	33
A)	Roca Intacta.....	34
B)	Macizo Rocoso .....	35
C)	Cálculo del índice RQD .....	37
D)	Clasificación geomecánica.....	37
4.2	Diseño de tapón de Concreto Armado .....	47
4.2.1	Consideraciones de diseño.....	47
4.2.2	Diseño del tapón de concreto armado .....	48
4.3	Cálculo de pernos helicoidales para anclaje de tapón de concreto ....	52
4.4	Proceso constructivo de taponos de concreto armado y monitoreo....	57
CAPITULO V	.....	67
DISCUSIÓN DE RESULTADOS	.....	67
CONCLUSIONES	.....	74
RECOMENDACIONES	.....	76
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	.....	77
ANEXOS	.....	79
ANEXO N° 01	Matriz de consistencia .....	80
ANEXO A	.....	81
MODELAMIENTO NUMÉRICO DE PRESIONES SOBRE EL TAPÓN	.....	81
ANEXO 1	.....	91
ANEXO 2	.....	92
ANEXO 3	.....	93
ANEXO 4	.....	94
ANEXO 5	.....	101

## INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1 Resistencia a la compresión simple de la roca intacta.....	37
Tabla N° 2 Parámetros de Clasificación del Sistema RMR <sub>76</sub> .....	38
Tabla N° 3 Clases de Macizo Rocoso y sus Índices RMR.....	38
Tabla N° 4 Variabilidad de la Clasificación Geomecánica RMR en los cuerpos OB2 y OB5.....	41
Tabla N° 5 Resultados de los índices y calidad del macizo rocoso .....	42
Tabla N° 6 Parámetros de Resistencia del Macizo Rocoso.....	45
Tabla 7 Resistencia al Corte para Tapones (MEM, 2007) .....	46
Tabla N° 8 Parámetros de Anclaje de Muro de Concreto Armado.....	52



## INDICE DE IMÀGENES

<b>Imagen 1:</b> Tipos de muros de contención .....	19
<b>Imagen 2:</b> Fuerzas que actúan sobre un muro de contención .....	20
<b>Imagen 3:</b> Estadística de la compresión simple de roca intacta para diferentes dominios .....	36
<b>Imagen 4:</b> SPP de grano grueso a medio en el Nv 1680 CX18 .....	39
<b>Imagen 5:</b> SPP de grano grueso a medio CL 13-1740-07(57.18-62.35) .....	39
<b>Imagen 6:</b> Isovalores de RMR-OB5 para los niveles: 1680,1710,1740 y 1770 .....	40
<b>Imagen 7:</b> Análisis Estadístico de Valores de RMR para los cuerpos OB5 y OB2 respectivamente.....	41
<b>Imagen 8:</b> Estimación de las Propiedades Elásticas del Macizo rocoso .....	44
<b>Imagen 9:</b> Secuencia de llenado de tajeos .....	47
<b>Imagen 10:</b> Presiones del relleno sobre el tapón a lo largo de la secuencia de llenado .....	48
<b>Imagen 11:</b> Modelo Bidimensional del Tapón en SAP2000 .....	49
<b>Imagen 12:</b> Momento flector en la dirección horizontal en el tapón (en tn-m) .	50
<b>Imagen 13:</b> Momento flector en la dirección vertical en el tapón (en tn-m) .....	50
<b>Imagen 14:</b> Acero de refuerzo horizontal necesario en el tapón (en m <sup>2</sup> /ml de tapón)	51
<b>Imagen 15:</b> Acero de refuerzo vertical necesario en el tapón (en m <sup>2</sup> /ml de tapón).....	51
<b>Imagen 16:</b> Distribución de las cargas a lo largo del muro de concreto armado .....	53
<b>Imagen 17:</b> Reacciones en los pernos de anclase (Método Numérico – SAP2000) .....	53
<b>Imagen 18:</b> Perforación con Maquinaria Bolte .....	58
<b>Imagen 19:</b> Perforación con Equipo Jack Hanner.....	58
<b>Imagen 20:</b> Esquema de perforación.....	59
<b>Imagen 21:</b> Armado de aceros de refuerzo.....	59
<b>Imagen 22:</b> Armado de aceros de refuerzo .....	60
<b>Imagen 23:</b> Colocación del concreto del 1er nivel .....	60
<b>Imagen 24:</b> Desencofrado del 1er nivel .....	61
<b>Imagen 25:</b> Armado de refuerzo del 2do nivel .....	61

<b>Imagen 26:</b> Encofrado externo del 2do nivel .....	62
<b>Imagen 27:</b> Vaciado de concreto del 2do nivel .....	63
<b>Imagen 28:</b> Desencofrado externo del 2do nivel.....	63
Imagen 29: Matriz del proceso de Construcción de muros – INCIMMET - Cerro Lindo .....	64
<b>Imagen 30:</b> Muestras de concreto, tomadas en el tajo 001 nivel 1600 OB1 tapón 02	65
<b>Imagen 31:</b> Resultados alcanzados de muestras de resistencia del concreto en tapones.	65
<b>Imagen 32:</b> Grafico de Resultados alcanzados de muestras de resistencia del concreto en tapones.	66

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación se plantea como problema general: ¿Cuáles son los parámetros técnicos de diseño de tapón de concreto para su empleo como muro de contención de relleno hidráulico en tajeos mina Cerro Lindo, 2020?, cuyo objetivo general es: Determinar los parámetros técnicos de diseño de tapón de concreto para su empleo como muro de contención de relleno hidráulico en tajeos, y la hipótesis a contrastar fue: Los parámetros técnicos de diseño de tapón de concreto para su empleo como muro de contención de relleno hidráulico en tajeos.

El método general de investigación fue el científico, tipo aplicada, nivel descriptivo correlacional, diseño experimental; La población está constituida por los tapones de concreto que se instalan en los tajeos. y la muestra no probabilística conformada por los tapones de concreto que se instalan en los tajeos.

Producto de la investigación se concluir que: A partir del análisis en el programa SAP 2000 y con las recomendaciones de diseño de las normas ACI y E.060 de Concreto Armado, el tapón presenta las siguientes características de diseño: El espesor del muro de tapón será de 35 cm; el refuerzo estará compuesto por dos mallas de acero corrugado de 5/8" de diámetro, con espaciamiento de 20 cm entre varillas; y, el recubrimiento para el refuerzo del tapón será de 5 cm.

**Palabras claves:** Diseño de tapón, muro de contención, diseño, relleno hidráulico en tajeos

## **ABSTRACT**

The present research work is presented as a general problem: What are the technical parameters of concrete plug design for its use as a retaining wall of hydraulic fill in Cerro Lindo mine pits, 2020?, whose general objective is: Determine the parameters concrete plug design technicians for use as a hydraulic fill retaining wall in pits, and the hypothesis to be tested was: The concrete plug design technical parameters for use as a hydraulic fill retaining wall in pits.

The general research method was scientific, applied type, correlational descriptive level, experimental design; The population is made up of the concrete plugs that are installed in the pits. and the non-probabilistic sample made up of the concrete plugs that are installed in the pits.

As a result of the investigation, it is concluded that: Based on the analysis in the SAP 2000 program and with the design recommendations of the ACI and E.060 standards for Reinforced Concrete, the plug has the following design characteristics: The thickness of the plug wall it will be 35 cm; The reinforcement will be composed of two 5/8" diameter corrugated steel meshes, with 20 cm spacing between rods; and, the covering for the reinforcement of the cap will be 5 cm.

**Keywords:** Plug design, retaining wall, design, hydraulic fill in pits

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación titulada: Parámetros técnicos de diseño de tapón de concreto para su empleo como muro de contención de relleno hidráulico en tajeos, partido de la problemática de que la industria minera atraviesa por constantes cambios. Eso es un hecho que los profesionales del siglo XXI deben aceptar y, a largo plazo, acostumbrarse como desafío para su desarrollo.

La nueva minería del nuevo milenio no solo requiere profesionales capaces de realizar su trabajo de manera eficiente. Esta realidad de hoy en día va más allá.

La industria cambiante requiere ya, dicho sea de paso, requerirá de profesionales multifuncionales, capaces de liderar un cambio y, sobre todo, brindar soluciones, del mismo modo los métodos de explotación han sido modernizados con el propósito de realizar explotaciones de volúmenes considerables de minerales.

Los materiales utilizados en el proceso extractivo también tienen que ser más resistentes con la finalidad de contener considerables volúmenes de relleno, es así que el uso del concreto se intensifica cada día más.

La investigación se dividió en cinco capítulos cuyos contenidos son los siguientes:

El Capítulo I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN: Se desarrollan el Planteamiento del problema; Formulación y sistematización del problema: Problema general, Problemas específicos; Justificación: Práctica o Social, Metodológica; Delimitaciones: Espacial, Temporal, Económica; Limitaciones: De información, Económica; Objetivos: Objetivo general, Objetivos específicos.

El Capítulo II: EL MARCO TEÓRICO: este capítulo trata los Antecedentes nacionales e internacionales, así como el Marco conceptual y la Definición de términos; La Hipótesis: hipótesis general, hipótesis específicas; y para finalizar

este capítulo de exponen las variables de la investigación con su definición conceptual y la matriz de operacionalización.

El Capítulo III: METODOLOGÍA: Método de investigación, Tipo de investigación, nivel de investigación, Diseño de investigación, Población y muestra, Técnicas e instrumentos de recolección de datos, Procesamiento de la información, Técnicas y análisis de datos.

El Capítulo IV: Titulado RESULTADOS Se realiza la caracterización geomecánica de las labores mineras, seguidamente se dan las características técnicas para el diseño de los tapones, Cálculos de anclaje del tapón y los instrumentos de monitoreo.

En el capítulo V se dan a conocer la discusión de los resultados para comparar el grado de correlación con los resultados obtenidos por investigadores tomados como antecedentes nacionales e internacionales.

Finalmente se tienen las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y los anexos

Bach: Percy Jamie Ordoñez Sánchez

# **CAPITULO I**

## **EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.1. Planeamiento del problema**

La industria minera sufre constantes cambios. Eso es un hecho que los profesionales del siglo XXI deben aceptar y, a largo plazo, acostumbrarse como desafío para su desarrollo.

La nueva minería del nuevo milenio no solo requiere profesionales capaces de realizar su trabajo de manera eficiente. Esta realidad de hoy en día va más allá.

La industria cambiante requiere ya, dicho sea de paso, requerirá de profesionales multifuncionales, capaces de liderar un cambio y, sobre todo, brindar soluciones, del mismo modo los métodos de explotación han sido modernizados con el propósito de realizar explotaciones de volúmenes considerables de minerales.

Los materiales utilizados en el proceso extractivo también tienen que ser más resistentes con la finalidad de contener considerables volúmenes de relleno, es así que el uso del concreto se intensifica cada día más.

En tal sentido se hace necesario realizar un estudio para determinar en forma técnica y sistemática el dimensionamiento de los tapones de concreto.

## **1.2. Formulación y sistematización del problema**

### **1.2.1. Problema general**

¿Cuáles son los parámetros técnicos de diseño de tapón de concreto para su empleo como muro de contención de relleno hidráulico en tajeos Mina Cerro Lindo, 2020?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- a) ¿Cuál es la caracterización geomecánica del macizo rocoso para el diseño de tapón de concreto y su empleo como muro de contención de relleno hidráulico?
- b) ¿Cuál es el resultado del cálculo de anclaje del tapón de concreto para su empleo como muro de contención de relleno hidráulico?
- c) ¿Cuál es el resultado del análisis de distribución de las cargas a lo largo del muro de concreto armado para su empleo como muro de contención de relleno hidráulico?

## **1.3. Justificación**

### **1.3.1. Social o práctica**

La investigación se justifica en la parte práctica ya que con el desarrollo se busca solucionar el problema de la contención del relleno hidráulico que se emplea en la unidad minera.

### **1.3.2. Metodológica**

En la parte metodológica el sustentante hará uso de metodologías propias tanto para la toma de datos de campo insitu, así como para el procesamiento de la información; las cuales podrán ser de utilidad para otras investigaciones de igual problemática.



## **1.4. Delimitación del problema**

### **1.4.1. Delimitación espacial**

La investigación se proyecta desarrollar en:

- Región : Ica
- Provincia : Chincha
- Distrito : Chavín
- Comunidad campesina : Chavín

### **1.4.2. Delimitación temporal**

La investigación está planteada para ser desarrollada entre los meses de junio a setiembre del año 2020.

### **1.4.3. Delimitación económica**

Los gastos que involucre el desarrollo de la investigación que comprende el trabajo de campo y laboratorio será asumida en su totalidad por el investigador.

## **1.5. Limitaciones**

Las limitaciones de la presente investigación están referidas al tema de pandemia que viene atravesando el país y el sector minero es no es ajeno a este problema, respecto a este tema las limitaciones están referidas respecto a las pruebas que se tuvo que mandar a los laboratorios los cuales no están atendiendo al 100%

## **1.6. Objetivos**

### **1.6.1. Objetivo general**

Determinar los parámetros técnicos de diseño de tapón de concreto para su empleo como muro de contención de relleno hidráulico en tajeos mina Cerro Lindo, 2020.

### 1.6.2. **Objetivos específicos**

- a) Realizar la caracterización geomecánica del macizo rocoso para el diseño de tapón de concreto y su empleo como muro de contención de relleno hidráulico.
- b) Realizar el cálculo de anclaje del tapón de concreto para su empleo como muro de contención de relleno hidráulico.
- c) Realizar el análisis de distribución de las cargas a lo largo del muro de concreto armado para su empleo como muro de contención de relleno hidráulico.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

#### **2.1 Antecedentes**

##### **2.1.1 Internacionales**

a) (Bondarenko H. y García T., 2012), sustentó su Tesis: "Manual de cálculo y diseño de muros estructurales de concreto armado, en la universidad de Carabobo facultad de ingeniería, escuela de ingeniería civil; con la finalidad de optar el Título de Ingeniero Civil".

Entre los objetivos, que se alcanzarán en el presente proyecto son:

- “Desarrollar un manual de cálculo y diseño de muros estructurales de concreto armado aplicando los criterios de la norma venezolana Fondonorma 1753:2006” y ACI 318-2011”
- “Describir los lineamientos normativos existentes en “Fondonorma 1753:2006 Proyecto y Construcción de Obras en

Concreto Estructural” y “ACI 318. Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (2011)” para el cálculo y diseño de muros estructurales de concreto armado”.

- “Recopilar información acerca del diseño de muros estructurales, de otras fuentes afines a las normas “FONDONORMA 1753:2006” y “ACI 318:11” no tratada en las mismas2.
- “Integrar y organizar la información recopilada en una secuencia lógica y ordenada de procedimientos a seguir en el diseño de muros estructurales, de forma clara, sencilla y concreta”.
- “Relatar el procedimiento para elaborar los diagramas de interacción de muros, como ayuda en la fase del diseño a flexión”.
- “Elaborar ejemplos de aplicación de la información recabada para el cálculo y diseño de muros estructurales, que permitan orientar al lector al empleo correcto de los conceptos introducidos y eviten que la toma de decisiones quede supeditada a improvisaciones o criterios personales”.
- “Redactar el Manual para el Cálculo y Diseño de Muros Estructurales”.

Producto de su investigación concluye que:

- “Se logró la elaboración de un material que plantea una metodología sistematizada, precisa y de fácil entendimiento para el cálculo y diseño de muros estructurales, siguiendo los criterios establecidos en” “Fondonorma 1753:06 proyecto y construcción

de obras de concreto estructural” y “ACI 318-11 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary”

- “Se recopiló información de diversas fuentes bibliográficas, que enfatizan partes del procedimiento no estipuladas por ambas normas, tales como la metodología para el cálculo de la profundidad del eje neutro, y el chequeo por deslizamiento”.
- “Se integro la información recopilada, tanto de los códigos anteriormente mencionados, como de fuentes bibliográficas alternas, y se organizó de manera sistemática para así obtener procedimientos de diseño, este resultado se refleja en una serie de diagramas de flujo que describen el procedimiento de diseño”.
- “Se logro describir la metodología para la obtención de los diagramas de interacción  $P_u/M_u$ , necesarios para la elaboración del diseño a flexo compresión de muros estructurales”.
- “Se describió la metodología para el cálculo y diseño de muros estructurales por medio de un ejemplo aplicando la información recopilada, ofreciéndole al lector un elemento de orientación para el empleo correcto de los pasos a seguir en el procedimiento”.
- “Se logro redactar un manual que explica de manera sencilla y sistemática, los procedimientos para el Cálculo y Diseño de Muros estructurales”.
- “Luego de diseñar por ambos métodos una enorme cantidad de muros, se llegó a la conclusión de que el segundo procedimiento estipulado por Fondonorma 1753:2006, es muy conservador ya

que en algunos muros el procedimiento 1 indicaba que no se necesitaban miembros de borde mientras el segundo procedimiento sí”.

### **2.1.2 Nacionales**

a) (Flores Ketty, 2017), sustentó su Tesis: “Eficiencia del diseño muro de contención de gran altura con técnica de tierra armada respecto al muro de contención de concreto armado en la ciudad de Puno” “en Universidad Nacional del Altiplano Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura Escuela Profesional de Ingeniería Civil; con la finalidad de optar el Título de Ingeniero Civil”.

Entre los objetivos, que se alcanzarán en el presente proyecto son:

- “Evaluar la eficiencia del diseño del muro de contención de gran altura con la técnica de tierra armada con respecto al muro de contención de concreto armado en la ciudad de Puno”.
- “Evaluar la eficiencia técnica del diseño del muro de contención de gran altura con la técnica de tierra armada con respecto al muro de contención de concreto armado en la ciudad de Puno. Según los parámetros del suelo, los y la normatividad”.
- “Realizar la evaluación económica del diseño de muro de contención de gran altura con la técnica de tierra armada con respecto al muro de contención de concreto armado en la ciudad de Puno”.

Producto de su investigación concluye que:

- “Según la evaluación de la eficiencia del diseño del muro de contención de gran altura con la técnica de tierra armada con

respecto al muro de contención de concreto armado en la ciudad de Puno, no existe diferencia estadística en cuanto a la eficacia entre ambos muros”.

- “En la evaluación de la eficiencia técnica del diseño del muro de contención de gran altura con la técnica de tierra armada con respecto al muro de contención de concreto armado en la ciudad de Puno. Según los parámetros del suelo, los y la normatividad, no existe diferencia estadística, pero si numérica”.
- “En la evaluación económica del diseño de muro de contención de gran altura con la técnica de tierra armada con respecto al muro de contención de concreto armado en la ciudad de Puno, no existe diferencia económica, estadística según el análisis de costos de ambos muros”.

b) (Caceres, Ernesto, 2011), sustentó su Tesis: “Análisis de costos, diseño sismorresistente - estructural comparativo entre los sistemas de muros de ductilidad limitada y albañilería estructural de un edificio multifamiliar; Con la finalidad de optar el Título de Ingeniero Geólogo”.

Entre los objetivos, que se alcanzarán en el presente proyecto son:

- “Realizar una comparación entre la respuesta sísmica de una edificación de Albañilería estructural y una edificación de muros de concreto armado e identificar el sistema constructivo más

económico, mediante una comparación de análisis de costos unitarios”.

- “Identificar el sistema constructivo más económico, mediante una comparación de análisis de costos unitarios”.
- “Hacer el análisis sísmico correspondiente para verificar que se cumplan los parámetros máximos y mínimos por norma, y hallar las fuerzas internas de los elementos estructurales”.
- “Desarrollar el diseño de los elementos estructurales, tanto de concreto armado como de albañilería”.
- “Analizar el desempeño de los dos sistemas estructurales (albañilería estructural y muros de concreto armado) para la arquitectura planteada”.
- “Realizar un cuadro comparativo con las características más importantes de cada tipo de edificación”.

Entre las conclusiones, que se alcanzarán en el presente proyecto son:

- “La estructura tiene una adecuada rigidez lateral en ambos sentidos, ya que los desplazamientos relativos de entrepiso resultaron menores a los máximos valores permitidos en la norma de diseño sismo resistente E030. Para nuestro caso tenemos”:
- “Ductilidad limitada: De acuerdo a la norma sismo resistente E-030 la deriva para edificios de Muros de Ductilidad Limitada es de 0.005 y como se observa en ambas direcciones las derivas máximas son menores a las requeridas”.



En los dos sentidos:

X: 0.00156

Y: 0.00090

- “Albañilería confinada: De acuerdo a la norma sismo resistente E-030 la deriva para edificios de Muros de Albañilería Confinada es de 0.005 y como se observa en ambas direcciones las derivas máximas son menores a las requeridas.

En los dos sentidos”:

X: 0.00169

Y: 0.00135

“Se observa que en el caso de muros de ductilidad limitada la  $d_{xx}$  y la  $d_{yy}$  son el 31.25% y el 18% del permisible respectivamente, asimismo, para el caso de albañilería confinada el  $d_{xx}$  y el  $d_{yy}$  son el 33.75% y el 27% del permisible respectivamente. Por tal motivo se concluye que los desplazamientos laterales máximos de entepiso del sistema de muros de ductilidad limitada son menores en un 2.50% en la dirección “X” con respecto a los muros de albañilería estructural y 9 % menor a los de albañilería confinada en la dirección “Y”, indicándose así que la rigidez lateral de muros de ductilidad limitada es mayor a la de albañilería confinada”.

- “Para el caso particular de nuestro edificio el mismo que tiene una configuración irregular por lo que los valores del cortante dinámico no deben ser menores al 90% del Cortante Estático en la base, en caso esto no se cumpla se debe utilizar factores

de amplificación (FA) para alcanzar este valor en las dos direcciones, los mismos que serán como sigue”:

Ductilidad Limitada: En este sistema los factores de amplificación

(FA) serán:

X: 1.16

Y: 1.29

Albañilería confinada: En este sistema los factores de amplificación (FA) serán:

X: 1.16

Y: 1.26

➤ “El Periodo fundamental de vibración de la estructura (T) y la Masa Participante en el primer modo de vibración son”:

Periodos en edificación de muros de ductilidad limitada

TX: 0.11 Seg

TY: 0.16 Seg

Periodos en edificación de muros de albañilería confinada

TX: 0.22 Seg

TY: 0.27 Seg

➤ “Como se pudo ver anteriormente los muros de albañilería tienen mayor periodo esto debido a que como se pudo ver en el metrado de cargas este sistema tiene mayor masa a comparación del sistema de muros de ductilidad limitada”.

➤ “Comparando los pesos calculados manualmente y los calculados por el programa para el caso del sistema de ductilidad limitada se tiene una diferencia de 0.88 % y para el

sistema de albañilería estructural se tiene una diferencia del 1.05%, es decir que los cálculos realizados manualmente son casi exactos, así mismo; la diferencia entre ambos sistemas es de un 16.19% con esto concluimos que la herramienta ETABS es un programa confiable, debido a que en el metrado de cargas manualmente hay aspectos que no se consideran como el área de las losas, altura total de muros, etc. Cosa que la herramienta si considera, sobre todo en el metrado del sistema de albañilería”.

- “Con respecto a los muros usados para el diseño en ambos sistemas en esta tesis se pudo observar que los muros de ductilidad limitada absorben más fuerza cortante que los muros de albañilería, esto en el caso de que los muros de ductilidad limitada estén separados por paños, ya que si estos están unidos tanto en el eje “X-X” y “Y-Y” el cortante que absorben serán mayores. Por esta razón también se concluye que los muros de ductilidad limitada son más rígidos que los muros de albañilería”.
- “En el caso de muros de ductilidad limitada se tendrá un ahorro en tiempo y mano de obra respecto a la de muros de albañilería confinada, debido a la gran flexibilidad en el proceso constructivo que este modelo ofrece, a diferencia de la albañilería, este modelo puede habilitarse fuera del área de construcción, igualmente los encofrados, lo que permite tener mayor espacio y reducir la mano de obra considerablemente.

- El Costo Directo Total en el sistema de MDL es de S/. 407,375.41 mientras que para AC es de S/. 464,515.57 es decir el costo directo promedio del m<sup>2</sup> de construcción del cascarón estructural incluyendo la cimentación es de S/. 487.87 para el sistema de MDL, y de S/. 556.31 para el de AC. Entonces se concluye que el metro cuadrado en cascarón estructural del sistema de AC es 12.30 % mayor al sistema de MDL”.

## 2.2 Marco conceptual

### ➤ Muro de contención

Se denomina muro de contención a un tipo estructura de contención rígida, destinada a contener algún material, generalmente suelo.

### ➤ Muros de contención y su funcionamiento

“Los muros de contención se utilizan para detener masas de suelo u otros materiales sueltos manteniendo pendientes que naturalmente no pueden conservar. Estas condiciones se presentan cuando el ancho de una excavación, corte o terraplén está restringido por condiciones de propiedad, utilización de la estructura o economía”.

### ➤ Partes del muro de contención

- **Puntera:** “Parte de la base del muro (cimiento) que queda debajo del intradós y no introducida bajo el terreno contenido”.
- **Tacón:** “Parte del cimiento que se introduce en el suelo para ofrecer una mayor sujeción”.
- **Talón:** “Parte del cimiento opuesta a la puntera, queda por debajo del trasdós y bajo el terreno contenido”.

- **Alzado o cuerpo:** “Parte del muro que se levanta a partir de los cimientos de este, y que tiene una altura y un grosor determinados en función de la carga a soportar”.
- **Intradós:** Superficie externa del alzado.
- **Trasdós:** “Superficie interna del alzado, está en contacto con el terreno contenido”.

➤ **Tipos de muros de contención**

- **Muros de gravedad**

“Son aquellos cuyo peso contrarresta el empuje del terreno. Dadas sus grandes dimensiones, prácticamente no sufre esfuerzos flectores, por lo que no suele armarse. Los muros de gravedad a su vez pueden clasificarse en”:

- ✓ **Muros de hormigón en masa.**

Quando es necesario, se arma el pie (punta y/o talón).

- ✓ **Muros de mampostería seca**

Se construyen mediante bloques de roca (tallados o no).

- ✓ **Muros de escollera**

Se construyen mediante bloques de roca de mayor tamaño que los de mampostería.

- ✓ **Muros de gaviones**

“Son muros mucho más fiables y seguros que los de escollera ya que, con estos, se pueden realizar cálculos de estabilidad y, una vez montados, todo el muro funciona de forma monolítica”.

- ✓ **Muros prefabricados o de elementos prefabricados**

Se pueden realizar mediante bloques de hormigón previamente fabricados.

✓ **Muros aligerados**

“Aquellos en los que los bloques se aligeran (se hacen huecos) por diversos motivos (ahorro de material, reducción de peso)”.

✓ **Muros jardinera**

“Si los bloques huecos de un muro aligerado se disponen escalonadamente, y en ellos se introduce tierra y se siembra, se produce el muro jardinera, que resulta mucho más estético, y de menor impacto, ver rocalla”.

✓ **Muros secos**

“Constituidos por piedra de 8" a 10" que van sobrepuestos y amarrados entre sí; no llevan ningún tipo de mortero o concreto. Conforme se van construyendo se van rellenando con piedras de lugar o cascajo de 3/4" de diámetro en caso de que se utilice con drenar el agua”.

• **Muros estructurales**

“Son muros de hormigón fuertemente armados. Presentan ligeros movimientos de flexión y dado que el cuerpo trabaja como un voladizo vertical, su espesor requerido aumenta rápidamente con el incremento de la altura del muro. Presentan un saliente o talón sobre el que se apoya parte del terreno, de manera que muro y terreno trabajan juntos”.

“Siempre que sea posible, una extensión en el puntal o la punta con una dimensión entre un tercio y un cuarto del ancho de la base suministra una solución más económica”.

Tipos distintos de muros estructurales son los muros «en L», «en T invertida».

“En algunos casos, los límites de la propiedad u otras restricciones obligan a colocar el muro en el borde delantero de la losa base, es decir, a omitir el puntal. Es en estas ocasiones cuando se utilizan los muros en L”.

“Como se ha indicado, en ocasiones muros estructurales verticales de gran altura presentan excesivas flexiones. Para evitar este problema surge el 'muro con contrafuertes, en los que se colocan elementos estructurales (contrafuertes) en la parte interior del muro (donde se localizan las tierras). Suelen estar espaciados entre sí a distancias iguales o ligeramente mayores que la mitad de la altura del muro. También existen muros con contrafuertes en la parte exterior del mismo”.

“En ocasiones, para aligerar el contrafuerte, se colocan elementos con un tirante (cable metálico) para que trabaje a tracción. Surgen así los muros atirantados”.

- **Muros de tierra armada y de suelo reforzado**

“Los muros de tierra armada son mazacotes de terreno (grava) en los que se introducen armaduras metálicas con el fin de resistir los movimientos. Con ello se consigue que el material trabaje como un todo uno. La importancia de esta armadura

consiste en brindarle cohesión al suelo, de modo de actuar disminuyendo el empuje de tierra que tiene que soportar el muro. La fase constructiva es muy importante, ya que se tiene que ir compactando por capas de pequeño espesor, para darle una mayor resistencia al suelo”.

“Se le suelen colocar escamas (planchas de piedra u hormigón), sin fin estructural alguno, sino para evitar que se produzcan desprendimientos”.

“Los muros de tierra armada pueden rematarse también con bloques de hormigón huecos, rellenos de tierra, y sembrados, creando muros jardinera”.

“Un muro de suelo reforzado' es un muro de tierra armada en que se sustituyen las armaduras metálicas, por geomalla. Es una solución más barata”.

“Análogamente a los muros de tierra armada, se pueden recubrir con escamas, o rematarlos con muros jardinera. Aunque existe otra alternativa, que consiste en colocar un geotextil sobre la ladera del muro, y cubrirlo de tierra y semillas. surge así un muro vegetalizado”.





**Imagen 1:** Tipos de muros de contención

➤ **Verificaciones típicas en el cálculo**

“Para el cálculo de un muro de contención de tierras es necesario tener en cuenta las fuerzas que actúan sobre él como son la presión lateral del suelo o la supresión y aquellas que provienen de éste como son el peso propio. Con estos datos podemos verificar los siguientes parámetros”:

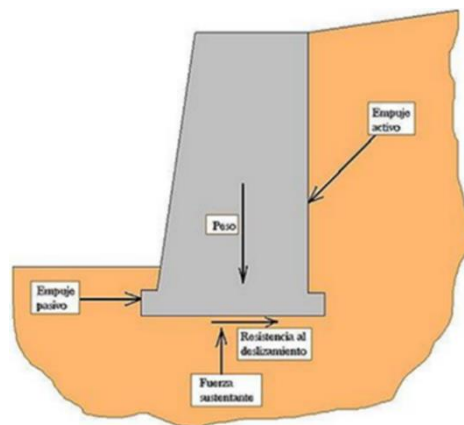
“Verificación de deslizamiento: Se verifica que la componente horizontal del empuje de la tierra ( $F_h$ ) no supere la fuerza de retención ( $F_r$ ) debida a la fricción entre la cimentación y el suelo, proporcional al peso del muro. En algunos casos, puede incrementarse ( $F_r$ ) con el empuje pasivo del suelo en la parte baja del muro. Normalmente<sup>1</sup> se acepta como seguro un muro si se da la relación:  $F_r/F_h > 1.3$  (esta relación se puede llamar también coeficiente de seguridad al deslizamiento)”.

“Verificación de volteo o vuelco: Se verifica que el momento de las fuerzas ( $M_v$ ) que tienden a voltear el muro sea menor al momento que tienden a estabilizar el muro ( $M_e$ ) en una relación

de por lo menos 1.5. Es decir:  $Me/Mv > 1.5$  (coeficiente de seguridad al volteo)”.

“Verificación de la capacidad de sustentación: Se determina la carga total que actúa sobre la cimentación con el respectivo diagrama de las tensiones y se verifica que la carga transmitida al suelo ( $Ta$ ) sea inferior a la capacidad portante ( $Tp$ ), o en otras palabras que la máxima tensión producida por el muro sea inferior a la tensión admisible en el terreno. Es decir:  $Tp/Ta > 1.0$  (coeficiente de seguridad a la sustentación)”.

“Verificación de la estabilidad global: Se verifica que el conjunto de la pendiente que se pretende contener con el muro tenga un coeficiente de seguridad global  $> 2$ ”.



**Imagen 2:** Fuerzas que actúan sobre un muro de contención

### 2.3 Definición de términos

➤ **Ábaco: (Drop panel)**

Proyección debajo de la losa de por lo menos una cuarta parte del espesor de la losa fuera del ábaco.

➤ **Acero de preesforzado (Prestressing steel)**

“Elemento de acero de alta resistencia como alambre, barra, torón, o un paquete (tendón) de estos elementos, utilizado para aplicar fuerzas de preesforzado al concreto”.

➤ **Acero extremo en tracción (Extreme tension steel)**

Refuerzo (preesforzado o no preesforzado) más alejado de la fibra extrema en compresión.

➤ **Aditivo (Admixture)**

“Material distinto del agua, de los agregados o del cemento hidráulico, utilizado como componente del concreto, y que se añade a éste antes o durante su mezclado a fin de modificar sus propiedades”.

➤ **Agregado liviano (Lightweight aggregate)**

Agregado con una densidad cuando está seco y suelto de  $1120 \text{ kg/m}^3$  o menos.

➤ **Agregado (Aggregate)**

“Material granular, como arena, grava, piedra triturada y escoria de hierro de alto horno, empleado con un medio cementante para formar concreto o morteros hidráulicos”.

➤ **Altura útil de la sección (d) (Effective depth of section)**

“La distancia medida desde la fibra extrema en compresión hasta el centroide del refuerzo longitudinal sometido a tracción”.

➤ **Carga de servicio (Service load)**

La carga, especificada por el reglamento general de construcción de la cual este reglamento forma parte (sin factor de carga).

➤ **Carga mayorada (Factored Load)**

“La carga, multiplicada por los factores de carga apropiados, que se utiliza para diseñar los elementos utilizando el método de diseño por resistencia de este reglamento”.

➤ **Carga muerta (Dead load)**

“Cargas muertas soportadas por un elemento, según se definen en el reglamento general de construcción de la cual forma parte este reglamento (sin factores de carga)”.

➤ **Carga viva (Live load)**

“Carga viva especificada en el reglamento general de construcción de la cual forma parte este reglamento (sin factores de carga)”.

➤ **Concreto (Concrete)**

“Mezcla de cemento pórtland o cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivos”.

➤ **Concreto estructural (Structural concrete)**

“Todo concreto utilizado con propósitos estructurales incluyendo al concreto simple y al concreto reforzado”.

➤ **Concreto estructural liviano (Structural lightweight concrete)**

“Concreto con agregado liviano tiene una densidad de equilibrio, determinada por “Test Method for Determining Density of Structural Lightweight Concrete” (ASTM C 567), que no excede 1 840 kg/m<sup>3</sup>”.

➤ **En este reglamento, un concreto liviano sin arena natural**

Se llama “concreto liviano en todos sus componentes (all-lightweight concrete), y un concreto liviano en el que todo el agregado fino sea arena de peso normal se llama” “concreto liviano con arena de peso normal” (sandlightweight concrete).

➤ **Concreto estructural liviano**

“En el año 2000, ASTM C567 adoptó el término “densidad de equilibrio” como la medida para determinar el cumplimiento de los requisitos de densidad de servicio especificada”

➤ **Concreto reforzado (Reinforced concrete)**

“Concreto estructural reforzado con no menos de la cantidad mínima de acero de preesforzado o refuerzo no preesforzado”.

➤ **Concreto simple (Plain concrete)**

Concreto estructural sin refuerzo o con menos refuerzo que el mínimo especificado para concreto reforzado.

➤ **Deformación unitaria neta de tracción (Net tensile strain)**

“Deformación unitaria de tracción cuando se alcanza la resistencia nominal, excluidas las deflexiones unitarias debidas al preesforzado efectivo, flujo plástico, retracción y temperatura”.

➤ **Dispositivo básico de anclaje para un torón (Basic monostrand anchorage device)**

“Dispositivo de anclaje usado con cualquier torón individual o barra individual de 16 mm o menos de diámetro, que satisfaga los requisitos para elementos de anclaje fabricados industrialmente”.

➤ **Dispositivo básico de anclaje para varios torones (Basic multistrand anchorage device)**

“Dispositivo de anclaje usado con varios torones, barras o alambres, o con barras mayores a 16 mm de diámetro, que satisface los requisitos para los esfuerzos de aplastamiento y la rigidez mínima de platina de la especificación para puentes de AASHTO”.

➤ **Esfuerzo (Stress)**

Fuerza por unidad de área

➤ **Estribo (Stirrup)**

“Refuerzo empleado para resistir esfuerzos de cortante y de torsión en un elemento estructural; por lo general barras, alambres o refuerzo electrosoldado de alambre (liso o corrugado) ya sea sin dobleces o doblados en forma de L, de U o en formas rectangulares, y colocados perpendicularmente o en ángulo con respecto al refuerzo longitudinal”. (En inglés el término “stirrup” se aplica normalmente al refuerzo transversal de elementos sometidos a flexión y el término “tie” a los que están en elementos sometidos a compresión.) Véase también “Estribo (Tie)”.

➤ **Estribo (Tie)**

“Barra o alambre doblados que abraza el refuerzo longitudinal. Es aceptable una barra o alambre continuo doblado en forma de círculo, rectángulo, u otra forma poligonal sin esquinas reentrantes. Véase también”

➤ **Estribo (Stirrup).**

“Relación entre el esfuerzo normal y la deformación unitaria correspondiente, para esfuerzos de tracción o compresión menores que el límite de proporcionalidad del material”.

➤ **Muro (Wall)**

“Elemento, generalmente vertical, empleado para encerrar o separar espacios”.

➤ **Muros estructurales (Structural walls)**

“Muros diseñados para resistir combinaciones de cortantes, momentos y fuerzas axiales inducidas por movimientos sísmicos. Un muro de cortante es un muro estructural”.

➤ **Muro estructural especial de concreto reforzado (Special reinforced concrete structural wall)**

Un muro construido en sitio que cumple con los requisitos de los requisitos para los muros estructurales ordinarios de concreto reforzado.

➤ **Muro estructural especial prefabricado (Special precast structural wall)**

Muro estructural intermedio prefabricado (Intermediate precast structural wall).

➤ **Pedestal (Pedestal)**

Elemento vertical en compresión que tiene una relación entre la altura sin apoyo y el promedio de la menor dimensión lateral no mayor a 3.

➤ **Pórtico resistente a momentos (Moment frame)**

Pórtico en el cual los elementos y los nudos resisten las fuerzas a través de flexión, cortante y fuerza axial.

➤ **Macizo rocoso**

“Los macizos rocosos (las masas rocosas) ocurren en la naturaleza y medio ambientes geológicos afectados por planos de discontinuidad (discontinuidades) o planos de debilidad que separan a los bloques de matriz rocosa, ambos conjuntos la matriz rocosa y discontinuidades forman el macizo rocoso”.

➤ **Discontinuidades**

“Las discontinuidades son cualquier plano de origen mecánico o sedimentario que independiza o separa los bloques de matriz rocosa en un macizo rocoso”.

➤ **Roca intacta**

“Se entiende los trozos de roca que se ubican entre las estructuras presentes en el macizo rocoso, y usualmente se considera que las propiedades de la roca “intacta” pueden determinarse mediante ensayos de laboratorio sobre probetas con un diámetro del orden de 50 mm y una altura de unos 100 mm”.

➤ **Orientación**

“La orientación de las discontinuidades con respecto a las cargas aplicadas puede ser crítica para la estabilidad o la deformabilidad”.

➤ **Apertura**

Distancia entre las dos caras de una fractura.

➤ **Espaciamiento**

Distancia entre dos planos de discontinuidad de una misma familia.

➤ **Persistencia**

Indica si la fractura es persistente o está formada por pequeñas fracturas unidas por roca intacta.

➤ **El índice RQD**

(Rock Quality Designation) desarrollado por Deere entre 1963 y 1967, se precisa como el porcentaje de recuperación de testigos de más de 10 cm de longitud (en su eje) sin tener en consideración las roturas frescas del proceso de perforación relacionada a la longitud total del sondeo.



➤ **RMR**

“La clasificación geomecánica de Bieniawski o clasificación RMR fue desarrollada en 1973, actualizada en 1979 y 1989, el sistema se basa en una metodología de distribución de macizos rocosos que permite enalzar índices de calidad con parámetros geotécnicos del macizo rocoso, criterios de excavación y sostenimiento”.

➤ **El rumbo o dirección**

Es el ángulo, respecto al norte, que forma la línea de intersección del estrato con un plano horizontal. Se mide con una brújula.

➤ **El buzamiento o la inclinación máxima**

Es el ángulo que forma el estrato con la horizontal, medido perpendicularmente al rumbo. Se mide con un clinómetro.

## **2.4 Hipótesis**

### **2.4.1 Hipótesis general**

Los parámetros técnicos de diseño de tapón de concreto para su empleo como muro de contención de relleno hidráulico en tajeos Mina Cerro Lindo, 2020

### **2.4.2 Hipótesis específicas**

- a) La caracterización geomecánica del macizo rocoso aplicando la cartilla de Bieniawski tiene relación directa para el diseño de tapón de concreto y su empleo como muro de contención de relleno hidráulico.
- b) El cálculo y dimensionamiento de la longitud de los pernos determinan el anclaje del tapón de concreto para su empleo como muro de contención de relleno hidráulico
- c) El análisis de distribución de las cargas a lo largo de los ejes X e Y

del muro de concreto armado permitirán su empleo como muro de contención de relleno hidráulico

## **2.5 Variables**

### **2.5.1 Definición conceptual de la variable**

- a) Variable independiente (X)

#### **Tapón de concreto**

Los tapones de concreto se utilizan para una diversidad de aplicaciones, entre las que se encuentran el aislamiento hidráulico, la provisión de una plataforma segura, la contención del relleno depositado en el tajeo de interior mina.

- b) Variable dependiente (Y)

#### **Muro de contención**

Se denomina muro de contención a un tipo estructura de contención rígida, destinada a contener algún material, generalmente suelo o relleno.

### **2.5.2 Definición operacional de la variable**

#### **Tapón de concreto**

Barrera permanente o muro de separación para la contención de fluidos bajo presión

#### **Muro de contención**

Los muros de contención son elementos constructivos que cumplen la función de cerramiento, soportando por lo general los esfuerzos horizontales producidos por el empuje de tierras”.

En otros tipos de construcción, se utilizan para contener agua u otros líquidos en el caso de depósitos.

Un muro de contención no solo soporta los empujes horizontales transmitidos por el terreno, debe también recibir los esfuerzos verticales transmitidos a pilares, paredes de carga y forjados que apoyan sobre ellos”

### 2.5.3 Operacionalización de la variable

Variables	Concepto	Dimensión	Indicador
<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>  <b>TAPÓN DE CONCRETO</b>	Los tapones de concreto se utilizan para una diversidad de aplicaciones, entre las que se encuentran el aislamiento hidráulico, la provisión de una plataforma segura, la contención del relleno depositado en el tajeo de interior mina.	<b>Caracterización geomecánica del macizo rocoso (RMR)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Rumbo</li> <li>▪ Buzamiento</li> <li>▪ Resistencia a la compresión no confinada de la roca intacta (<b>sigci</b>)</li> <li>▪ RQD</li> <li>▪ Espaciamiento</li> <li>▪ Persistencia</li> <li>▪ Apertura</li> <li>▪ Rugosidad</li> <li>▪ Alteración</li> <li>▪ Relleno</li> <li>▪ Agua</li> </ul> <b>Anclaje</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Longitud</li> <li>▪ Espaciamiento</li> </ul> <b>Distribución de las cargas</b> Eje X Eje Y	<b>Puntos</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Grados (°)</li> <li>▪ Grados (°)</li> <li>▪ Mpa</li> <li>▪ %</li> <li>▪ m</li> <li>▪ m</li> <li>▪ mm</li> <li>▪ S/U</li> <li>▪ S/U</li> <li>▪ S/C</li> <li>▪ l/ min</li> </ul> Tipo <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ m</li> <li>▪ m</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kg/cm<sup>2</sup></li> <li>▪ Kg/cm<sup>2</sup></li> </ul>
<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>  <b>MURO DE CONTENCIÓN</b>	Se denomina muro de contención a un tipo estructura de contención rígida, destinada a contener algún material, generalmente suelo.	Dimensiones <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Alto</li> <li>▪ Ancho</li> <li>▪ Espesor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ m</li> <li>▪ m</li> <li>▪ m</li> </ul>

## **CAPITULO III**

### **METODOLOGIA**

#### **3.1 El método de investigación**

El método de investigación es el científico, basado en el procediendo que se realiza en forma ordena tanto para la toma de datos como para el procesamiento e interpretación de resultados.

#### **3.2 El tipo de investigación**

El tipo de investigación es aplicada, ya que busca solucionar los problemas que se presentan en el dimensionamiento del muro de contención.

#### **3.3 El nivel de investigación**

El tipo de investigación es explicativo - correlacional, porque por medio del presente estudio se pretende explicar y analizar la relación que existe entre la variable independiente y la variable dependiente.

### **3.4 Diseño de investigación**

La fase de la investigación cuasi experimental describir el procedimiento de la toma de datos y el procesamiento de la información con la finalidad de buscar la relación de las variables.

M  $\longrightarrow$  O

Donde:

M = muestra a observarse.

O = Observación de la variable independiente.

O = Observación de la variable dependiente.

### **3.5 Población y muestra**

#### **3.5.1 La población:**

Está constituida por los tapones de concreto que se instalan en los tajeos mina Cerro Lindo, 2020.

#### **3.5.2 La muestra**

La investigación toma una muestra no probabilística por lo tanto no aleatoria, los tapones de concreto que se instalan en los tajeos mina Cerro Lindo, 2020

### **3.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.6.1 Técnicas de recolección de datos**

- Observación
- Entrevista
- Análisis documental
- Observación no experimental
- Observación experimental

#### **3.6.2 Instrumentos de recolección de datos**

- Fichas de observación

- Entrevista estructurada|
- Ficha de registro de datos
- Guía de observación o de campo
- Ficha de registro de datos

### **3.6.3 Procesamiento de la información**

Se realizará Software tales como

- Civil 3D
- Excel
- Word

### **3.6.4 Técnicas y análisis de datos.**

- Descarga de datos
- Exportas datos a los programas especializados
- Interpretación resultados del laboratorio de mecánica de rocas

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS**

#### **4.1 Caracterización geomecánica de las labores**

Para la evaluación geotécnicas de las labores en interior mina donde se construirán los tapones para tajeo, se realizó una revisión referente al estudio geomecánico el cual fue desarrollado por SRK (2015), in situ se realizó el levantamiento de la información geotécnica de estaciones geomecánicas, donde se realizó taladros SVS en zonas estipuladas de mayor interés, realizándose 70 estaciones geomecánicas, asimismo 4 líneas de detalle en las labores en interior mina distribuidas en orcas, diques y mineral. Respecto a los taladros diamantinos se ejecutaron en 4 taladros diamantinos que atraviesan las zonas de interés, los cuales hacen una sumatoria de 410 metros de testigos de perforación”.

Asimismo, se ejecutaron ensayos de laboratorio para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la roca intacta. Las muestras fueron obtenidas de bloques de rocas muestreados en los diferentes niveles, así

como de testigos de las perforaciones diamantinas de diferentes litologías.

Los ensayos de mecánica de rocas que fueron realizadas en el Laboratorio de Mecánica de Rocas de la Pontificia Universidad Católica del Perú:

- Propiedades físicas:
  - Densidad
  - Porosidad
  - Absorción.
- Propiedades de resistencia mecánica:
  - Carga puntual
  - Compresión uniaxial
  - Tracción indirecta
  - Compresión triaxial.
- Propiedades elásticas:
  - Módulo de Young
  - Relación de Poisson.

Asimismo, se realizó 106 pruebas o ensayos de carga puntual en el laboratorio de Mecánica de suelos de SVS de tipo regular e irregular, los cuales fueron obtenidos de los testigos de perforación:

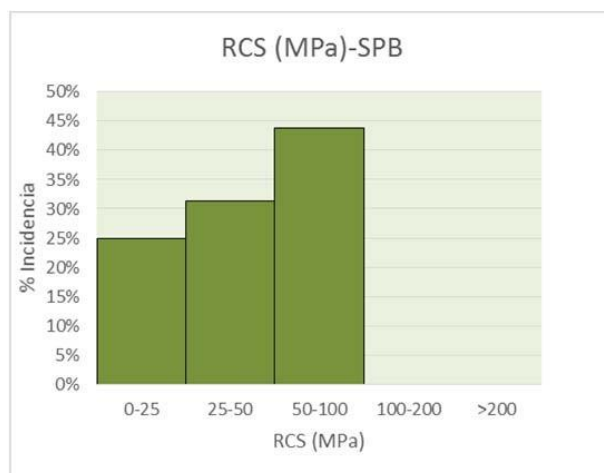
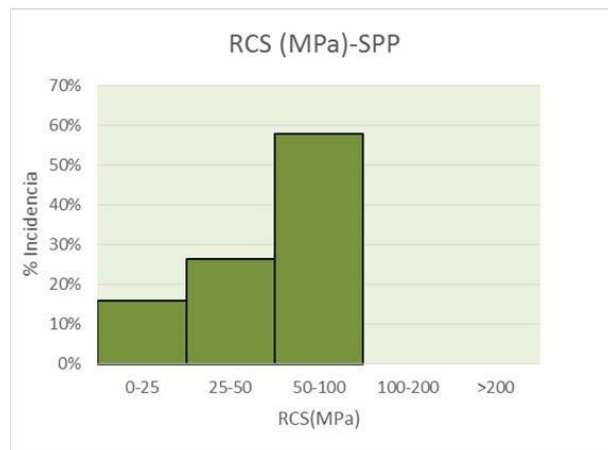
#### **A) Roca Intacta**

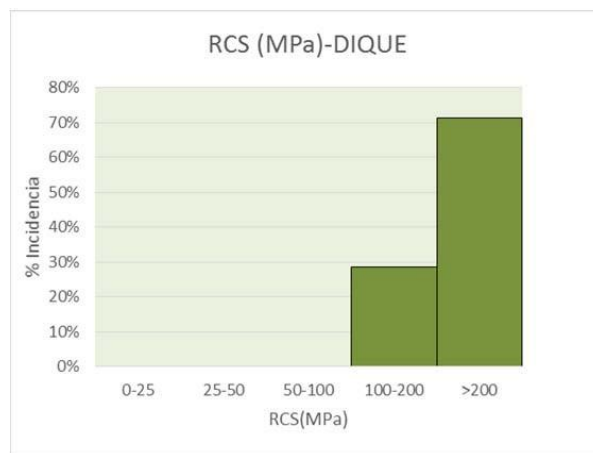
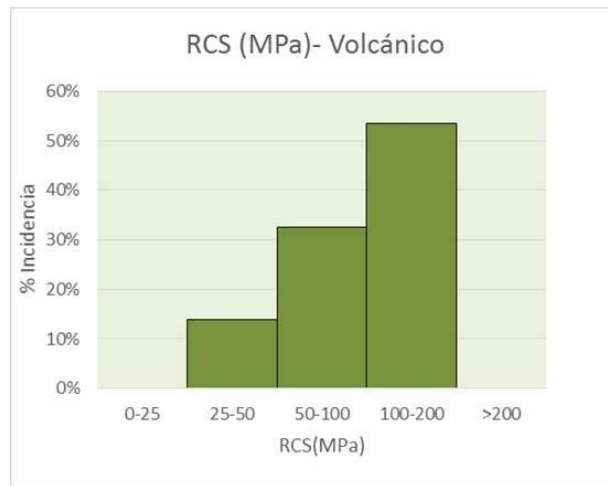
Los distintos ensayos de laboratorio fueron analizados y compatibilizados por el tipo de roca predominante y ubicación correspondiente a la caja piso cercana, caja techo cercana y veta, cuyos resultados optan valores representativos para dichas zonas. Los tipos de roca predominantes están conformados por diques, los cuerpos (sulfuros de pirita y baritina) y Volcánico (roca encajonante)”



## B) Macizo Rocos

La determinación geomecánica tiene por finalidad definir la calidad y clasificación del macizo rocoso circundante a los tajeos de explotación. También, admite zonificar el macizo rocoso en dominios estructurales, caracterizándolos por su uniformidad estructural y geomecánica.





**Imagen 3:** Estadística de la compresión simple de roca intacta para diferentes dominios

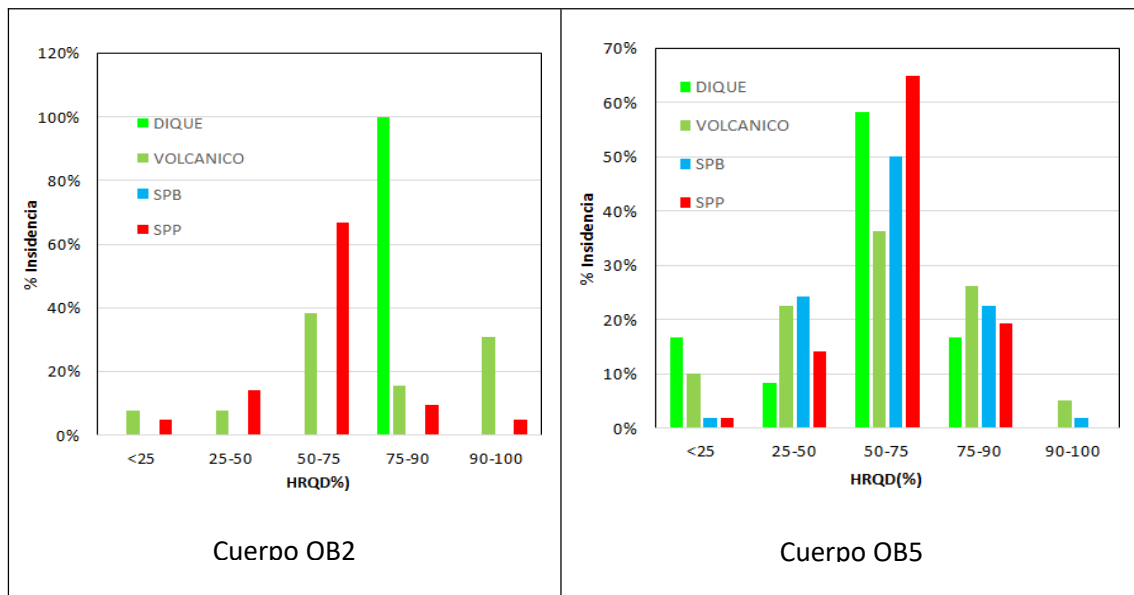
“En la zona de análisis (cuerpo y cajas), se ha podido estimar la variabilidad de la resistencia a la compresión simple para los diferentes dominios: Para el volcánico (roca encajonante), se tiene una tendencia a la resistencia a la compresión que varía entre 39 a 180 MPa, para el cuerpo mineralizado (SPP y SPB) la resistencia varía entre los 20 a 100 MPa y para el Dique entre 142 a 212 Mpa”.

Tabla N° 1 Resistencia a la compresión simple de la roca intacta.

Litología	Cantidad de Ensayos	Mín. de RCS (MPa)	Máx. de RCS (MPa)	Prom. de RCS (MPa)
SPP (mineral)	20	20	105	60
SPB (mineral)	19	20	85	45
ENCLAVE	5	25	115	55
VOLCÁNICO	40	40	180	118
DIQUE	8	140	215	195

### C) Cálculo del índice RQD

“El índice de designación de la calidad de la roca RQD (Deere, 1964) provee un estimado cuantitativo de la calidad de la masa rocosa a partir de los testigos de la perforación diamantina. El análisis estadístico del RQD fue realizado para la roca encajonante, cuerpo mineralizado y dique por separado, con la finalidad de apreciar el fracturamiento para cada dominio”



### D) Clasificación geomecánica

Para la clasificación geomecánica, se utilizaron para definir la clasificación

geomecánica los siguientes sistemas:

➤ **Sistema de clasificación RMR76**

El sistema fue desarrollado en 1976 por Bieniawski. Considerando seis parámetros de clasificación para clasificar el macizo rocoso como muestra la tabla N° 02 (ver tabla siguiente)

*Tabla N° 2 Parámetros de Clasificación del Sistema RMR<sub>76</sub>*

<b>Parámetros de Clasificación</b>	<b>Rango de valores</b>
Resistencia Uniaxial de la roca intacta	0 – 15
Rock Quality Designation (RQD)	3 – 20
Espaciamiento de discontinuidades	5 – 30
Condición de las discontinuidades	0 – 25
(*): No se considera la valoración para minería	
<b>Parámetros de Clasificación</b>	<b>Rango de valores</b>
Condiciones hidrogeológicas, agua subterránea	0 – 10
(*) Ajuste por orientación de discontinuidades	(-12) – 0

Según el índice RMR la clasificación de la masa rocosa está de acuerdo a la tabla N° 3, la cual indica a continuación.

*Tabla N° 3 Clases de Macizo Rocosos y sus Índices RMR*

<b>Índice RMR</b>	<b>Clase</b>	<b>Calidad del macizo rocoso</b>
81 - 100	I	Roca muy buena
61 - 80	II	Roca buena
41 - 60	III	Roca regular
21 - 40	IV	Roca mala
< 20	V	Roca muy mala

➤ **Clasificación geomecánica del SPP**

De acuerdo a las características geomecánica en los cuerpos OB2 y

OB5, tiene una resistencia de la roca intacta para el SPP que varía entre 20 a 90 MPa. Asimismo, se considera que la roca intacta contiene baja resistencia roca intacta, lo cual se determinó el HRQD que varían entre 20 a 60%. Asimismo, se determina que el espaciamiento entre las discontinuidades varía es de 5 a 30 cm.



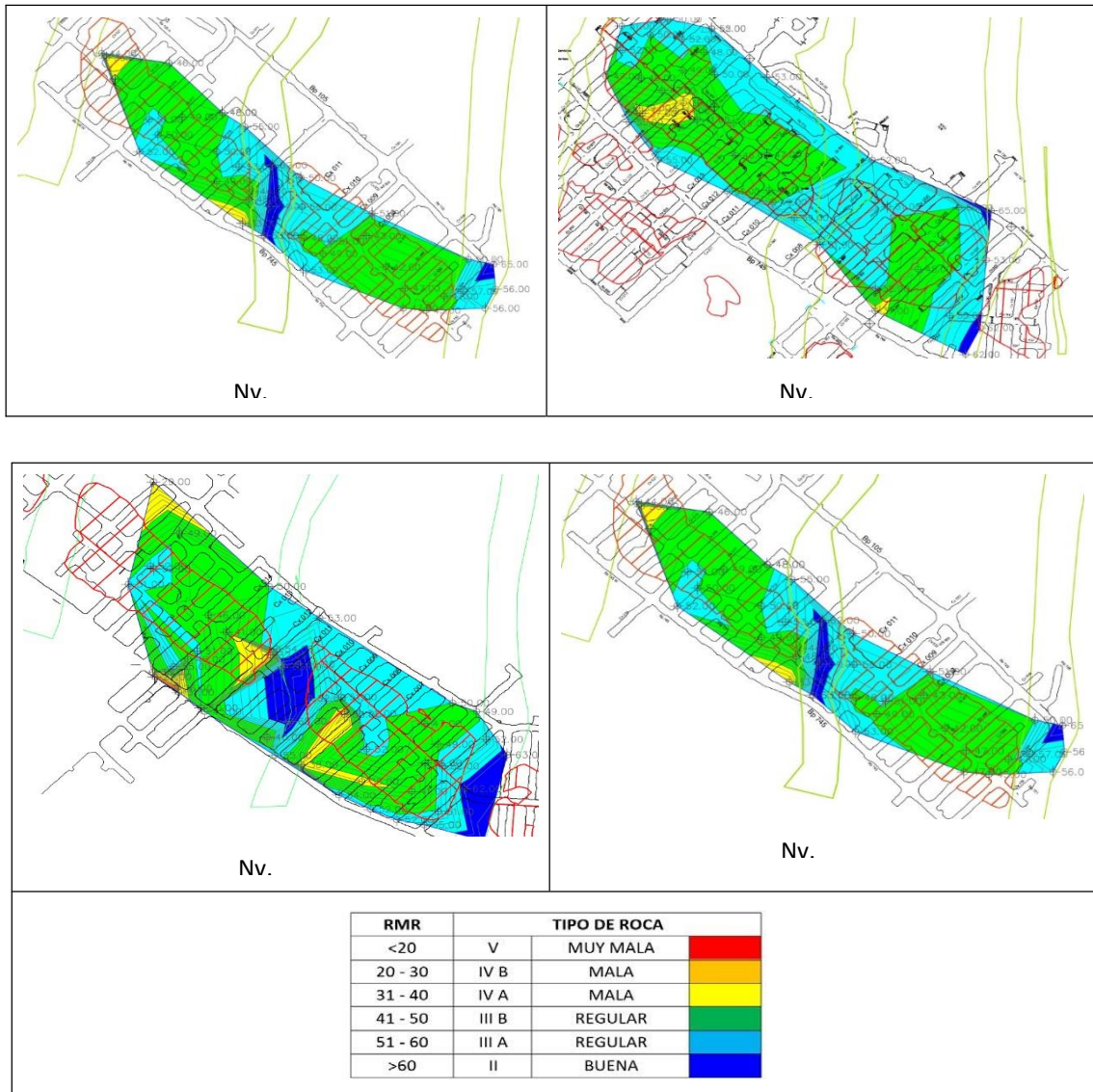
**Imagen 4:** SPP de grano grueso a medio en el Nv 1680 CX18



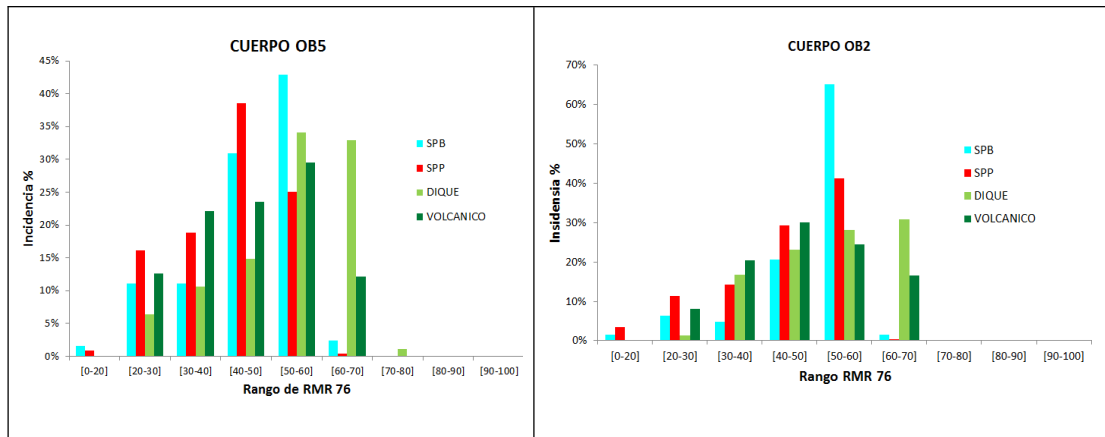
**Imagen 5:** SPP de grano grueso a medio CL 13-1740-07(57.18-62.35)

De acuerdo a los datos tomados de RMR, se realizaron planos de isovalores en vista planta para cada nivel, el cual arrojó la variación de RNR a lo largo de todo el cuerpo mineralizado incluido la roca encajonante adyacente al mineral y los diques. También apreciamos que el tipo de roca predominante para el sector mineralizado es del tipo III, 40 – 60 roca regular; asimismo, para la roca caja cercana es de tipo III, roca regular; también se observa la tendencia a mejora en la zona

encajonante lejana RMR 50 – 60, roca regular. Finalmente, para la roca predominante es el tipo II, 60 – 80, roca buena.



**Imagen 6:** Isovalores de RMR-OB5 para los niveles: 1680,1710,1740 y 1770



**Imagen 7:** Análisis Estadístico de Valores de RMR para los cuerpos OB5 y OB2 respectivamente

**Tabla N° 4** Variabilidad de la Clasificación Geomecánica RMR en los cuerpos OB2 y OB5.

Dominio Litológico	OB2			OB5		
	RMR min.	RMR máx.	RMR 76 Prom.	RMR min.	RMR máx.	RMR 76 Prom.
SPP/SPB	16	65	52	18	65	52
VOL CERCANO	17	55	46	22	55	46
VOL LEJANO	35	70	54	35	70	54
DIQUE	17	69	55	24	74	56

➤ **Dominios geotécnicos**

Con el fin de tener dominios geotécnicos o zonas geotécnicas con características más o menos uniforme, el macizo rocoso fue zonificado teniendo en consideración los siguientes aspectos: grado de fracturamiento (RQD) estructuras, geología, índice RMR, propiedades de resistencia de la roca intacta, discontinuidades. La zonificación predominante del macizo rocoso fue subdividida en cinco sectores denominados:

- Mineral
- caja piso
- caja techo cercana
- caja techo lejana
- Dique

A continuación se muestra el resumen de los índices de calidad representativos de cada dominio estructural:

*Tabla N° 5 Resultados de los índices y calidad del macizo rocoso*

<b>Dominios geotécnicos</b>	$\sigma_{ci}$ (MPa)	RQD (%)	RMR	Q'	GSI
Mineral	50	50	50	1.95	50
Caja T. Cercana	80	40	46	1.25	46
Caja T. Lejana	138	60	55	3.39	55
Dique	205	75	60	5.92	60

➤ **Propiedades de resistencia y elásticas del macizo rocoso**

“Las propiedades de resistencia del macizo rocoso difieren de la roca intacta, debido a que el primero presenta discontinuidades como diaclasas, fisuras, fallas, etc., siendo prácticamente imposible ejecutar ensayos de corte o de compresión triaxial en el mismo, a una escala apropiada”.

“Por esta razón, se han definido criterios de fallamiento del macizo rocoso a partir de los índices de clasificación, siendo uno de ellos el criterio propuesto por Hoek & Brown (1988), actualizado por Hoek, Carranza-Torres y Corkum (2002)”.

“Este criterio toma en consideración la resistencia de la roca intacta y las constantes  $m_b$ ,  $s$  y  $a$ , las que se estiman en función de la estructura y la condición de las discontinuidades del macizo rocoso,



estando representado por el índice de resistencia geológica GSI. La forma generalizada del criterio de fallamiento de Hoek – Brown es”:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} \left( m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + s \right)^a$$

Donde:

“mb, s y a son parámetros que dependen de las características del macizo rocoso y cuyo cálculo se detalla más adelante”.

“σci es la resistencia a la compresión uniaxial de la roca intacta”.

“σ'1, σ'3 son los esfuerzos efectivos principales axial y de confinamiento respectivamente”.

“Los parámetros mb, s y a, se calculan mediante las siguientes fórmulas aplicables a macizos rocosos disturbados y no disturbados”.

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI-100}{28-14D}\right), \quad s = \exp\left(\frac{GSI-100}{9-3D}\right), \quad a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left( e^{-\left(\frac{GSI}{15}\right)} - e^{-\left(\frac{20}{3}\right)} \right)$$

“La variable m<sub>i</sub> de la fórmula anterior es la constante de la roca intacta, la cual fue estimada mediante los ensayos de compresión triaxial realizados en el laboratorio”.

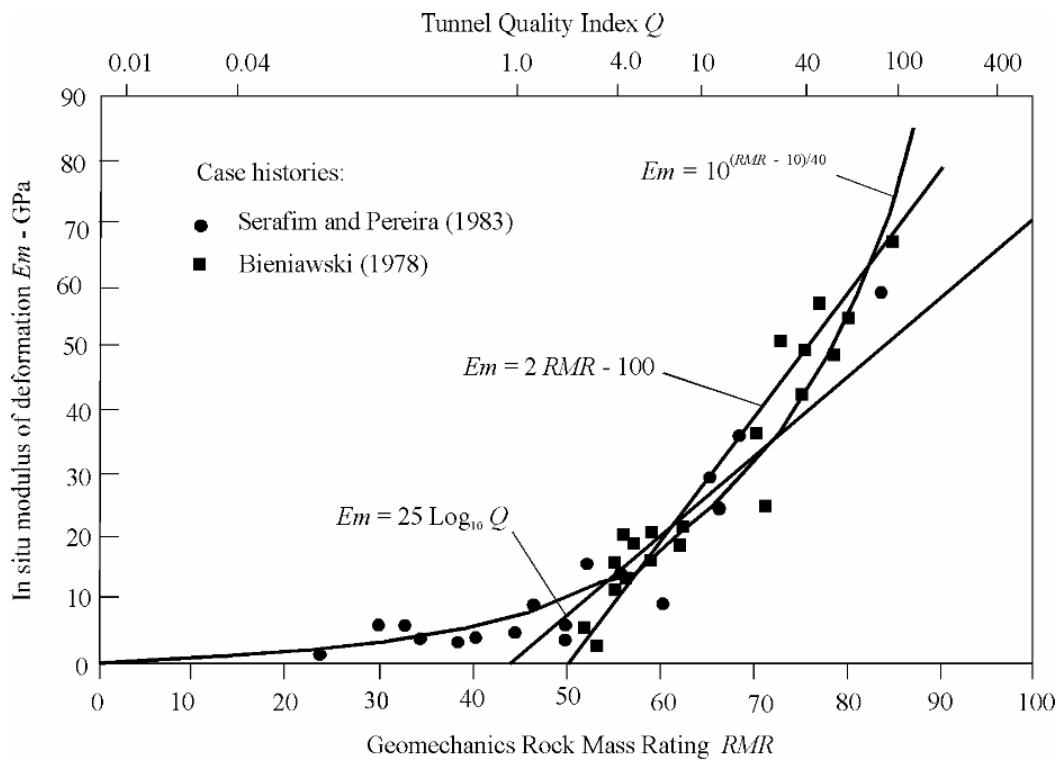
“D es un factor de daño que depende del grado de alteración al cual el macizo rocoso está sujeto por efecto de la voladura y relajación de presiones”. “Este factor varía de 0 para macizos rocosos in-situ no alterados hasta 1 para macizos rocosos muy alterados. Para el caso de cerro lindo se utilizó D=0”.

“Dado que muchos de los programas geotécnicos utilizan los parámetros del criterio de falla de Mohr-Coulomb, se han calculado los

valores de la cohesión y ángulo de fricción del macizo rocoso siguiendo la metodología propuesta por Hoek (Hoek et. al, 2002), la misma que relaciona los valores del esfuerzo normal y de corte con los esfuerzos principales”. “Estos parámetros fueron determinados con el programa Rocdata de Rocscience”.

“El módulo de deformación in situ del macizo rocoso es un parámetro importante para el análisis numérico y la interpretación del monitoreo de deformación alrededor de las aberturas subterráneas”. Estos parámetros son muy difíciles y caros de determinar en el campo, Bieniawski, Serafín y Pereira (1983),

“Grimstad y Barton (1993) y otros han establecido diferentes correlaciones del módulo de elasticidad con la calidad del macizo rocoso, que son resumidos en la siguiente figura”:



**Imagen 8:** Estimación de las Propiedades Elásticas del Macizo rocoso

Tabla N° 6 Parámetros de Resistencia del Macizo Rocoso

Dominio Estructural	mi	Densidad (KN/m3)	$\sigma_{ci}$ (MPa)	GSI	Macizo rocoso									
					$\sigma_c$ global MR (MPa)	Hoek-Brown			Mohr Coulomb ( $\sigma_{3max} = 2MPa$ )		Mohr Coulomb ( $\sigma_{3max} = 8MPa$ )		Propiedades Elásticas	
						$m_b$	s	a	C (MPa)	Phi (°)	C (MPa)	Phi (°)	Em* (MPa)	v
Mineral	18	45.40	50	50	11.569	3.018	0.0039	0.506	0.896	50.59	2.206	39.35	15000	0.30
Caja T. Cercana	24	27.4	80	46	19.643	3.489	0.025	0.505	1.041	55.25	2.622	44.56	12000	0.24
Caja T. Lejana	28	27.4	138	55	43.846	5.613	0.0067	0.504	1.645	61.96	3.735	52.71	20000	0.24
Dique	27	27.3	205	60	70.785	6.471	0.0117	0.503	2.439	64.69	4.735	56.53	25000	0.22

\*: Este parámetro fue estimado con el Retro-análisis de los tajeos fallados y bibliografía especializada.

Para cumplir con el estándar de diseño de tapones debemos tener en cuenta la resistencia al corte del macizo rocoso, lo cual puede determinarse sobre la base de enfoques empíricos, como, por ejemplo. En la “Guía para el Diseño de Tapones para el cierre de Labores Mineras” (Pagina 11, MEM, 2007), “para el caso de labores de cierre de mina, se considera valores de Factor de Seguridad de 3, en el caso de los tapones de los tajeos por ser labores temporales consideraremos un factor de seguridad de 1.5, es decir la resistencia máxima al corte para el Macizo Rocosos se considera igual a 600 KPa, y una resistencia máxima de corte admisible de 400 KPa (FS=1.5). Ver tabla Siguiente”.

*Tabla 7 Resistencia al Corte para Tapones (MEM, 2007)*

**Tabla 2-1 Resistencia al Corte y Gradientes Hidráulicas de Diseño para Tapones de Túnel (según Benson, 1989)**

Condición general de la roca RMR – Evaluación del macizo rocoso	Resistencia al corte (Máxima resistencia al corte admisible) <sup>1</sup> (kPa)	Máxima gradiente hidráulica admisible <sup>2</sup> m/m	Máxima gradiente de presión admisible kPa/m
Muy Buena Roca Masiva, dura, ampliamente diaclasada 81<RMR<100	1500 (500) <sup>3</sup>	15 - 30	150 - 300
Buena Roca Dura a moderadamente dura, moderadamente diaclasada 61<RMR<80	900 (300)	10 - 14	100 - 140
Roca Moderada a débil, meradamente diaclasada 41<RMR<60	600 (200)	7 - 9	70 - 90
Roca Pobre Débil, cercanamente diaclasada o cortada 21<RMR<40	300 (100)	5 - 6	50 - 60
Roca Muy Pobre Muy débil, probablemente erosionable RMR < 20	150 (50)	3 - 4	30 - 40

Nota: Las características erosionables de tapón aguas abajo deberán tratarse localmente

<sup>1</sup> Considerando un factor de seguridad de por lo menos 3.0.

<sup>2</sup> Los gradientes hidráulicos admisibles pueden ser mayores si se lleva a cabo una inyección en la formación.

<sup>3</sup> La resistencia al corte estimado del macizo rocoso (kPa) y entre paréntesis la máxima resistencia al corte admisible.

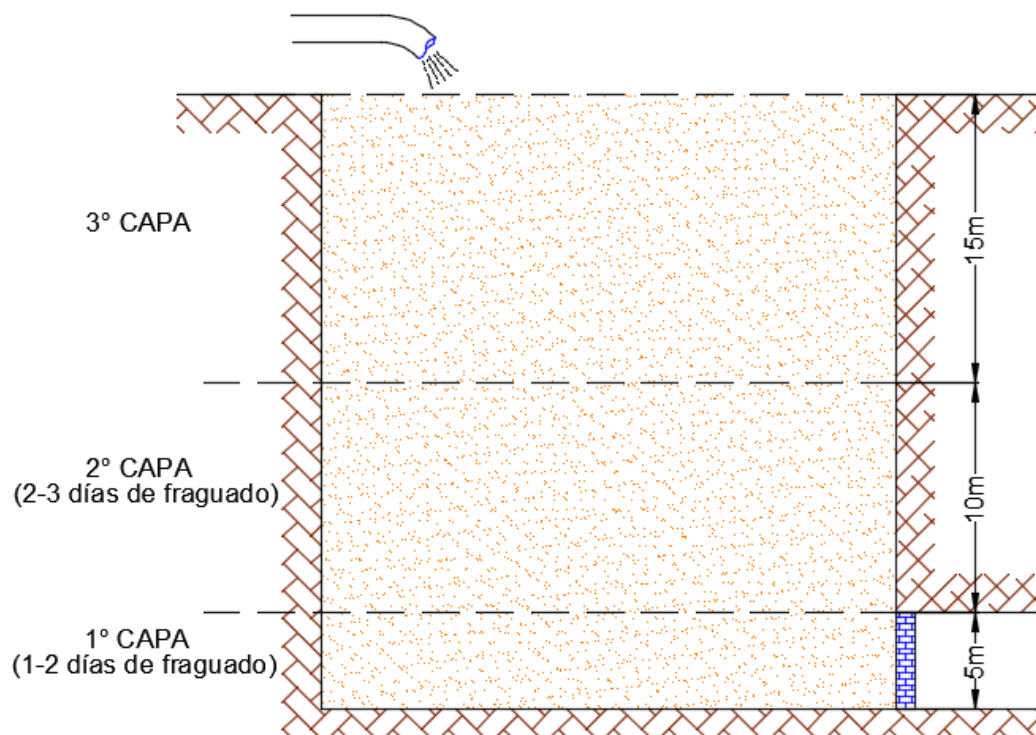
## 4.2 Diseño de tapón de Concreto Armado

### 4.2.1 Consideraciones de diseño

- **Secuencia de llenado de tajos y presiones del relleno sobre el tapón de concreto armado**

En la Unidad Minera Cerro Lindo se tiene un procedimiento para el relleno de tajos el cual se realiza con tubería de acero de 8" desde la planta de relleno hasta los diversos tajos de interior mina. Para ello la secuencia consta de rellenar los tajos en tres etapas:

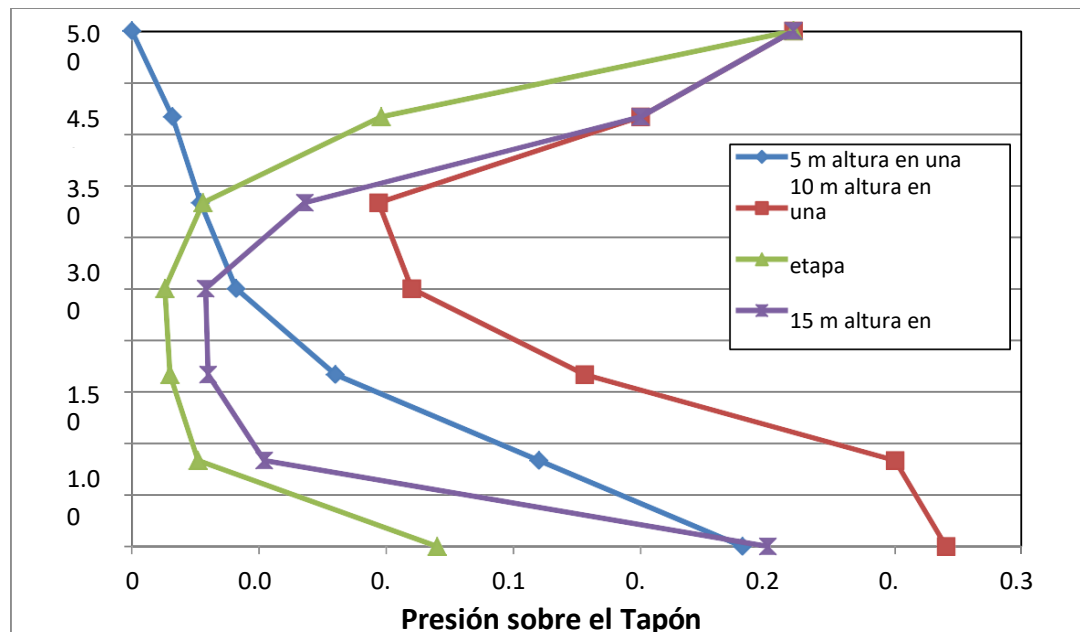
- Capa 1: Alcanza una altura de 5 metros a la parte superior del tajo
- Capa 2: Esta consta 12 metros de altura y se aplica después de dos días de fraguado después de la capa 1.
- Capa 3: Esta capa consta de 15 metros de altura, el cual completa el relleno del tajo y es aplicada después de tres días de fraguado de la capa dos



**Imagen 9:** Secuencia de llenado de tajos

“A partir de dicho proceso de acuerdo a las etapas establecidas la altura de relleno en los tajos origina presión en los tapones de concreto. Cabe resaltar que los 30 metros de altura de relleno en el tajo no origina presión total en el tapón de concreto, ya que el proceso de rellenado por etapas se realiza con tiempos de fraguados en cada capa.

Se utilizó el software Phases8.0 para comprobar valores de presiones máximas que se generan en los 10 primeros metros de rellenado de tajos, el resultado fue el siguiente:



**Imagen 10:** Presiones del relleno sobre el tapón a lo largo de la secuencia de llenado

#### 4.2.2 Diseño del tapón de concreto armado

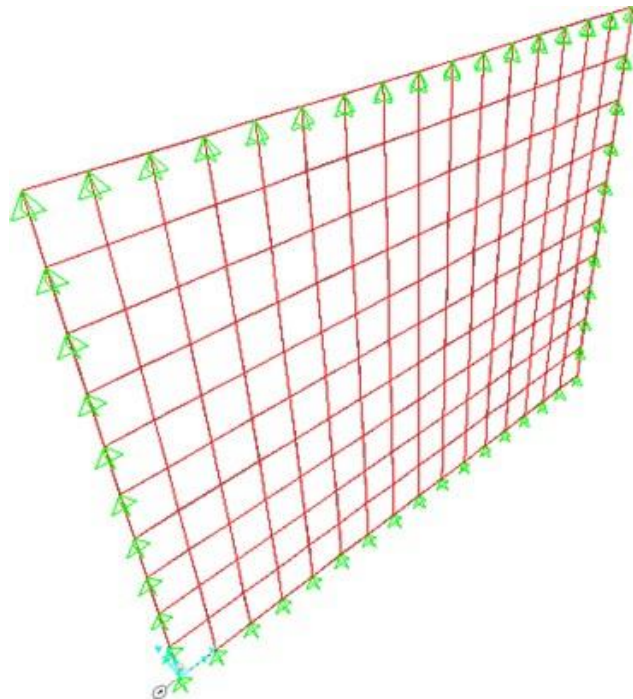
➤ **Prueba de presiones del relleno sobre el tapón de concreto armado**

El análisis estructural considera al tapón como un modelo bidimensional, los cuales cuentan con apoyos fijos espaciados entre 0.4 y 0.5 m. a lo largo del perímetro de la estructura. Las cargas del análisis consideran

tanto la carga muerta por peso propio como las cargas de empuje del relleno de mina”.

Se considera un concreto con resistencia a la compresión  $f'c$  de 210  $\text{kg/cm}^2$ . Asimismo, un acero de refuerzo grado 60,  $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ .

El diseño elaborado está de acuerdo a las recomendaciones de la norma ACI 318-05 y de la Norma Peruana E.060 de Concreto Armado.



**Imagen 11:** Modelo Bidimensional del Tapón en SAP2000

➤ **Diseño numérico**

Seguidamente se describe los parámetros más importantes usados en el diseño de los tapones de concreto:

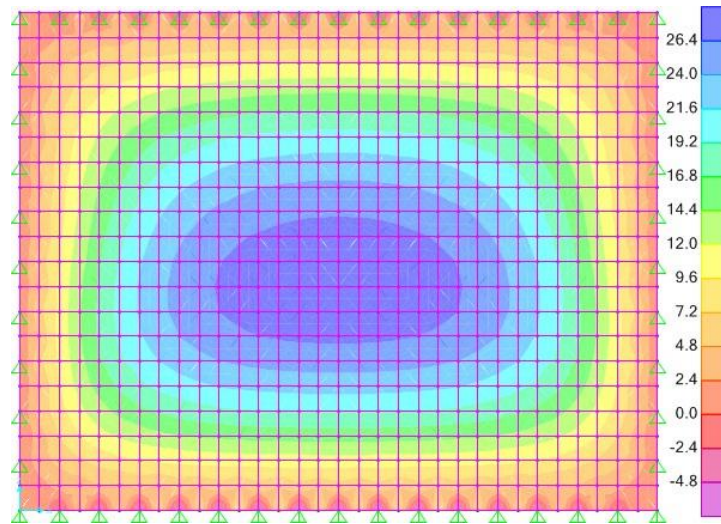
γ del concreto 2400  $\text{kg/m}^3$

Factor de seguridad: 1.5

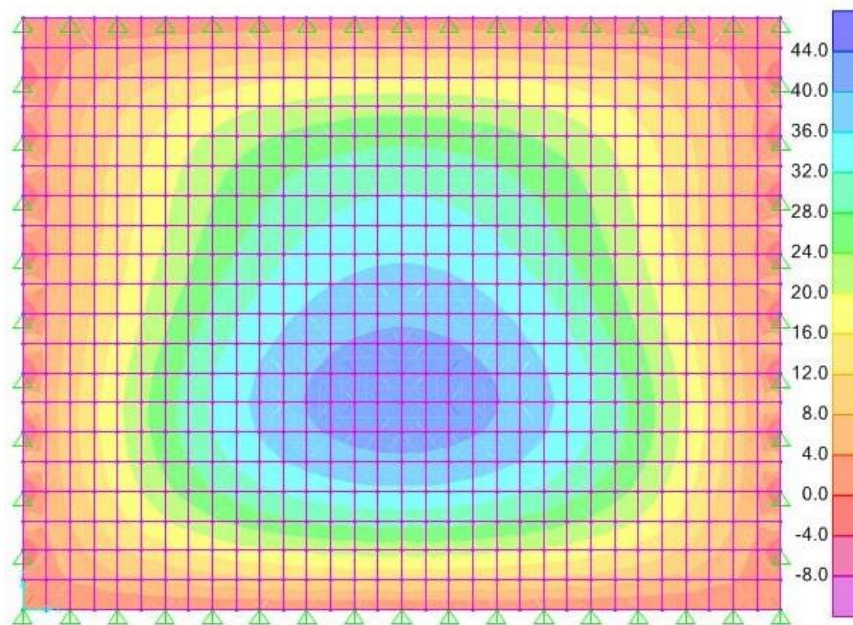
Resistencia a la compresión 210  $\text{kg/cm}^2$

Límite de fluencia 4200  $\text{kg/cm}^2$

“El modelo estructural del tapón consideró un elemento bidimensional tipo cáscara de 6 metros de ancho y 5 metros de largo, con apoyos dobles distribuidos en el perímetro del elemento a cada 0.40 m y que representan los pernos de anclaje del tapón”. “Los resultados gráficos del programa SAP2000 son”:

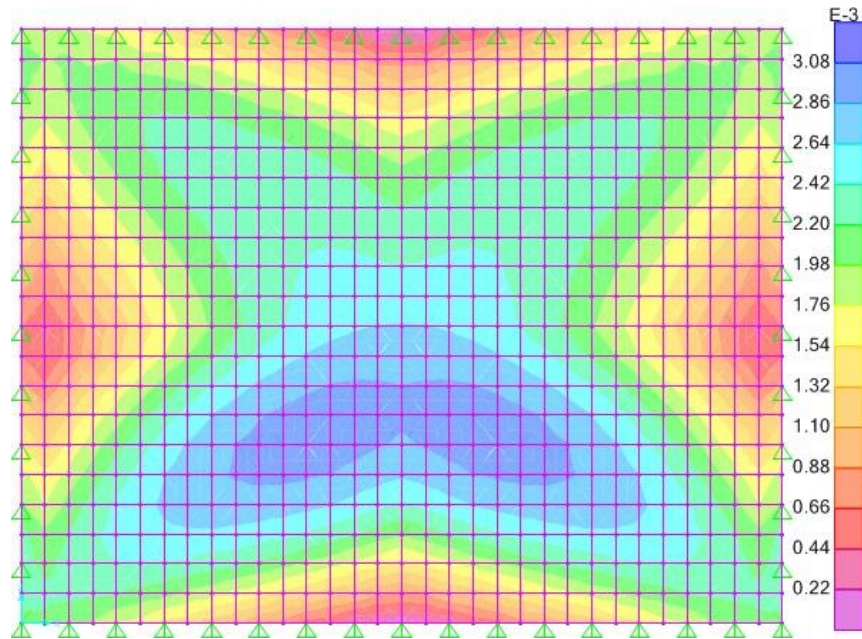


**Imagen 12:** Momento flector en la dirección horizontal en el tapón (en tn-m)

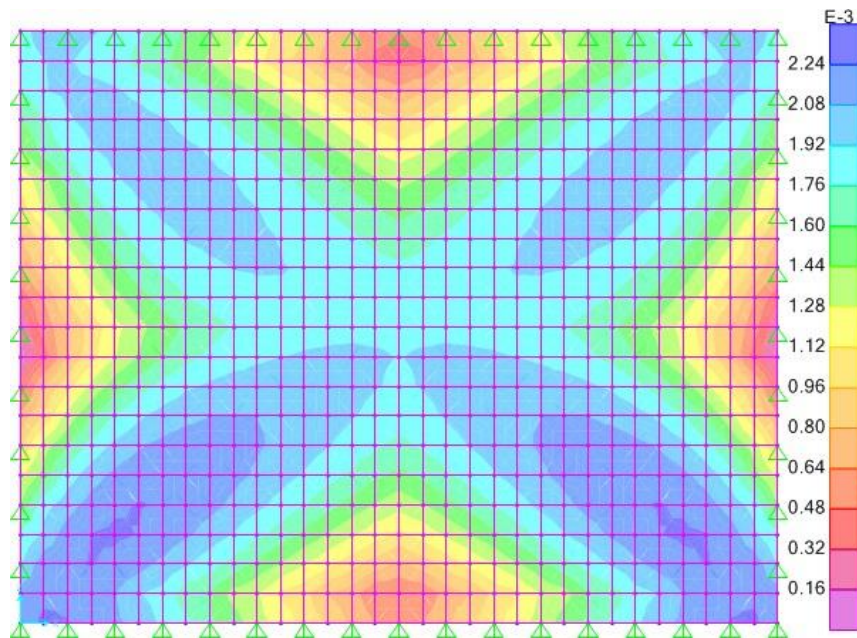


**Imagen 13:** Momento flector en la dirección vertical en el tapón (en tn-m)





**Imagen 14:** Acero de refuerzo horizontal necesario en el tapón (en m<sup>2</sup>/ml de tapón)



**Imagen 15:** Acero de refuerzo vertical necesario en el tapón (en m<sup>2</sup>/ml de tapón)

Se determinó con el programa SAP 2000 y se tuvo en cuenta las recomendaciones de las normas ACI y E.060 de Concreto Armado, con los cuales se llegó a la conclusión de optar por las siguientes características de diseño:

- Para el espesor de muro de concreto armado se considerará 0.35 m.
- El acero de refuerzo constará de dos mallas con varillas corrugadas de 5/8" de diámetro, los cuales estarán distanciados 0.2 m. entre ellas y serán recubiertas con concreto 0.05 m.

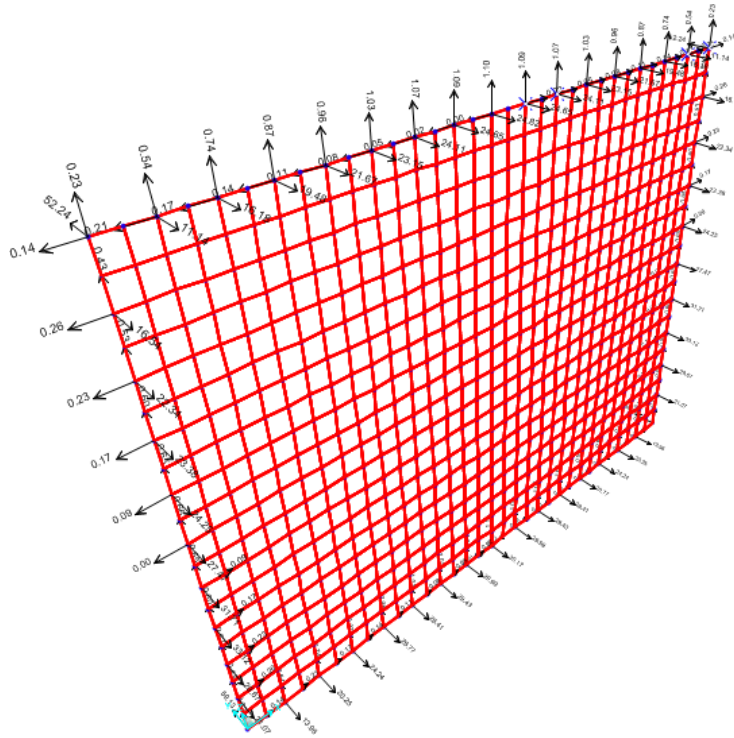
#### **4.3 Cálculo de pernos helicoidales para anclaje de tapón de concreto**

En este proceso constructivo se considera pernos helicoidales de 1 pulgada por 2.7 m. de grado 75, el cual va perforado 5 pies en roca insitu y 4 pies embebidas al concreto, para mejorar la adherencia entre el perno de anclaje y el concreto se implementa el uso de aditivo de adherencia Master Emaco ADH 326 .

Las características de los pernos helicoidales se muestran en la siguiente tabla:

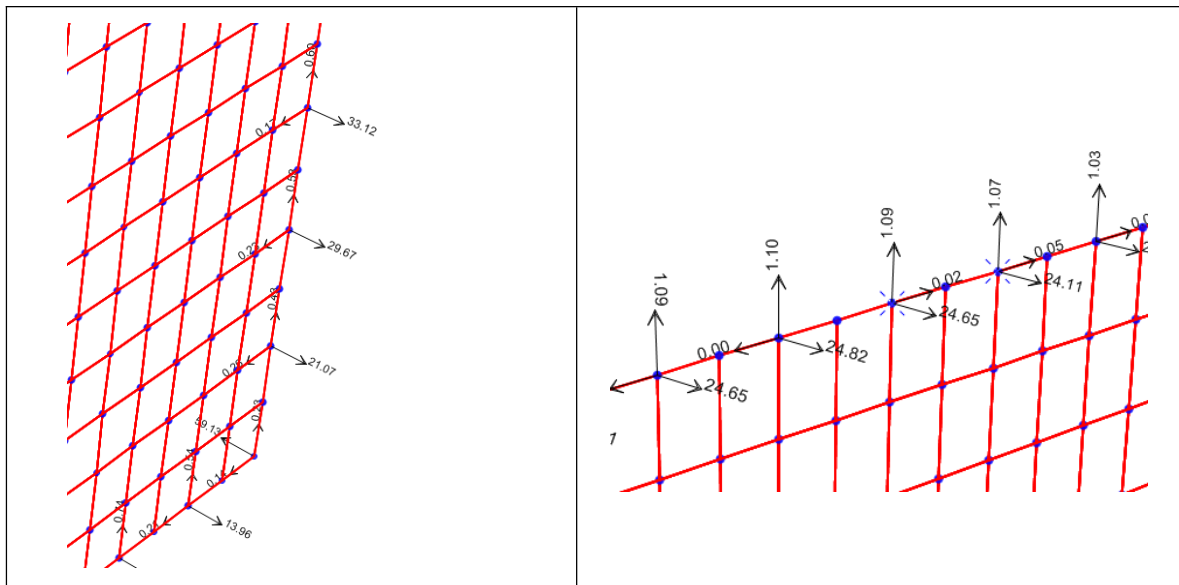
*Tabla N° 8 Parámetros de Anclaje de Muro de Concreto Armado*

<b>Descripción</b>	<b>Parámetro</b>
Resistencia al arranque de los pernos de anclaje en roca	10 a 12 tn/m
Tipo de Pernos de Anclaje	Pernos helicoidales de 25 mm de diámetro acero grado 75
Anclaje	Lechada cemento
Anclaje de perno en la roca	5 pies para tapón recto
Anclaje de perno en muro de concreto	4 pies



**Imagen 16:** Distribución de las cargas a lo largo del muro de concreto armado

A partir de los valores de las reacciones obtenidos en el programa SAP 2000, se analizaron los pernos de anclaje para el tapón.



**Imagen 17:** Reacciones en los pernos de anclaje (Método Numérico – SAP2000)

“En las figuras se observan los valores máximos obtenidos en tracción y en corte para las reacciones en los pernos, los cuales son 1.10 tn y 33.12 tn respectivamente”.

“La resistencia en tracción de los pernos está dada por el esfuerzo de fluencia. Dado que se trata de acero grado 75, el esfuerzo máximo en tracción será de 7030 kg/cm<sup>2</sup>, es decir 7 tn/cm<sup>2</sup>”.

“Para este proyecto, se ha considerado un perno helicoidal de 1” de diámetro, por lo que se tiene un área nominal de 5.07 cm<sup>2</sup>. Con este valor de área, la resistencia del perno en tracción será de 35.5 tn, mayor a 1.10 tn, valores obtenidos de las solicitaciones”.

“Para la resistencia al corte de los pernos, se ha considerado un 80% de la resistencia a la tracción, esto es 28.4 tn. Así, más del 85% de los pernos se encuentran en condición favorable, por lo que se valida el diámetro de perno seleccionado”.

“Para el arrancamiento de los pernos, se consideró una resistencia de 12 tn/m. Los pernos proyectados tienen una longitud de anclaje de 5 pies, esto es 1.5 m, por lo que su resistencia total será de 18 tn, superior a las solicitaciones en tracción de los pernos según el análisis estructural”.

“A modo de conclusión, estos pernos helicoidales cumplirán con las especificaciones de la norma ASTM A615, serán de grado 75 y de diámetro de 1” (25 mm). Los pernos proyectados tendrán una longitud de 9 pies, 5 de ellos anclados en la roca y 4 en el concreto”.

#### ➤ **Parámetros de diseño**

“Las condiciones iniciales para realizar el diseño de este tipo de tapón son las siguientes”:

- La sección típica en la que se construirá el tapón será de 6 m de ancho y 5 m de alto;
- La presión sobre el tapón será de una carga de 5 m inicial con dos días de fraguado, 10 m de llenado, con tres días de fraguado y 15 m restantes hasta la altura máxima del tajeo:
- La Resistencia a la compresión uniaxial del muro ( $f'_c$ ) será de 5 MPa;
- La densidad del relleno es de 2.8 t/m<sup>3</sup>;
- Los parámetros de la roca son: RMR = 46 y Resistencia cizallante del macizo rocoso = 600 KPa;
- Gradiente hidráulica máxima permisible: 8 (m/m);
- Gradiente a presión máxima permisible: 80 (KPa/m); y
- Factor de seguridad: 1.5.

➤ **Verificación de la resistencia al corte del muro**

“El esfuerzo de corte permisible ( $f'_s$ ) para el muro sin refuerzo se determina de la siguiente manera:”

$$f'_s = 166.1 * \sqrt{f'_c} = 166.1 * \sqrt{3} = \mathbf{288 \text{ KPa}}$$

➤ **Verificación de la resistencia al corte del macizo**

“La resistencia cizallante máxima permisible del macizo rocoso se obtiene del siguiente modo”:

$$f'_{mr} = \frac{600}{FS} = 600 * 1.5 = 400 \text{ KPa}$$

“La falla por corte estará controlada por el esfuerzo de corte permisible desarrollado en el muro, debido a que presenta el menor

valor de resistencia al corte, respecto al macizo rocoso”.

➤ **Cálculo de la longitud de tapón de diseño**

- Longitud del tapón basada en la resistencia al corte en la interfaz Muro-Roca (Enfoque Sudafricano)

$$L = \frac{W * A}{Perímetro * f'_s} = \frac{0.34 * 6}{12.4 * 0.0288} = 0.57 \text{ m}$$

Longitud del tapón basada en la resistencia de soporte del muro y la roca en el interfaz

$$f_c = 3.75 * f'_s = \frac{3.75 * 400}{1000} = 1.50 \text{ MPa}$$

$$L = \frac{2 * W * A}{P_e * f_c} = \frac{2 * 0.34 * 6}{12.4 * 1.50} = 0.22 \text{ m}$$

➤ **Gradiente hidráulica empírica/verificaciones de infiltración**

“La práctica sudafricana requiere que se realicen las verificaciones en la longitud del tapón para garantizar que la gradiente de presión (P/L) a lo largo del tapón no exceda el criterio siguiente”:

- P/L < 470 KPa/m “donde el contacto entre el tapón y la roca no está inyectado”
- P/L < 3660 KPa/m “donde la presión de inyección aplicada en el macizo rocoso alrededor del tapón es al menos el doble de la presión hidrostática de diseño”

“Si se considera un valor de P/L igual a 915 KPa y un factor de seguridad igual a 1.5, se tendrá”:

$$\frac{P}{L} = \frac{915}{1.5} = 763$$

$$L = \frac{W}{\frac{P}{L}} = \frac{336}{763} = 0.44 \text{ m}$$

“Finalmente, luego de realizar todos los análisis necesarios se determina que la longitud total del tapón será 0.60 metros para controlar la falla por corte”.

“Adicionalmente, se realizó una modificación al tapón obtenido a partir de los cálculos, con la finalidad de brindarle una geometría y características que permita contrarrestar de manera óptima las presiones debido al relleno”. “Por tal motivo, se consideró una base superior de 0.6 m y una base inferior de 1 m, obteniéndose un muro de piedra emboquillada de sección trapezoidal con 1.2 m de alto y un ancho de 5 m”. “Este tapón estará construido sobre desmonte de mina, tal como se muestra en la figura inferior. Asimismo, se colocará una capa de geotextil no tejido (200 gr/cm<sup>2</sup>) o tela arpillera, para asegurar solo la filtración de agua a través del tubo de HDPE corrugado y perforado”.

#### **4.4 Proceso constructivo de tapones de concreto armado y monitoreo**

##### **➤ Declaración del Proyecto**

La construcción de muros, es parte del ciclo de relleno los tajeos; por lo que es importante que estos muros estén terminados en el tiempo previsto para cumplir su rol dentro del ciclo de minado. Por lo cual, los procesos constructivos y monitoreos son los siguientes:

- **Paso N° 01: Perforación con Bolter e inyectado de lechada de cemento:** Se realiza la perforación de la roca insitu de los hastiales derecha, izquierda y la corona con la maquinaria Bolter, esta perforación es de 38 mm para inyectar lechada de cemento dentro de la perforación con el equipo de bombeo de concreto. La perforación es de 5 pies o 1.50 m.



*Imagen 18: Perforación con Maquinaria Bolte*

- **Paso N° 02: Perforación con Jack Hanner:** Realizada la perforación de los hastiales y corona se continúa la perforación de la base con el equipo Jack Hanner manipulado por dos trabajadores. La perforación es de 5 pies o 1.50 m.

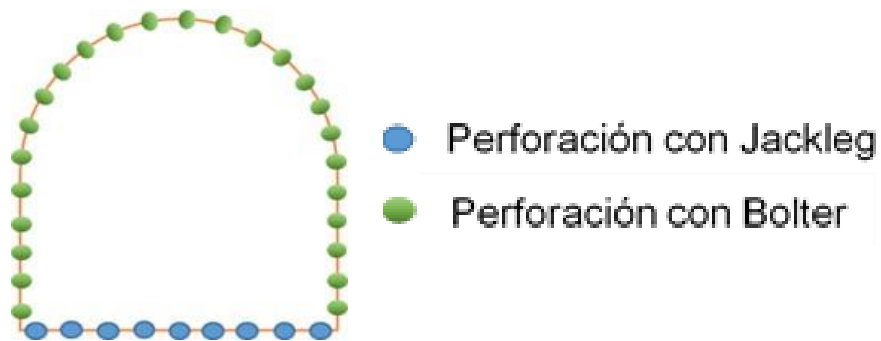
- 



*Imagen 19: Perforación con Equipo Jack Hanner*



A continuación, se muestra el esquema de perforación para la inyección de los pernos helicoidales.



**Imagen 20:** Esquema de perforación

- **Paso N° 03: Inyectado del perno helicoidal:** Se colocan los pernos helicoidales de 1 pulgada, de la cual 1.40 m o 4 pies estará en contacto con el tapón de concreto. Esta colocación de pernos es a 2.40 m. de altura. (Ver imagen N° 19)
- **Paso N° 04: Armado de acero de refuerzo del 1er nivel:** Se coloca el acero de refuerzo de 5/8" de 4.5 m de largo de doble malla amarrados al perno helicoidal.



**Imagen 21:** Armado de aceros de refuerzo

- **Paso N° 05: Encofrado:** El encofrado se realiza con paneles metálicos o madera a ambas caras a una altura de 2.40 m.



*Imagen 22: Armado de aceros de refuerzo*

- **Paso N° 06: Colocación de concreto:** Se realiza la colocación del concreto con una auto hormigonera a una altura de 2.40 m. como primer nivel. Colocado el concreto del 1er nivel se considera la instalación del wáter stop, el cual se utiliza para el sellado estanco de los tipos de juntas que existen en las construcciones.



*Imagen 23: Colocación del concreto del 1er nivel*

- **Paso N° 07: Desencofrado del 1er nivel:** Se realiza el desencofrado de ambas caras del tapón de concreto del 1er nivel

de 2.40 m. Al realizar el desencofrado de este nivel, se aplica un aditivo Master Emaco ADH 326, el cual sirve para unir un concreto fresco con uno ya existente.



**Imagen 24:** Desencofrado del 1er nivel

- **Paso N° 08: Montaje de Andamios:** Se realiza el montaje de andamios para la continuación de los trabajos del segundo nivel mayor a 2.40 m.
- **Paso N° 09: Encofrado interno con madera:** Para el segundo nivel se colocan listones por la parte trasera del muro y se instala madera que quedará confinada con el relleno.
- **Paso N° 10: Armado de refuerzo del 2do nivel:** Se concluye el armado del acero de refuerzo a una altura mayor de 2.40 m.



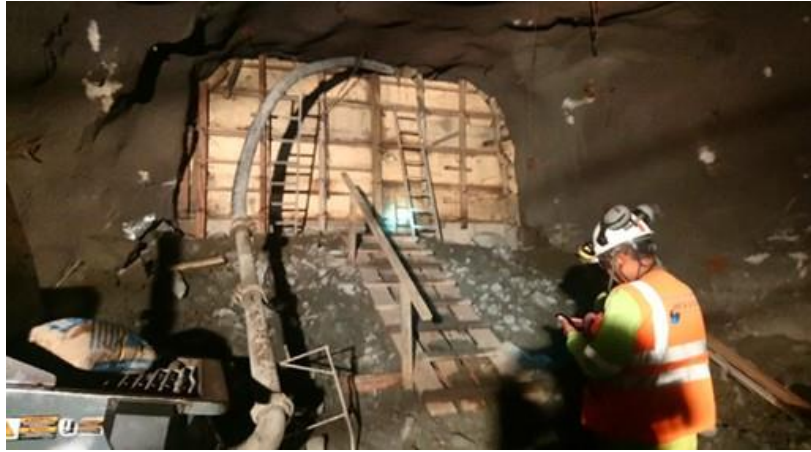
**Imagen 25:** Armado de refuerzo del 2do nivel

- **Paso N° 11: Inyectado de los pernos helicoidales del segundo nivel:** Se coloca el perno helicoidal de 1 pulgada mayor a 2.40 m de altura con comba, colocado el perno helicoidal se realiza el amarre de las mallas a dicho perno.
- **Paso N° 12: Encofrado externo para el 2do nivel:** Se lleva a cabo el encofrado mayor a los 2.40 m. dejando tres aberturas, una para insertar la manga y colocar el concreto y las otras dos para realizar la vibración del concreto.



***Imagen 26: Encofrado externo del 2do nivel***

- **Paso N° 13: Vaciado del concreto:** Se realiza el vaciado del concreto para el segundo nivel por la abertura dejada en el encofrado y posteriormente se hace la vibración del concreto para evitar las cangrejeras. Cabe señalar que el trabajo es mecanizado.



*Imagen 27: Vaciado de concreto del 2do nivel*

- **Paso N° 14: Desencofrado Externo:** Finalmente se realiza el desencofrado del segundo nivel para concluir el tapón de concreto.

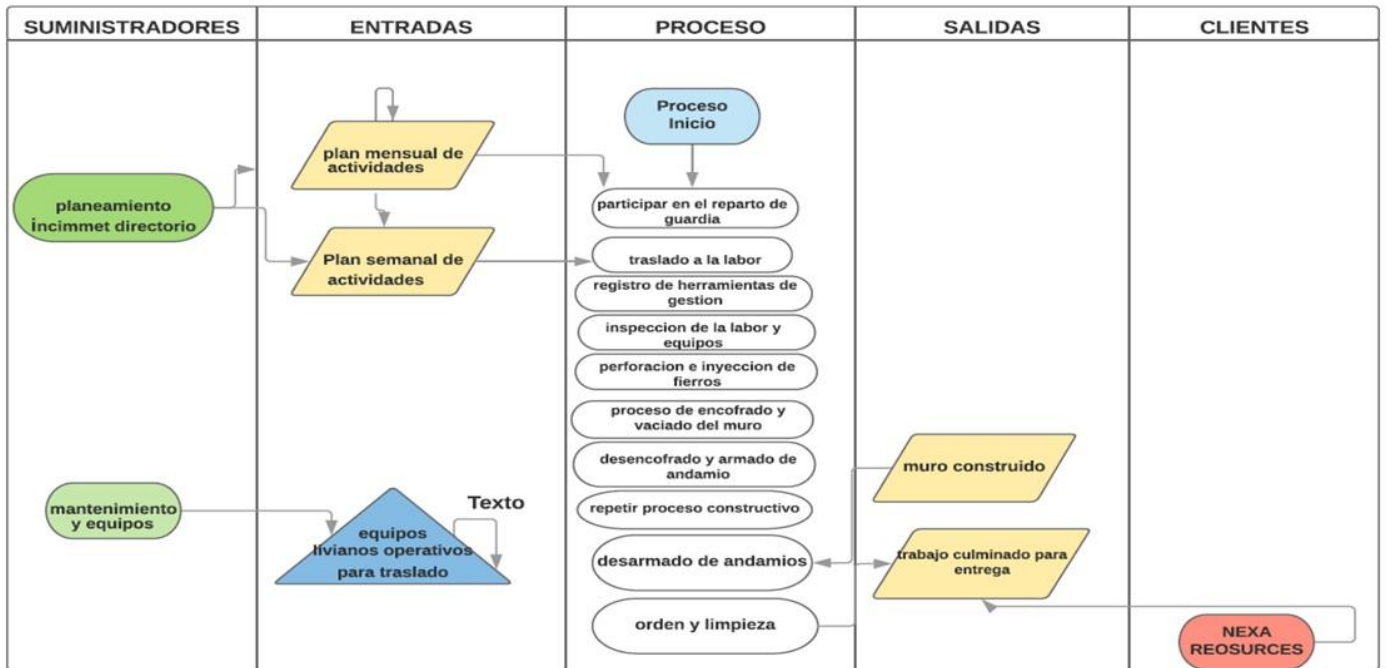


*Imagen 28: Desencofrado externo del 2do nivel*

➤ **Definición de proceso de construcción de tapón de concreto**

Los subprocesos en la construcción de taponos de concreto armado para el relleno de tajeos en la Unidad Minera Cerro Lindo, se tienen

que ejecutar de acuerdo con los parámetros y criterio técnico recomendado, con ello garantizar la actividad del tapón de concreto respecto al relleno de tajos.



**Imagen 29:** Matriz del proceso de Construcción de muros – INCIMMET - Cerro Lindo

➤ **Instrumentación y monitoreo**

➤ **Instrumentación**

La implementación de instrumentos de medición y monitoreo para verificar que los parámetros de construcción de los tapones de concreto están dentro de lo requerido, tales como resistencia del concreto, resistencia de los anclajes para los tapones:

➤ **Resultado de resistencia del concreto en los tapones**

Los testigos para analizar la resistencia alcanzada en el concreto de los tapones son mediante el proceso de compresión, lo cuales son realizados en el laboratorio de relleno, para el cual utilizamos una prensa de rotura, las muestras son tomadas desde los puntos de

vaciado en los diferentes tajos en interior mina, los cuales son tomados en recipientes cilíndricos de acero.



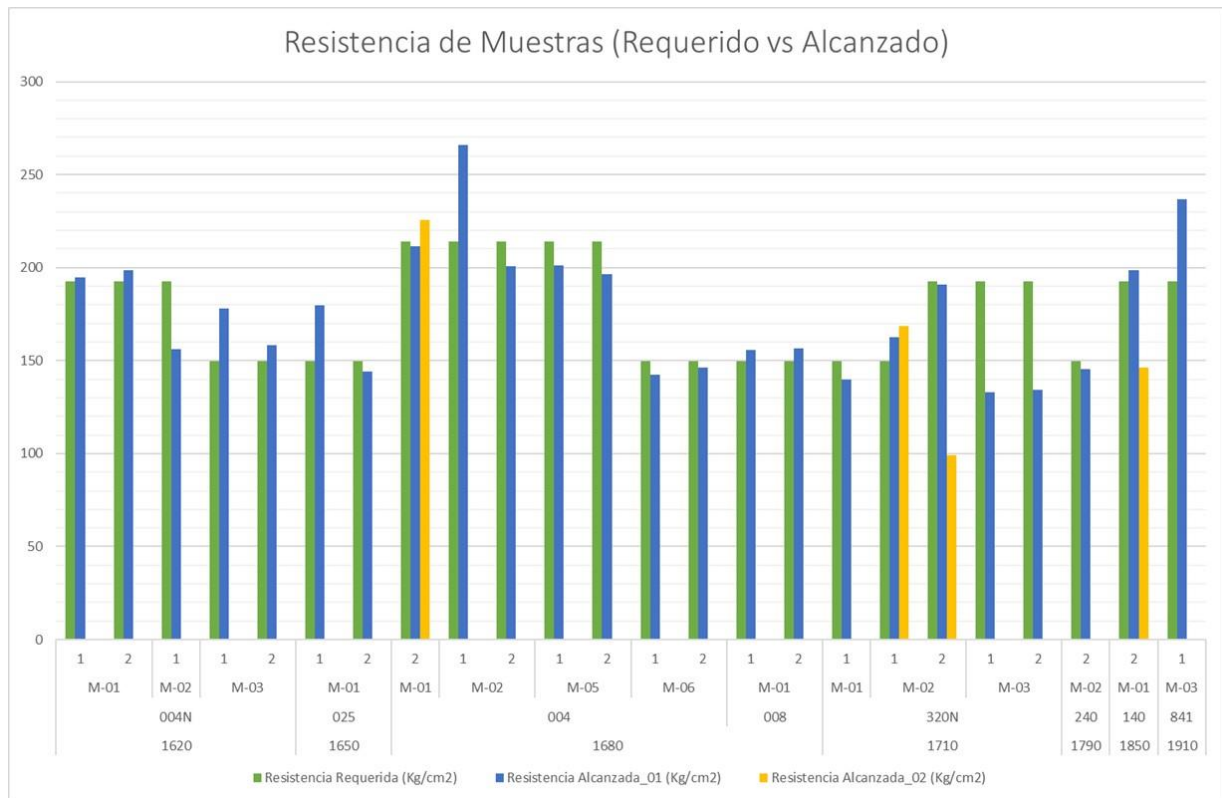
**Imagen 30:** Muestras de concreto, tomadas en el tajo 001 nivel 1600 OB1 tapón 02

➤ **Monitoreo**

Para el monitoreo se realiza el seguimiento y cumplimiento de resultados de las pruebas de rotura los cuales deben estar dentro lo requerido de acuerdo con las diferentes edades de los testigos.

NIVEL	TAJO	N° MURO	Nv. De Muro	Resistencia Requerida (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Alcanzada_01 (Kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia Alcanzada_02 (Kg/cm <sup>2</sup> )
1620	004N	M-01	1	193	195	
1620	004N	M-01	2	193	199	
1620	004N	M-02	1	193	156	
1620	004N	M-03	1	150	178	
1620	004N	M-03	2	150	158	
1650	025	M-01	1	150	180	
1650	025	M-01	2	150	144	
1680	004	M-01	2	214	212	226
1680	004	M-02	1	214	266	
1680	004	M-02	2	214	201	
1680	004	M-05	1	214	201	
1680	004	M-05	2	214	196	
1680	004	M-06	1	150	142	
1680	004	M-06	2	150	146	
1680	008	M-01	1	150	156	
1680	008	M-01	2	150	156	
1710	320N	M-01	1	150	140	
1710	320N	M-02	1	150	163	169
1710	320N	M-02	2	193	191	99
1710	320N	M-03	1	193	133	
1710	320N	M-03	2	193	134	
1790	240	M-02	2	150	146	
1850	140	M-01	2	193	199	146
1910	841	M-03	1	193	237	

**Imagen 31:** Resultados alcanzados de muestras de resistencia del concreto en tapones.



**Imagen 32:** Grafico de Resultados alcanzados de muestras de resistencia del concreto en tapones.



## **CAPITULO V**

### **DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

#### **Hipótesis específica N° 1**

La caracterización geomecánica del macizo rocoso aplicando la cartilla de Bieniawski tiene relación directa para el diseño de tapón de concreto y su empleo como muro de contención de relleno hidráulico.

Nuestra investigación concluyo que:

“Respecto a la caracterización geomecánica del macizo rocoso aplicando la cartilla de Bieniawski tiene relación directa para el diseño de tapón de concreto y su empleo como muro de contención de relleno hidráulico, la investigación concluyo que: realizándose 60 estaciones geomecánicas y 3 líneas de detalle en las labores subterráneas distribuidas en la roca encajonante, diques y mineral”.

“En cuanto al relogueo geomecánico, este se realizó en 4 taladros diamantinos que atraviesan las zonas de interés, que en total sumaron aproximadamente 410 metros de testigos de perforación”.

“Asimismo, se ejecutaron ensayos de laboratorio para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la roca intacta. Las muestras fueron tomadas

de bloques de rocas muestreados en los diferentes niveles, así como de testigos de las perforaciones diamantinas de diferentes litologías, así mismo en la zona de análisis (cuerpo y cajas), se ha podido estimar la variabilidad de la resistencia a la compresión simple para los diferentes dominios”: “Para el volcánico (roca encajonante), se tiene una tendencia a la resistencia a la compresión que varía entre 39 a 180 MPa, para el cuerpo mineralizado (SPP y SPB) la resistencia varía entre los 20 a 100 MPa y para el Dique entre 142 a 212 Mpa”.

“Los ensayos de mecánica de rocas que fueron realizadas en el laboratorio de mecánica de rocas de la Pontificia Universidad Católica del Perú, los mismos que son”:

- Propiedades físicas: densidad, porosidad y absorción.
- Propiedades de resistencia mecánica: carga puntual, compresión uniaxial, tracción indirecta y compresión triaxial.
- Propiedades elásticas: Módulo de Young y relación de Poisson.

Adicionalmente, se han realizado 104 ensayos de carga puntual en el laboratorio de mecánica de rocas de SVS de tipo regular e irregular obtenidas de los testigos de perforación y del muestreo realizado en las estaciones geomecánicas. La calidad del macizo rocoso, circundante a los tapones, corresponde predominantemente a una roca regular y en algunos sectores a una roca mala.

### **Hipótesis específica N° 2**

El cálculo y dimensionamiento de la longitud de los pernos determinan el anclaje del tapón de concreto para su empleo como muro de contención de relleno hidráulico.

La investigación concluyo que:

El anclaje del tapón, se ha considerado la instalación de pernos helicoidales de

25 mm de diámetro acero grado 75, con la finalidad de superar la fuerza cortante y axial de la presión del relleno cuya resistencia al arranque de los pernos de anclaje en roca es de 10 a 12 tn/m, el tipo de anclaje es con lechada de cemento, para el anclaje de perno en la roca será de 5 pies para tapón recto 6 pies para tapón en V y el anclaje de perno en muro de concreto de 4 pies.

Respecto a la evaluación geomecánica se puede establecer que una caracterización geomecánica tanto de las zonas estériles y mineralizadas se podrá emplear más de una cartilla geomecánica con la finalidad de contrastar los resultados.

### **Hipótesis específica N° 3**

El análisis de distribución de las cargas a lo largo de los ejes X e Y del muro de concreto armado permitirán su empleo como muro de contención de relleno hidráulico.

La conclusión de la investigación fue que:

Para el análisis estructural se recomienda el uso de software especializados que permiten realizar el modelamiento en tiempo real considerando el modelo bidimensional con apoyos fijos, las cargas del análisis consideran tanto la carga muerta por peso propio como las cargas de empuje del relleno, considerar un concreto de resistencia a la compresión  $f'c$  de 210 kg/cm<sup>2</sup> y un acero de refuerzo grado 60 ( $f_y=4200$  kg/cm<sup>2</sup>), además en todo el diseño se ha de efectuar siguiendo las recomendaciones de la norma ACI 318-05 y de la Norma Peruana E.060 de Concreto Armado.

El ingeniero Cáceres, Ernesto, 2011, sustentó su Tesis: "Análisis de costos, diseño sismorresistente- estructural comparativo entre los sistemas de muros de

ductilidad limitada y albañilería estructural de un edificio multifamiliar; Con la finalidad de optar el Título de Ingeniero Geólogo.

Producto de su investigación concluyo que:

La estructura tiene una adecuada rigidez lateral en ambos sentidos, ya que los desplazamientos relativos de entrepiso resultaron menores a los máximos valores permitidos en la norma de diseño sismo resistente E030. Para nuestro caso tenemos:

Ductilidad limitada: “De acuerdo a la norma sismo resistente E-030 la deriva para edificios de Muros de Ductilidad Limitada es de 0.005 y como se observa en ambas direcciones las derivas máximas son menores a las requeridas”.

En los dos sentidos:

X: 0.00156

Y: 0.00090

Albañilería confinada: “De acuerdo a la norma sismo resistente E-030 la deriva para edificios de muros de albañilería confinada es de 0.005 y como se observa en ambas direcciones las derivas máximas son menores a las requeridas”.

En los dos sentidos:

X: 0.00169

Y: 0.00135

“Se observa que en el caso de muros de ductilidad limitada la  $d_{xx}$  y la  $d_{yy}$  son el 31.25% y el 18% del permisible respectivamente, asimismo, para el caso de albañilería confinada el  $d_{xx}$  y el  $d_{yy}$  son el 33.75% y el 27% del permisible respectivamente. Por tal motivo se concluye que los desplazamientos laterales máximos de entrepiso del sistema de muros de ductilidad limitada son menores en un 2.50% en la dirección “X” con respecto a los muros de albañilería

estructural y 9 % menor a los de albañilería confinada en la dirección “Y”, indicándose así que la rigidez lateral de muros de ductilidad limitada es mayor a la de albañilería confinada”.

“Para el caso particular de nuestro edificio el mismo que tiene una configuración irregular por lo que los valores del cortante dinámico no deben ser menores al 90% del Cortante Estático en la base, en caso esto no se cumpla se debe utilizar factores de amplificación (FA) para alcanzar este valor en las dos direcciones, los mismos que serán como sigue”:

Ductilidad Limitada: En este sistema los factores de amplificación (FA) serán:

X: 1.16

Y: 1.29

Albañilería confinada: En este sistema los factores de amplificación (FA) serán:

X: 1.16

Y: 1.26

El Periodo fundamental de vibración de la estructura (T) y la Masa Participante en el primer modo de vibración son:

Periodos en edificación de muros de ductilidad limitada

TX: 0.11 Seg

TY: 0.16 Seg

Periodos en edificación de muros de albañilería confinada

TX: 0.22 Seg

TY: 0.27 Seg

Como se pudo ver anteriormente los muros de albañilería tienen mayor periodo esto debido a que como se pudo ver en el metrado de cargas este sistema tiene mayor masa a comparación del sistema de muros de ductilidad limitada.

“Comparando los pesos calculados manualmente y los calculados por el programa para el caso del sistema de ductilidad limitada se tiene una diferencia de 0.88 % y para el sistema de albañilería estructural se tiene una diferencia del 1.05%, es decir que los cálculos realizados manualmente son casi exactos, así mismo; la diferencia entre ambos sistemas es de un 16.19% con esto concluimos que la herramienta ETABS es un programa confiable, debido a que en el metrado de cargas manualmente hay aspectos que no se consideran como el área de las losas, altura total de muros, etc”. Cosa que la herramienta si considera, sobre todo en el metrado del sistema de albañilería.

“Con respecto a los muros usados para el diseño en ambos sistemas en esta tesis se pudo observar que los muros de ductilidad limitada absorben más fuerza cortante que los muros de albañilería, esto en el caso de que los muros de ductilidad limitada estén separados por paños, ya que si estos están unidos tanto en el eje “X-X” y “Y-Y” el cortante que absorben serán mayores”. Por esta razón también se concluye que los muros de ductilidad limitada son más rígidos que los muros de albañilería.

“En el caso de muros de ductilidad limitada se tendrá un ahorro en tiempo y mano de obra respecto a la de muros de albañilería confinada, debido a la gran flexibilidad en el proceso constructivo que este modelo ofrece, a diferencia de la albañilería, este modelo puede habilitarse fuera del área de construcción, igualmente los encofrados, lo que permite tener mayor espacio y reducir la mano de obra considerablemente”.

“El costo directo total en el sistema de MDL es de S/. 407,375.41 mientras que para AC es de S/. 464,515.57 es decir el costo directo promedio del m<sup>2</sup> de construcción del cascarón estructural incluyendo la cimentación es de S/. 487.87

para el sistema de MDL, y de S/. 556.31 para el de AC. Entonces se concluye que el metro cuadrado en cascarón estructural del sistema de AC es 12.30 % mayor al sistema de MDL”.

“De ambas investigaciones podemos establecer que se guarda relación respecto al cálculo de ductilidad limitada son menores en un 2.50% en la dirección “X” con respecto a los muros de albañilería estructural y 9 % menor a los de albañilería confinada en la dirección” “Y”.

## CONCLUSIONES

1. Se concluyó a partir del análisis en el programa SAP 2000 y con las recomendaciones de diseño de las normas ACI y E.060 de Concreto Armado, los parámetros técnicos de diseño del tapón presentan las siguientes características: El espesor del muro de tapón será de 35 cm; el refuerzo estará compuesto por dos mallas de acero corrugado de 5/8" de diámetro, con espaciamiento de 20 cm entre varillas y el recubrimiento para el refuerzo del tapón será de 5 cm.
2. La calidad del macizo rocoso, circundante a los tapones, corresponde predominantemente a una roca regular con una valoración del RMR varía entre 35 a 55 y en algunos sectores a una roca mala, que corresponde a la clase IV con una valoración que se encuentra entre el rango de 21 – 40 como índice RMR.
3. El anclaje del tapón, se ha considerado la instalación de pernos helicoidales de 25 mm de diámetro acero grado 75, con la finalidad de superar la fuerza cortante y axial de la presión del relleno cuya resistencia al arranque de los pernos de anclaje en roca es de 10 a 12 tn/m, el tipo de anclaje es con lechada de cemento, para el anclaje de perno en la roca será de 5 pies para tapón recto 6 pies para tapón en V y el anclaje de perno en muro de concreto de 4 pies.
4. Del análisis estructural se considera al tapón como un modelo bidimensional con apoyos fijos espaciados entre 40 y 50 cm a lo largo del perímetro de la cáscara. Las cargas del análisis consideran tanto la carga muerta por peso propio como las cargas de empuje del relleno de mina, el diseño de los tapones considera un concreto de resistencia a la compresión  $f'_c$  de 210



kg/cm<sup>2</sup> y un acero de refuerzo grado 60 ( $f_y=4200$  kg/cm<sup>2</sup>). Todo el diseño se ha efectuado siguiendo las recomendaciones de la norma ACI 318-05 y de la Norma Peruana E.060 de Concreto Armado.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda para el análisis el uso del programa SAP 2000 y con las recomendaciones de diseño de las normas ACI y E.060 de Concreto Armado, para determinar los parámetros técnicos de diseño del tapón
2. Para la evaluación de la calidad del macizo rocoso, circundante a los tapones, corresponde predominantemente se recomienda el uso de cartillas geomecánicas tal como el RMR o la del Q de Barton que son las más utilizadas para dicha evaluación-
3. Respecto al sistema de anclaje del tapón, utilizar barras solidas como son los pernos helicoidales respetando el diámetro y longitud ya que estos parámetros nos permiten determinar el FS garantice su anclaje.
4. Para el análisis estructural se recomienda el uso de software especializados que permiten realizar el modelamiento en tiempo real considerando el modelo bidimensional con apoyos fijos, las cargas del análisis consideran tanto la carga muerta por peso propio como las cargas de empuje del relleno, considerar un concreto de resistencia a la compresión  $f'_c$  de 210 kg/cm<sup>2</sup> y un acero de refuerzo grado 60 ( $f_y=4200$  kg/cm<sup>2</sup>), además en todo el diseño se ha de efectuar siguiendo las recomendaciones de la norma ACI 318-05 y de la Norma Peruana E.060 de Concreto Armado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alvarado, A., & Cornejo, A. (2014). Estabilización de taludes en la Costa Verde - Callao Tramo Av. Santa Rosa - Jr Virú (1.3 Km). (*Tesis de Titulación*). Universidad San Martín de Porres, Lima.
2. ASTM D5731. (2016). *Ensayo de Resistencia a la Carga Puntual (PLT)*. ASTM International.
3. Corrales, C. (2013). *Estabilidad de taludes*. Obtenido de <https://estabilidad-de-taludes7.webnode.es/news/marco-teorico/>
4. Duque, E. (2017). *Manual de geología para ingenieros*. bdigital.
5. Duque, G. (2003). Relaciones De Fase En La Ingeniería Geotécnica Moderna. Obtenido de <http://www.bdigital.unal.edu.co/1572/>
6. Fellenius, W. (1922). *Statens Jarnvagnars Geotekniska Commission*. Stockholm: Sweden.
7. Ferrer, M., & Gonzales, L. (2007). *Manual de Campo para la descripción de macizos rocosos en afloramiento*. Planetatierra Ciencias de la Tierra para la Sociedad.
8. Gonzales de Vallejo, L. (2004). *Ingeniería Geológica*. Prentice Hall.
9. Herrera, F. (2000). *Geotecnia*. ISEAD.
10. Lambe, W., & Whitman, R. (24 de Julio de 1996). *Soil Mechanics*. Primera edición. Obtenido de [https://es.wikipedia.org/wiki/Contenido\\_de\\_agua](https://es.wikipedia.org/wiki/Contenido_de_agua)
11. Lozano, A. (2009). *Martillo Schmidt (Esclerómetro)*. . Geoengineering Services & Consulting E.I.R.L. 1-4.
12. NSR-10 Cap H.1, E. G. (s.f.). *Ingeniería Real*. Obtenido de <https://ingenieriareal.com/talud-clasificacion-diseno/>
13. Ramírez, P., & Alejano, L. (2004). *Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes*. ETSI Minas.
14. RNE. (2014). *Norma CE.020 Suelos y Taludes*. Macro.
15. Rojas, S. (2015). El cálculo del factor de seguridad como elemento principal para el diseño de obras de estabilización de taludes en la vía Latacunga - la Maná sector Cruz Blanca. (*Tesis de Titulación*). Universidad Técnica de Ambato, Ambato.
16. Suarez, B. (2013). *Descripción del Macizo Rcoso - Introducción a Ingeniería de Rocas de Superficie y Subterránea*. Medellín Colombia.

17. Suárez, J. (2009). *Deslizamientos - Análisis Geotécnico - Vol 1*. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos.
18. Suárez, J. D. (1998). *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales*. Bucaramanga - Colombia: Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos.
19. Torres, L. (2019). Estabilidad de Taludes para mejorar la transitabilidad y seguridad en los tramos críticos de la carretera Monteseco, Distrito Catache. (*Tesis de Titulación*). Universidad César Vallejo, Chiclayo.
20. Vaca, A. (2018). Evaluación de la estabilidad de taludes, en San Antonio de Pichincha, mediante la caracterización de macizos rocosos, para el análisis de la susceptibilidad por fenómenos de remoción en masa. (*Tesis de Titulación*). Escuela Politécnica Nacional, Quito.

## **ANEXOS**

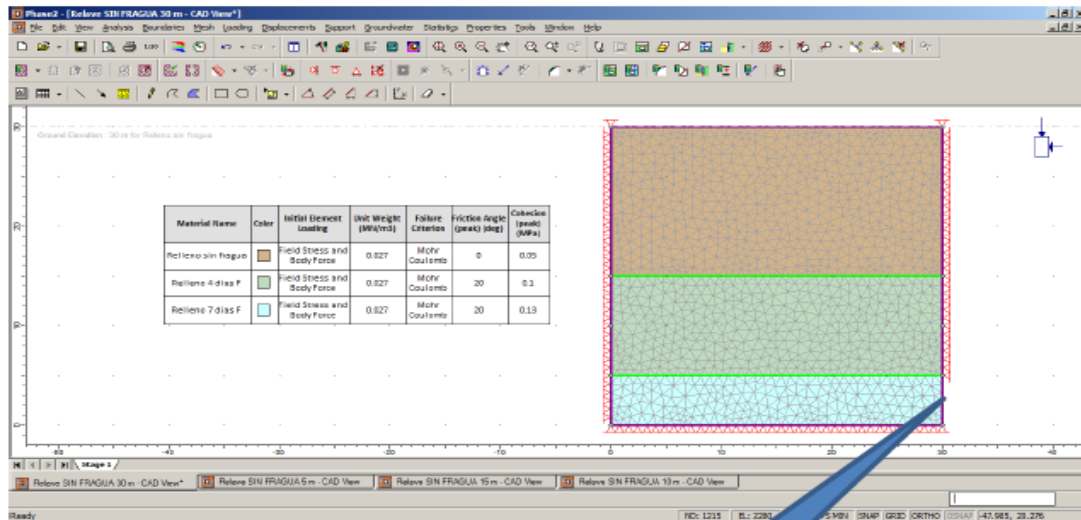
## ANEXO N° 01 Matriz de consistencia

I. PROBLEMA	II. OBJETIVO	III. HIPÓTESIS	IV: VARIABLES Y DIMENSIONES	V. METODOLOGÍA
<p><b>PROBLEMA GENERAL</b> ¿Cuáles son los parámetros técnicos de diseño de tapón de concreto para su empleo como muro de contención de relleno hidráulico en tajeos Mina Cerro Lindo, 2020?</p> <p><b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</b> a) ¿Cuál es la caracterización geomecánica del macizo rocoso para el diseño de tapón de concreto y su empleo como muro de contención de relleno hidráulico? b) ¿Cuál es el resultado del cálculo de anclaje del tapón de concreto para su empleo como muro de contención de relleno hidráulico? c) ¿Cuál es el resultado del análisis de distribución de las cargas a lo largo del muro de concreto armado para su empleo como muro de contención de relleno hidráulico?</p>	<p><b>OBJETIVO GENERAL</b> Determinar los parámetros técnicos de diseño de tapón de concreto para su empleo como muro de contención de relleno hidráulico en tajeos Mina Cerro Lindo, 2020</p> <p><b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> a) Realizar la caracterización geomecánica del macizo rocoso para el diseño de tapón de concreto y su empleo como muro de contención de relleno hidráulico b) Realizar el cálculo de anclaje del tapón de concreto para su empleo como muro de contención de relleno hidráulico c) Realizar el análisis de distribución de las cargas a lo largo del muro de concreto armado para su empleo como muro de contención de relleno hidráulico</p>	<p><b>HIPÓTESIS GENERAL</b> Los parámetros técnicos de diseño de tapón de concreto para su empleo como muro de contención de relleno hidráulico en tajeos Mina Cerro Lindo, 2020</p> <p><b>HIPÓTESIS ESPECIFICAS</b> a) La caracterización geomecánica del macizo rocoso aplicando la cartilla de Bieniawski tiene relación directa para el diseño de tapón de concreto y su empleo como muro de contención de relleno hidráulico b) El cálculo y dimensionamiento de la longitud de los pernos determinan el anclaje del tapón de concreto para su empleo como muro de contención de relleno hidráulico c) El análisis de distribución de las cargas a lo largo de los ejes X e Y del muro de concreto armado permitirán su empleo como muro de contención de relleno hidráulico</p>	<p><b>VARIABLE INDEPENDIENTE (x):</b> - TAPÓN DE CONCRETO Caracterización geomecánica del macizo rocoso (RMR) Rumbo Buzamiento Resistencia a la compresión no confinada de la roca intacta (sigci) RQD Espaciamiento Persistencia Apertura Rugosidad Alteración Relleno Agua Anclaje Longitud Espaciamiento Distribución de las cargas Eje X Eje Y</p> <p><b>VARIABLE DEPENDIENTE (y):</b> - MURO DE CONTENCIÓN Dimensiones Alto Ancho Espesor</p>	<p><b>MÉTODO DE INVESTIGACIÓN Científico</b></p> <p><b>TIPO DE INVESTIGACIÓN Aplicada</b></p> <p><b>NIVEL DE INVESTIGACIÓN Explicativa - correlacional</b></p> <p><b>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN Cuasi experimental</b></p> <p><b>POBLACIÓN:</b> Constituida por los tapones de concreto que se instalan en los tajeos Mina Cerro Lindo</p> <p><b>MUESTRA:</b> Constituida por los tapones de concreto que se instalan en los tajeos Mina Cerro Lindo</p>

**ANEXO A**

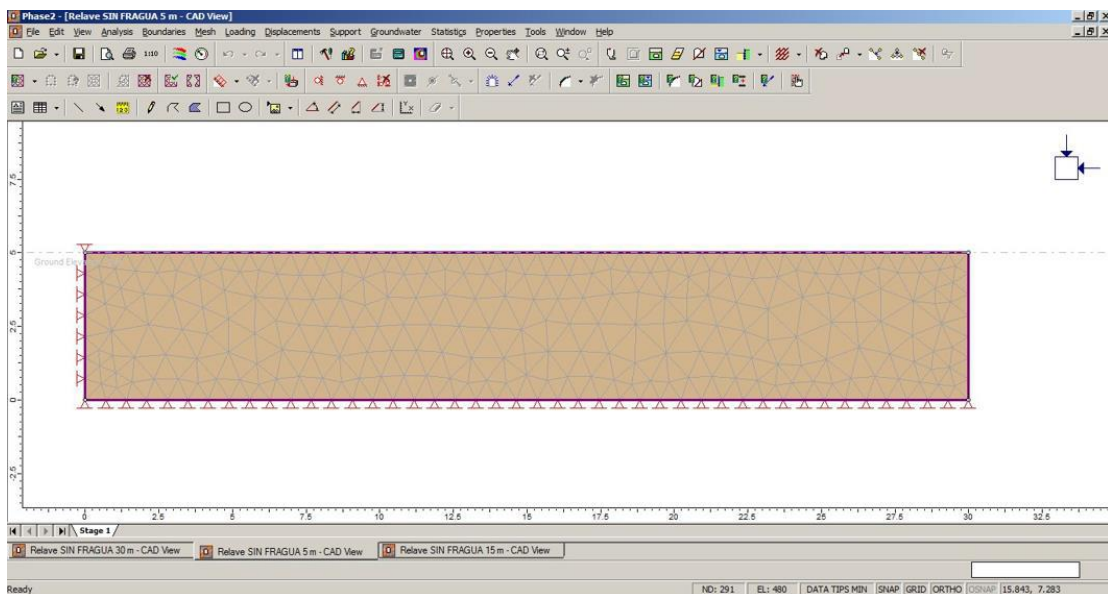
**MODELAMIENTO NUMÉRICO DE PRESIONES SOBRE EL**

**TAPÓN**



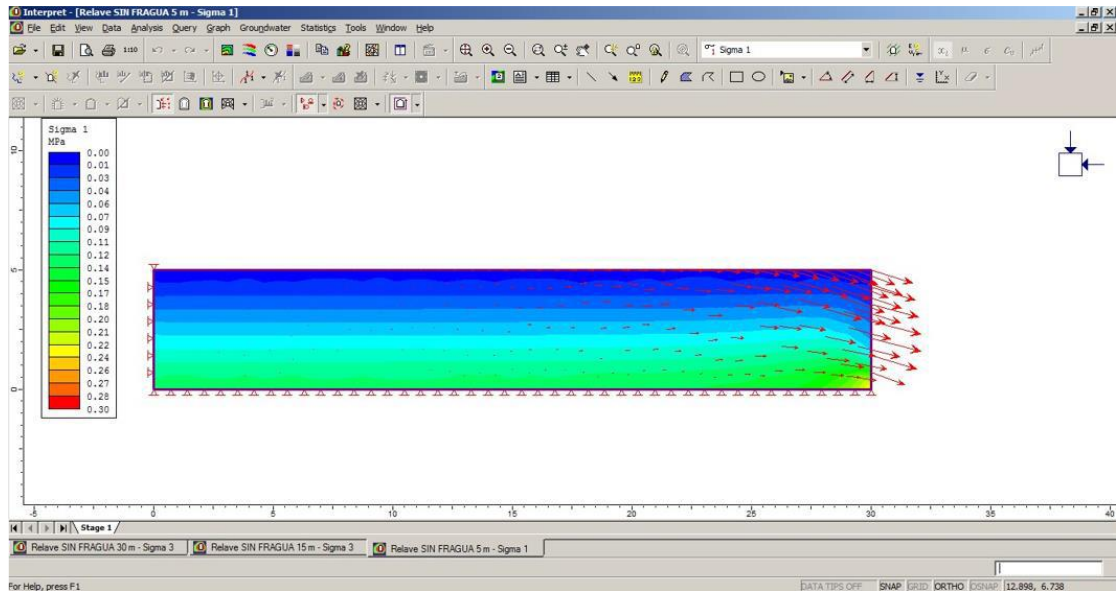
**UBICACIÓN DEL TAPON**

**Diseño de Tapones para los Tajeos por Subniveles de la Mina Cerro Lindo**  
**MODELAMIENTO NUMÉRICO DE PRESIONES SOBRE EL TAPÓN - PARÁMETROS DE RESISTENCIA DEL MODELO**



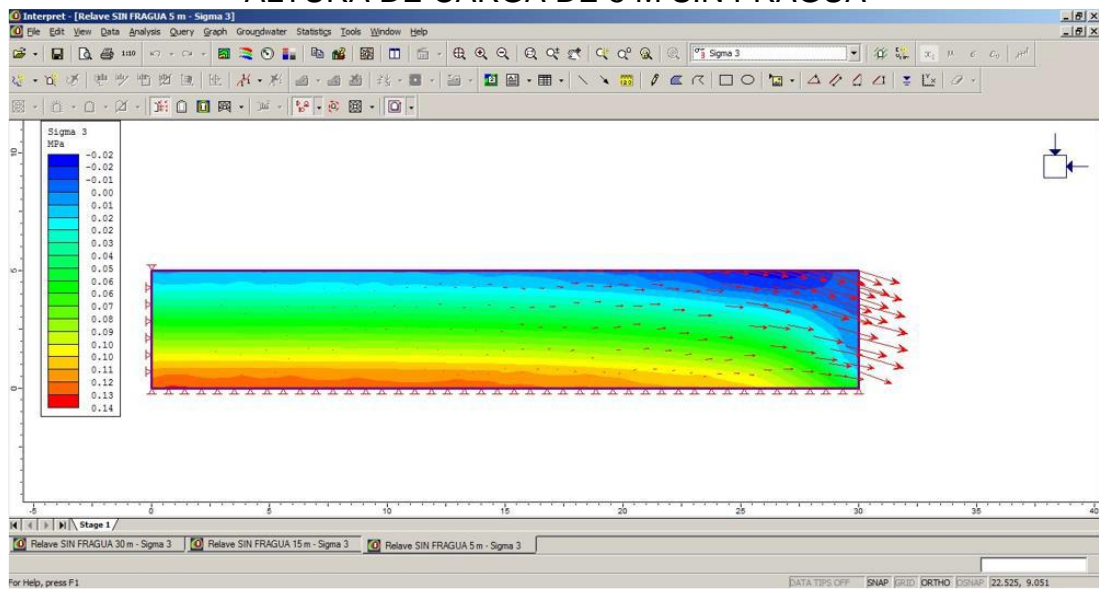
**Diseño de Tapones para los Tajeos por Subniveles de la Mina Cerro Lindo**  
**MODELAMIENTO NUMÉRICO DE PRESIONES SOBRE EL TAPÓN –ALTURA DE CARGA DE 5 M SIN FRAGUA**





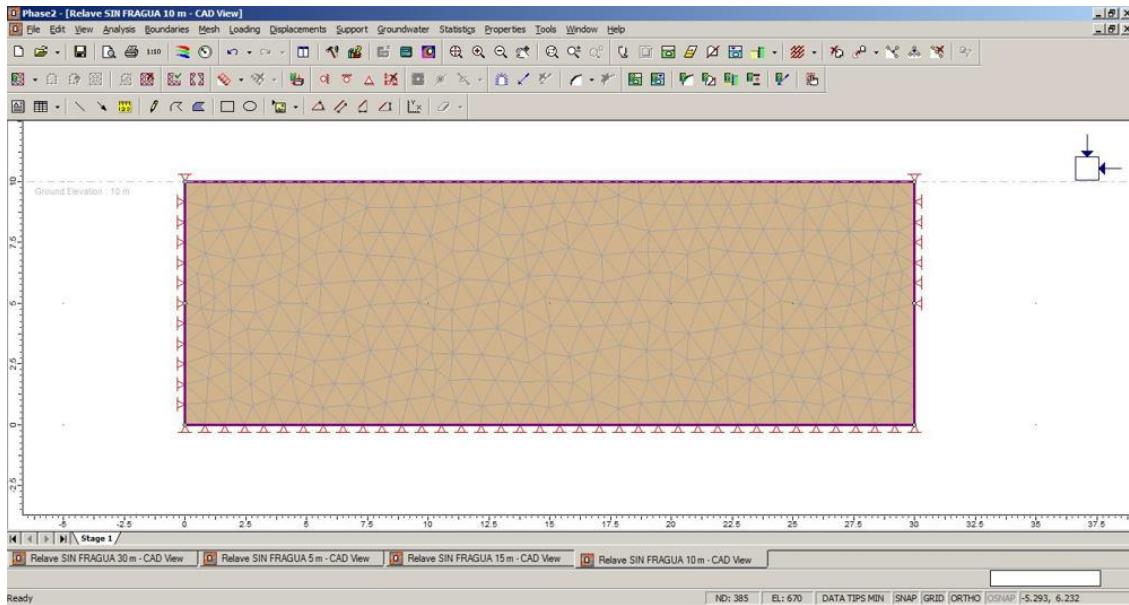
Diseño de Tapones para los Tajeos por Subniveles de la Mina Cerro Lindo

### MODELAMIENTO NUMÉRICO DE PRESIONES SOBRE EL TAPÓN – ALTURA DE CARGA DE 5 M SIN FRAGUA

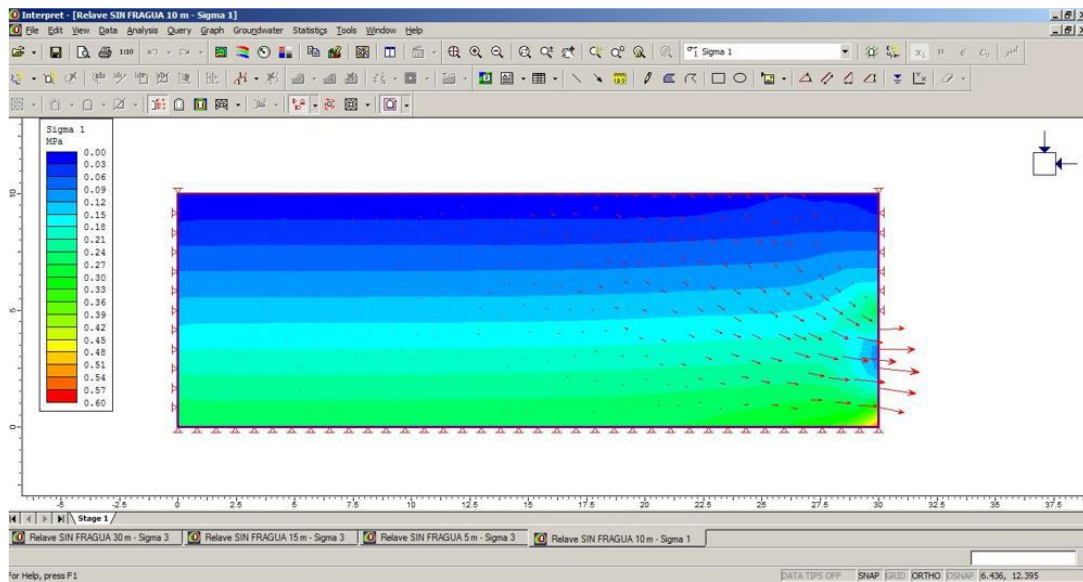


Diseño de Tapones para los Tajeos por Subniveles de la Mina Cerro Lindo

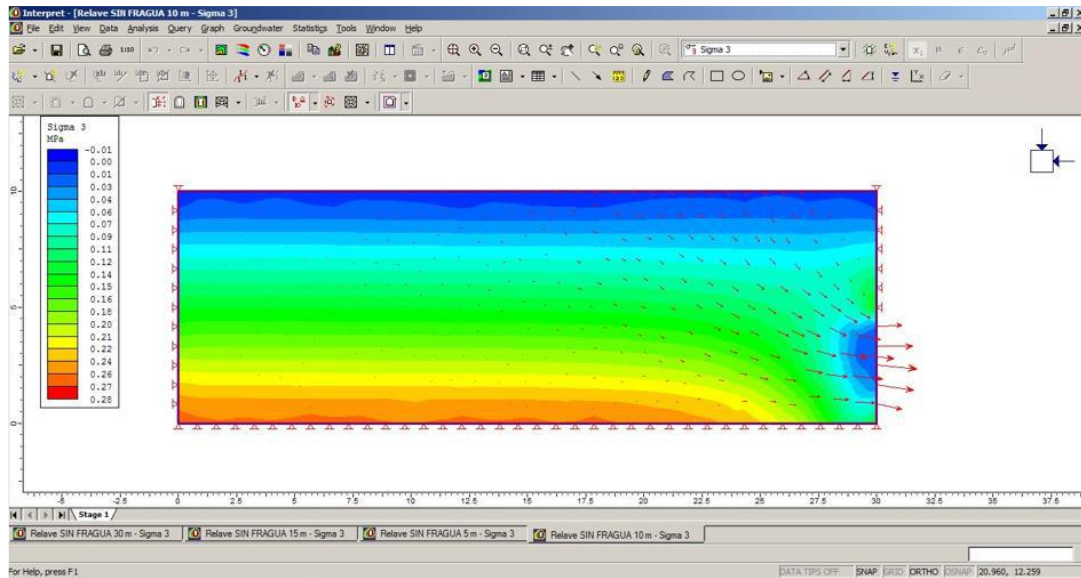
### MODELAMIENTO NUMÉRICO DE PRESIONES SOBRE EL TAPÓN – ALTURA DE CARGA DE 5 M SIN FRAGUA



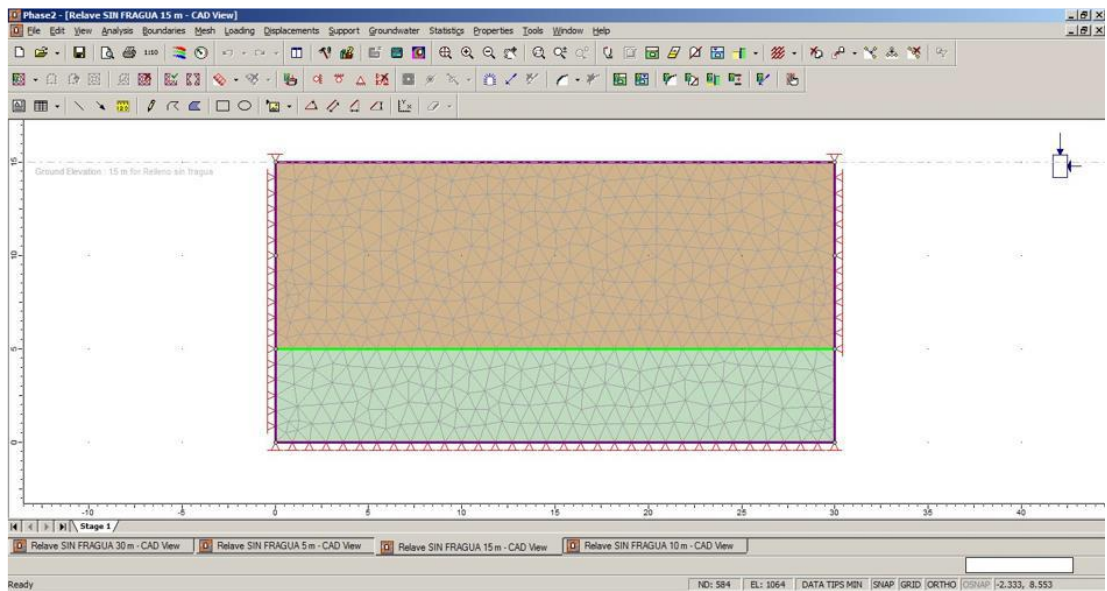
Diseño de Tapones para los Tajeos por Subniveles de la Mina Cerro Lindo  
 MODELAMIENTO NUMÉRICO DE PRESIONES SOBRE EL TAPÓN –  
 ALTURA DE CARGA DE 10 M SIN FRAGUA



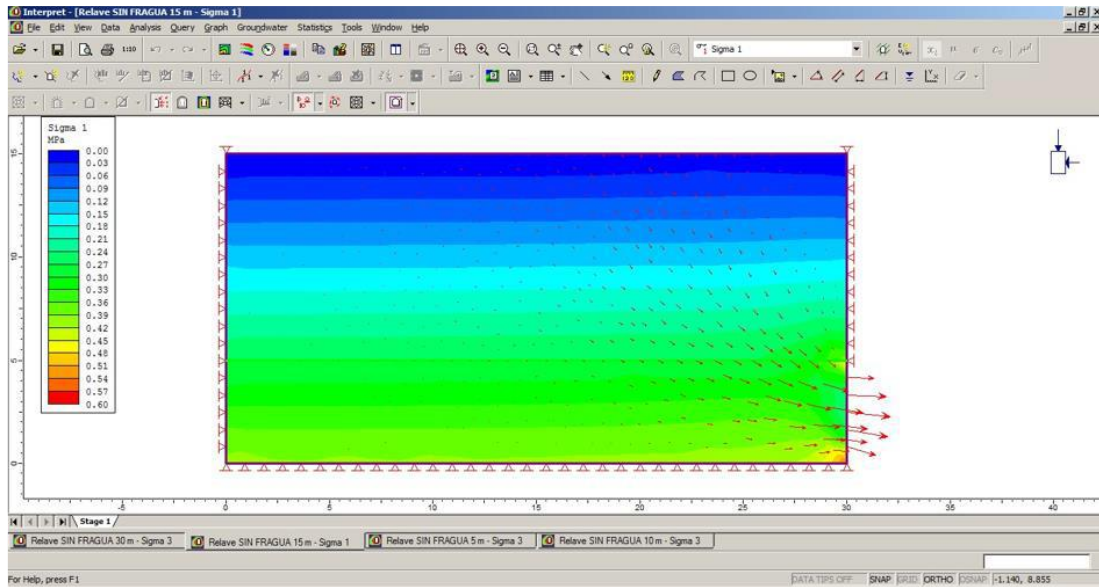
Diseño de Tapones para los Tajeos por Subniveles de la Mina Cerro Lindo  
 MODELAMIENTO NUMÉRICO DE PRESIONES SOBRE EL TAPÓN –  
 ALTURA DE CARGA DE 10 M SIN FRAGUA



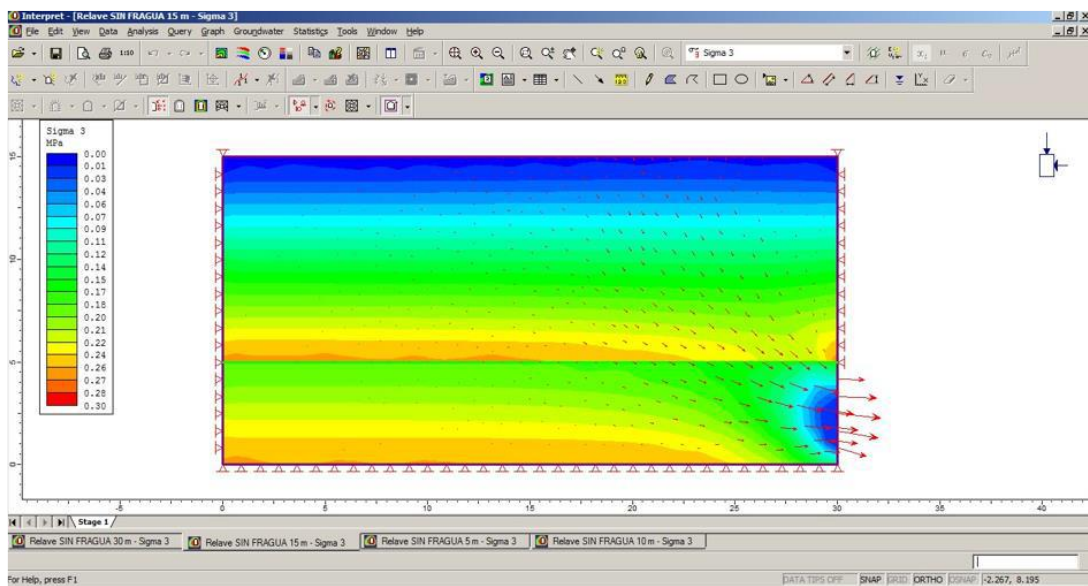
Diseño de Tapones para los Tajeos por Subniveles de la Mina Cerro Lindo  
 MODELAMIENTO NUMÉRICO DE PRESIONES SOBRE EL TAPÓN –  
 ALTURA DE CARGA DE 10 M SIN FRAGUA



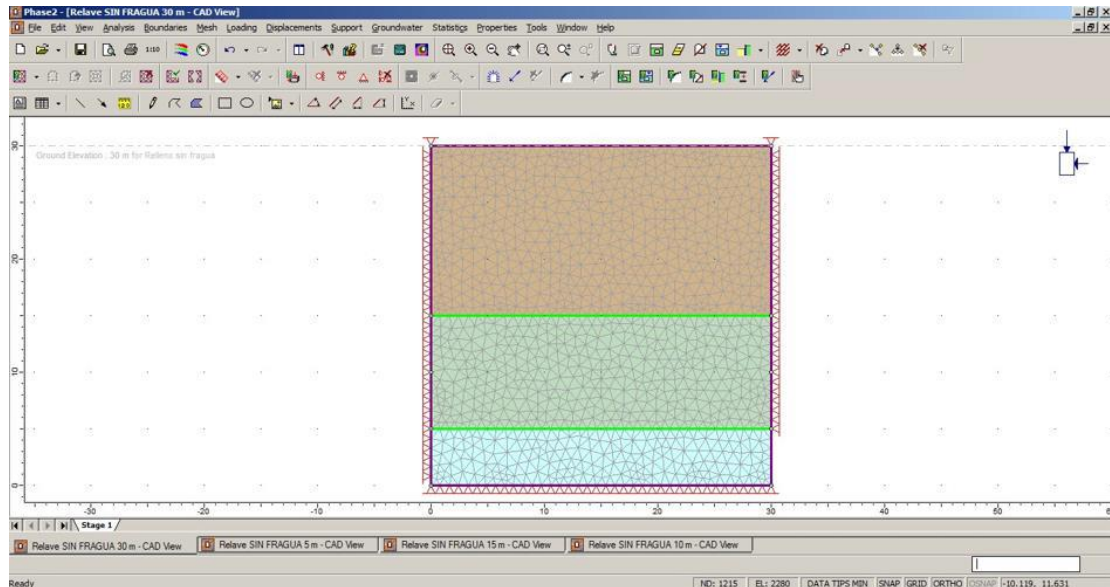
Diseño de Tapones para los Tajeos por Subniveles de la Mina Cerro Lindo  
 MODELAMIENTO NUMÉRICO DE PRESIONES SOBRE EL TAPÓN –  
 ALTURA DE CARGA DE 15 M, EN DOS ETAPAS, 5 M INICIAL Y 10 M  
 SEGUNDA ETAPA



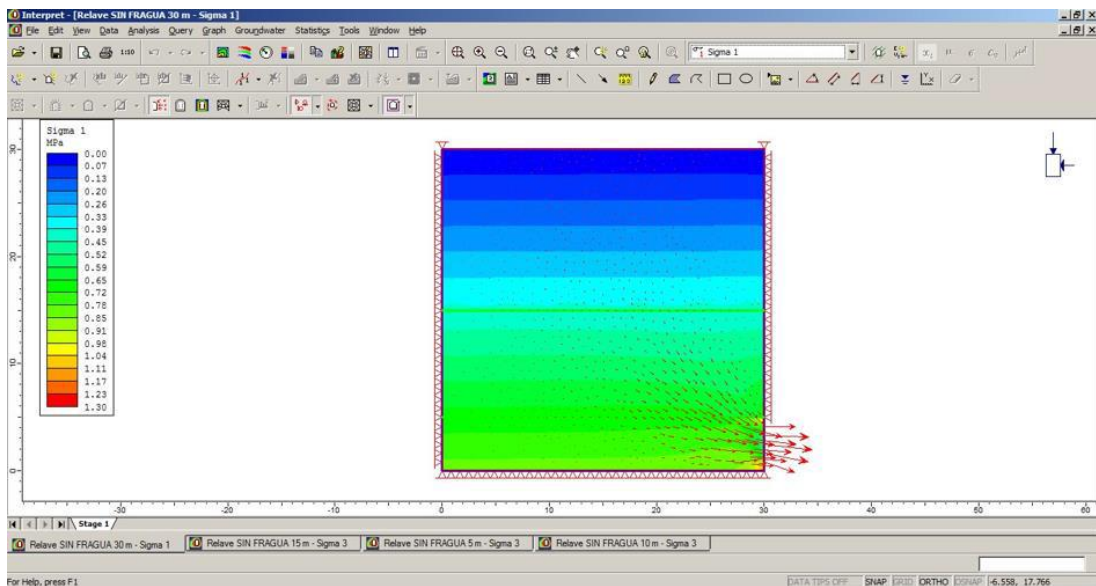
Diseño de Tapones para los Tajeos por Subniveles de la Mina Cerro Lindo  
 MODELAMIENTO NUMÉRICO DE PRESIONES SOBRE EL TAPÓN –  
 ALTURA DE CARGA DE 15 M, EN DOS ETAPAS, 5 M INICIAL Y 10 M  
 SEGUNDA ETAPA



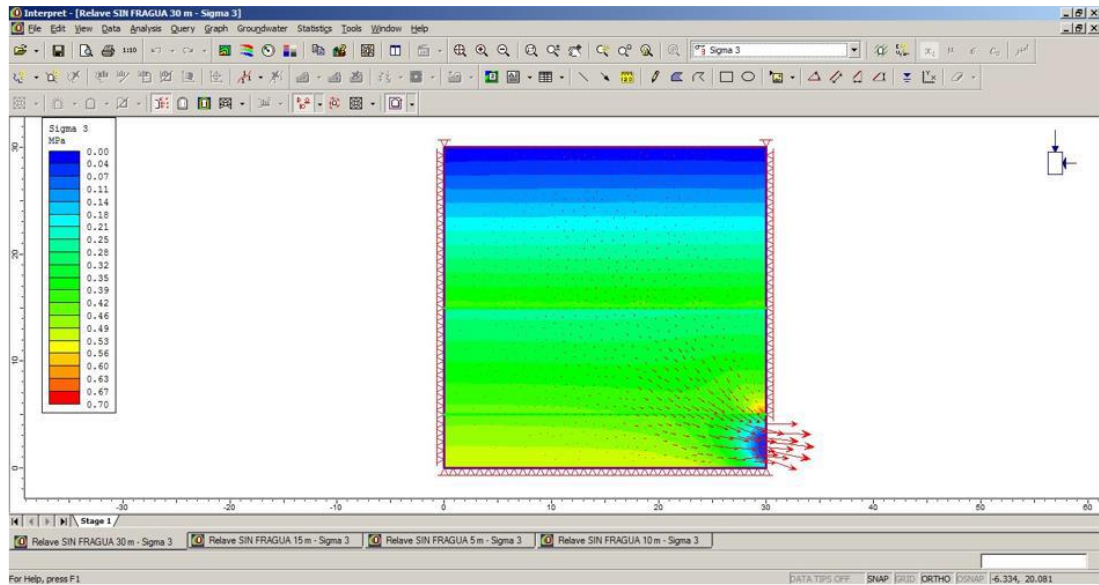
Diseño de Tapones para los Tajeos por Subniveles de la Mina Cerro Lindo  
 MODELAMIENTO NUMÉRICO DE PRESIONES SOBRE EL TAPÓN –  
 ALTURA DE CARGA DE 15 M, EN DOS ETAPAS, 5 M INICIAL Y 10 M  
 SEGUNDA ETAPA



Diseño de Tapones para los Tajeos por Subniveles de la Mina Cerro Lindo  
 MODELAMIENTO NUMÉRICO DE PRESIONES SOBRE EL TAPÓN –  
 ALTURA DE CARGA DE 30 M, EN TRES ETAPAS, 5 M INICIAL, 10 M  
 SEGUNDA ETAPA Y 15 M TERCERA ETAPA



Diseño de Tapones para los Tajeos por Subniveles de la Mina Cerro Lindo  
 MODELAMIENTO NUMÉRICO DE PRESIONES SOBRE EL TAPÓN –  
 ALTURA DE CARGA DE 30 M, EN TRES ETAPAS, 5 M INICIAL, 10 M  
 SEGUNDA ETAPA Y 15 M TERCERA ETAPA



Diseño de Tapones para los Tajeos por Subniveles de la Mina Cerro Lindo  
 MODELAMIENTO NUMÉRICO DE PRESIONES SOBRE EL TAPÓN –  
 ALTURA DE CARGA DE 30 M, EN TRES ETAPAS, 5 M INICIAL, 10 M  
 SEGUNDA ETAPA Y 15 M TERCERA ETAPA

## LABORATORIO DE RELLENO HIDRAULICO

REF. : Diseño de Mezcla 280 Kg/cm<sup>2</sup> con Aditivos

FECHA : 26/02/20

---

El día 25 y 26 de febrero del presente año se realizó el diseño tentativo de 28 Mpa con adición de aditivos al concreto que se utilizara en los muros que sirven como tapones de los tajos de relleno en pasta, las consideraciones para esta prueba son las siguientes:

1. Determinar un diseño de mezcla de 28 Mpa, considerando las características físicas del agregado
2. Con la adición de aditivos MasterGlenium 1300(reductor de agua de alto rango) y Master Set AC 534(accelerante de fragua) se busca acelerar el tiempo de fraguado e incrementar las resistencias iniciales del concreto

<b><i>DISEÑO 28 Mpa</i></b>			
<b>Cemento</b>	<b>467.5</b>	<b>19.4%</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Arena</b>	<b>980</b>	<b>40.7%</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Piedra</b>	<b>714</b>	<b>29.7%</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Agua</b>	<b>210.5</b>	<b>8.8%</b>	<b>L/m<sup>3</sup></b>
<b>Glenium 1300</b>	<b>5.61</b>	<b>0.2%</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>
<b>MasterSet AC534</b>	<b>27.65</b>	<b>1.1%</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Densidad</b>	<b>2405.26</b>		<b>kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Relación A/C</b>	<b>0.45</b>		

## **1. De los materiales**

### **1.1.Cemento:**

Se utilizará cemento CEMEX tipo V

### **1.2. Agregado fino:**

Consistente en una muestra de ARENA GRUESA procedente de la cantera de CHINCHA

Las características se muestran en el ANEXO 1

### **1.3. Agregado grueso:**

Consistente en una muestra de PIEDRA CHANCADA procedente de la cantera de CHINCHA

Las características se muestran en el ANEXO 2

### **1.4. Combinación de agregados**

La granulometría del agregado Global obtenido por la combinación del agregado fino y grueso, se muestran en el ANEXO 3



## ANEXO 1

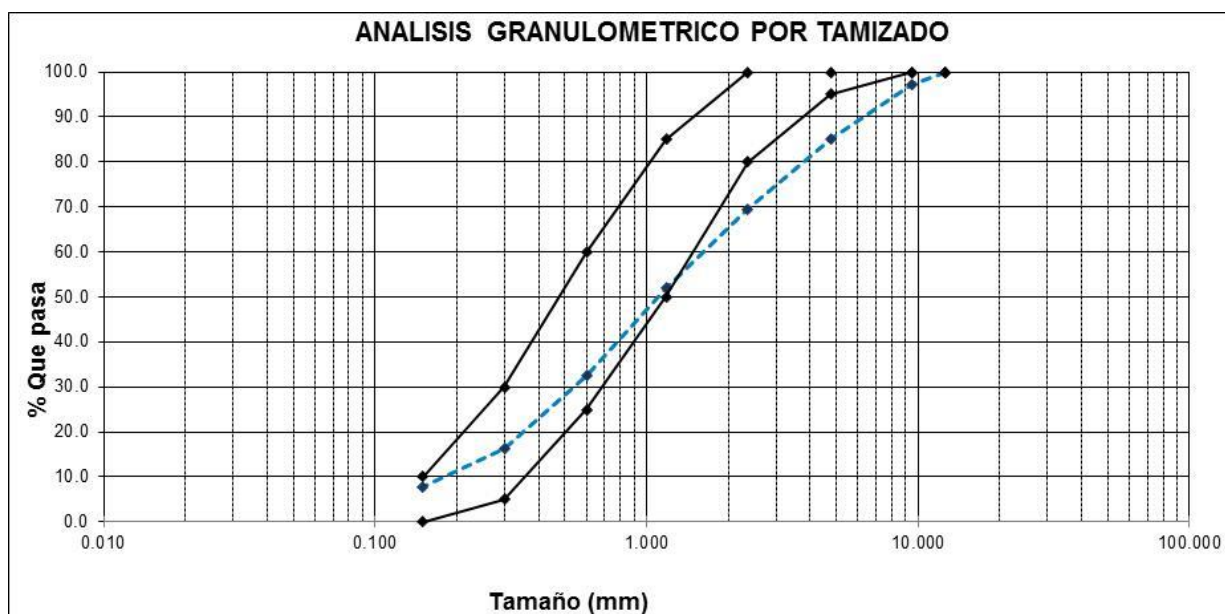
### 1. Características del agregado fino

Arena gruesa procedente de la cantera de Chincha

#### A) Análisis granulométrico

TAMIZ	ABERTURA (mm)	Peso retenido (gr.)	% retenido	% retenido acumulado	% que pasa	PARAMETROS	
1/2"	12.500	0.00	0.0	0.0	100.0	100	100
3/8"	9.500	16.8	2.9	2.9	97.1	100	100
4	4.750	69.6	12.1	15.0	85.0	95	100
8	2.360	89.1	15.5	30.5	69.5	80	100
16	1.180	100.8	17.5	48.0	52.0	50	85
30	0.600	111.9	19.4	67.5	32.5	25	60
50	0.300	92.7	16.1	83.6	16.4	5	30
100	0.150	50.5	8.8	92.3	7.7	0	10
< N° 200		44.0	7.7	7.7			

#### B) CURVA GRANULOMETRICA



## ANEXO 2

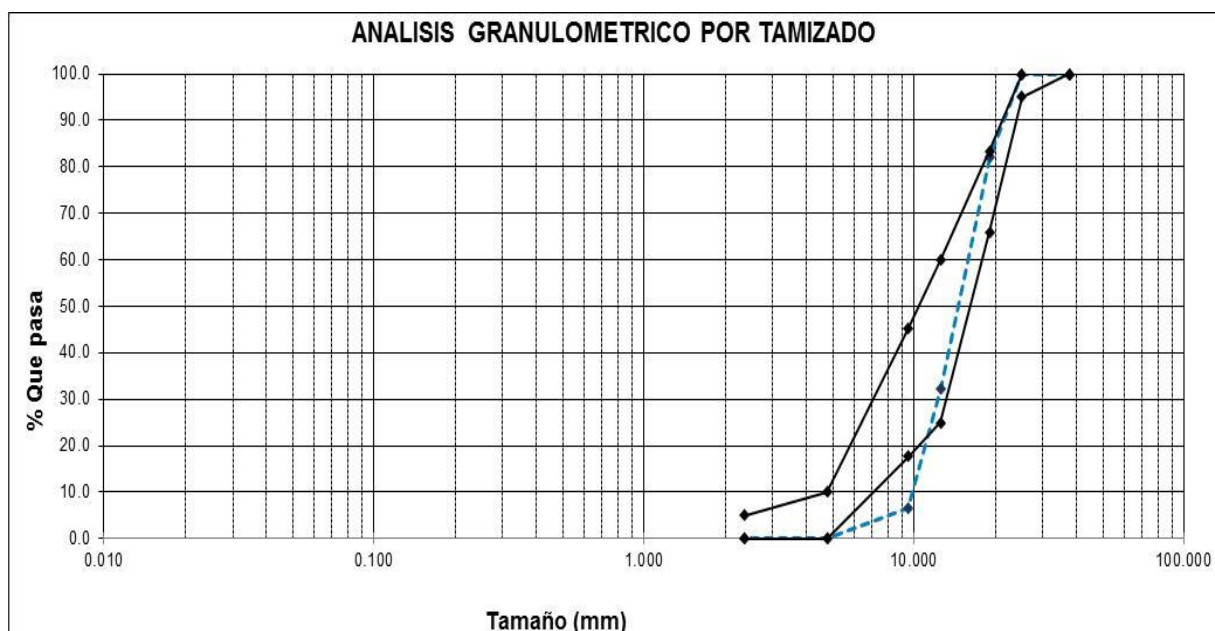
### 1. Características del agregado grueso

Piedra chancada procedente de cantera de Chincha

#### A) Análisis Granulométrico

TAMIZ	ABERTURA (mm)	Peso retenido (gr.)	% retenido	% retenido acumulado	% que pasa	PARAMETROS	
1 1/2"	37.500	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100
1"	25.000	0.0	0.0	0.0	100.0	95	100
3/4"	19.000	212.47	18.0	18.0	82.0	66	83
1/2"	12.500	588.67	49.8	67.8	32.2	25	60
3/8"	9.500	304.81	25.8	93.6	6.4	18	45
N° 4	4.750	74.32	6.3	99.9	0.1	0	10
N° 8	2.360	1.59	0.1	100.0	0.0	0	5
< N° 200		0.00	0.0	100.0			

#### B) CURVA GRANULOMETRICA



## ANEXO 3

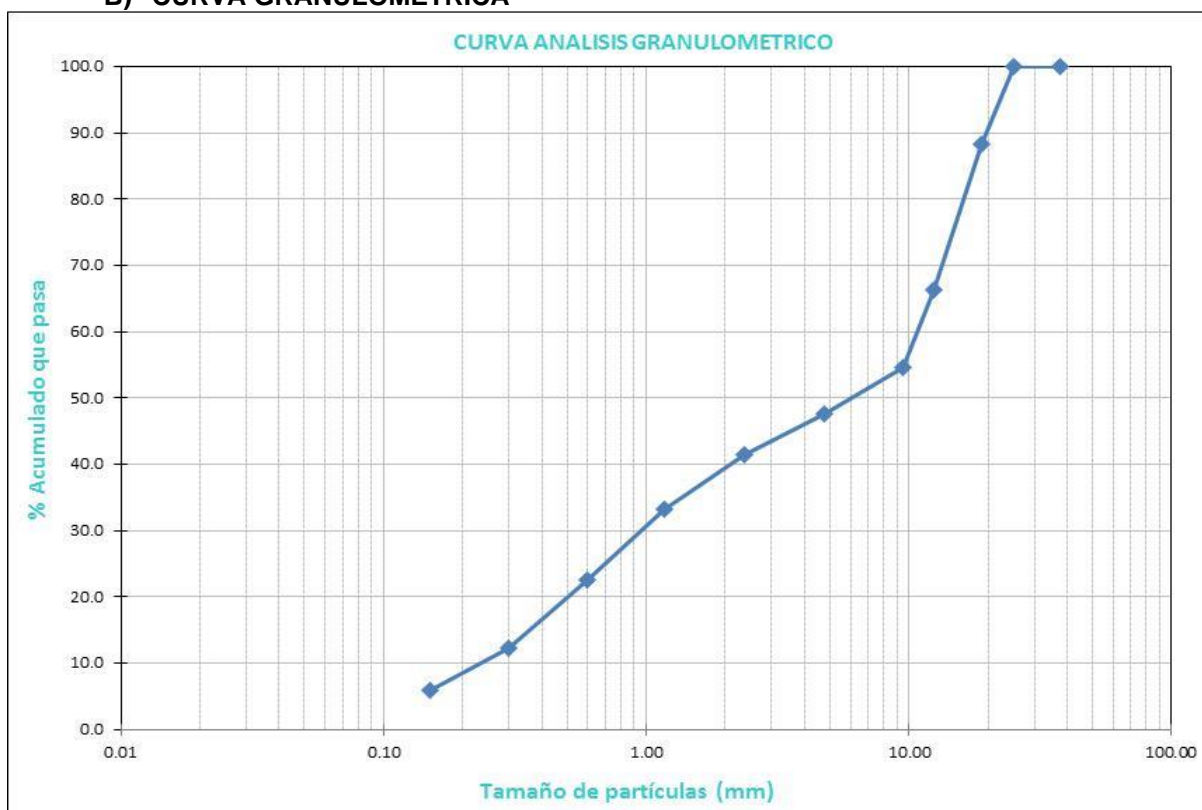
### 1. Características del agregado global

Combinación de arena gruesa y piedra chancada procedente de la cantera de Chincha

#### A) Análisis granulométrico

Tamiz pulg.	mm	Peso retenido	Porcentaje retenido	% Retenido Acumulado	% Que pasa	Especificaciones	
1 1/2"	37.50	0.0	0.0	0.0	100.0	88	66.00
1"	25.00	0.0	0.0	0.0	100.0	77	52
3/4"	19.00	101.9	11.7	11.7	88.3	69	43
1/2"	12.50	189.8	21.9	33.6	66.4	57	32
3/8"	9.50	102.4	11.8	45.4	54.6	49	26
Nº4	4.74	61.2	7.1	52.5	47.5	35	15
Nº8	2.360	53.2	6.1	58.6	41.4	27	10
Nº16	1.180	71.5	8.2	66.8	33.2	20	6
Nº30	0.600	91.9	10.6	77.4	22.6	13	4
Nº50	0.300	89.4	10.3	87.7	12.3	7	2
Nº100	0.150	54.4	6.3	94.0	6.0	4	1
<b>Fondo</b>	815.7	52.1	6.0	100.0			

#### B) CURVA GRANULOMETRICA



## ANEXO 4

1. Pruebas con adición de aditivos al concreto para los tapones de concreto
  - Determinar un diseño de mezcla de 21 Mpa, considerando las características físicas del agregado global
  - Con la adición de aditivos MasterGlenium 1300(reductor de agua de alto rango) y Master Set AC 534(accelerante de fragua) se busca acelerar el tiempo de fraguado e incrementar las resistencias iniciales del concreto
  - Determinar el tiempo de fraguado por medio de resistencia a la penetración

### Diseño utilizado en las pruebas

<b><i>DISEÑO 21 Mpa</i></b>			
<b>Cemento</b>	<b>360</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>14.2%</b>
<b>Agua</b>	<b>153</b>	<b>L/m<sup>3</sup></b>	<b>6.0%</b>
<b>Agregado</b>	<b>1995</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>78.7%</b>
<b>Glenium 1300</b>	<b>4.32</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>0.2%</b>
<b>MasterSet AC534</b>	<b>21.28</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>	<b>0.8%</b>
<b>Densidad</b>	<b>2533.6</b>	<b>kg/m<sup>3</sup></b>	
<b>Relación A/C</b>	<b>0.43</b>		

**FORMATO DE CALCULO y ENSAYO**

**DISEÑO N°** : 001-2019  
**FECHA** : Julio 2019

**ENSAYO** : Diseño de mezcla muros de concreto  
**NORMA DE REFERENCIA** : Recomendación ACI 211

**ESPECIFICACIONES DE DISEÑO**

Resistencia especificada	$F'c$	$kg/cm^2$	<b>210</b>
Resistencia requerida	$F'cr$	<b>10</b> $kg/cm^2$	<b>231</b>
Relación agua cemento		Adimensional	<b>0.50</b>
Consistencia requerida (Slump)		Pulgadas	<b>9</b>
Volumen unitario del agua	: Recuperada Industrial	$Lt/m^3$	<b>180</b>
Contenido de aire atrapado		%	<b>1.0</b>
Plastificante		%	<b>1.2</b>
Acelerante		%	<b>5.91</b>

**CARACTERISTICAS DEL AGREGADO**

Procedencia	: Agregado Global 1 1/2": Cantera Pampa de Ñoco Chinchá		
Tamaño máximo	Pulgadas		2"
Tamaño máximo nominal	Pulgadas		1 1/2"
Módulo de finiza	Adimensional		5.75
Peso unitario suelto con humedad natural	$kg/m^3$		1721
Peso unitario compactado con humedad natural	$kg/m^3$		1969
Peso específico de masa del agregado	$kg/m^3$		2949
Contenido de humedad natural	%		0.2
Contenido de absorción	%		1.5

**CARACTERISTICAS DE LOS ADICIONADOS**

Peso específico del cemento	: Portland tipo V - Andino	$kg/m^3$	3150
Densidad aparente plastificante		$g/cm^3$	1020.00
Densidad aparente acelerante		$g/cm^3$	1350.00
Densidad aparente del agua		$kg/m^3$	1.00

**CALCULO DISEÑO DE MEZCLA**

**Volúmenes absolutos**

Cemento	$kg/m^3$	360
Agua	$l/m^3$	180
Agregado	$kg/m^3$	1992
Glenium 1300	$kg/m^3$	4.32
MasterSet AC 534	$kg/m^3$	21.28
Aire	%	1.0

Cemento	0.114 $m^3$
Agua	0.180 $m^3$
Agregado	0.676 $m^3$
Aditivo	0.004 $m^3$
Aditivo	0.016 $m^3$
Aire	0.010 $m^3$

Corrección por humedad natural de agregados	$kg/m^3$	1995
Aporte de aguas humedad / absorción	$Lt/m^3$	-26.9

**Diseño húmedo**

Cemento	$kg/m^3$	360	14%
Agua	$l/m^3$	153	6%
Agregado	$kg/m^3$	1995	80%
Plastificante	$kg/m^3$	4.32	0.2%
Acelerante	$kg/m^3$	21.28	0.8%

Tanda	0.038 $m^3$
Cemento	13.50 $kg/tanda$
Agua	5.74 $lt/tanda$
Agregado	74.83 $kg/tanda$
Plastificante	0.162 $kg/tanda$
Acelerante	0.798 $kg/tanda$

### TIEMPO DE FRAGUA DEL CONCRETO

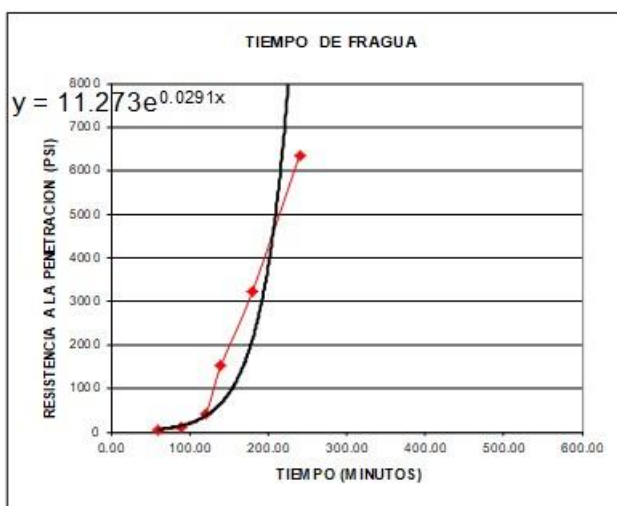
Código de Diseño: 01-A Fecha: 04/07/2019

Realizado por: F.RIVERA

Hora inicial: 11:20 Código de muestra: M1

Hora de ensayo	Tiempo Transcurrido (horas)	Tiempo (minutos)	Diámetro de la aguja (pulg)		Área (pulgadas <sup>2</sup> )	Fuerza (libras)	Resistencia a la penetración (PSI)
			Fracción	Entero			
12:20	01:00	60.00	1 1/8	1.125	0.9940	40	40
12:50	01:30	90.00	13/16	0.813	0.5185	62	120
13:20	02:00	120.00	9/16	0.563	0.2485	104	419
13:40	02:20	140.00	5/16	0.313	0.0767	117	1525
14:20	03:00	180.00	1/4	0.250	0.0491	158	3219
15:20	04:00	240.00	3/16	0.188	0.0276	175	6338

Fragua inicial (500 PSI): 13:25:00 Fragua final (4000 PSI): 14:30:00

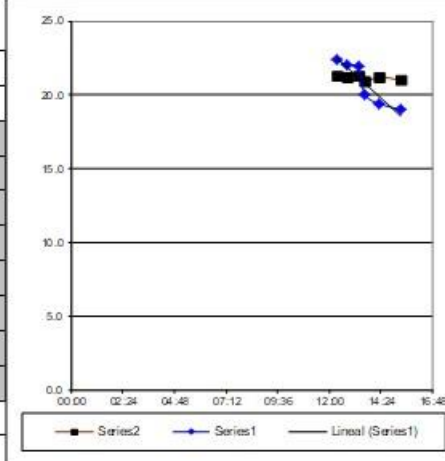


Código de muestra: M 1

Fragua Inicial (500 PSI): 13:25:00 Fragua Final (4000 PSI): 14:30:00

**Control de Temperatura**

Hora de ensayo	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura concreto(°C)	
		M1	M2
12:20	21.3	22.4	
12:50	21.2	22.0	
13:20	21.3	21.9	
13:40	20.9	20.0	
14:20	21.2	19.4	
15:20	21.0	19.0	



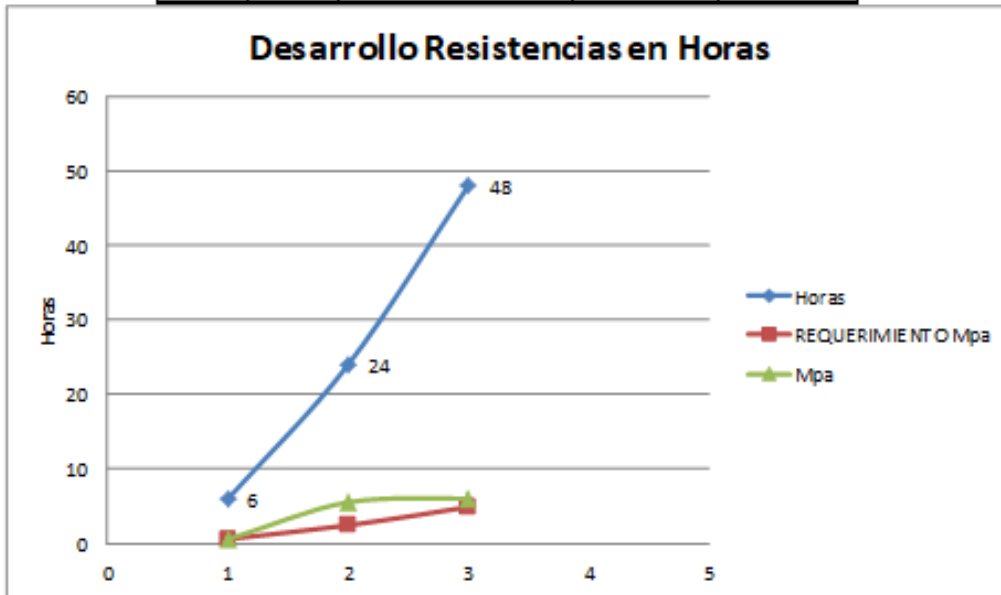
**OBSERVACIONES:**

**EL TIEMPO DE FRAGUA INICIAL FUE DE 2 HORAS, MIENTRAS QUE LA FRAGUA FINAL FUE DE 3 HORAS**

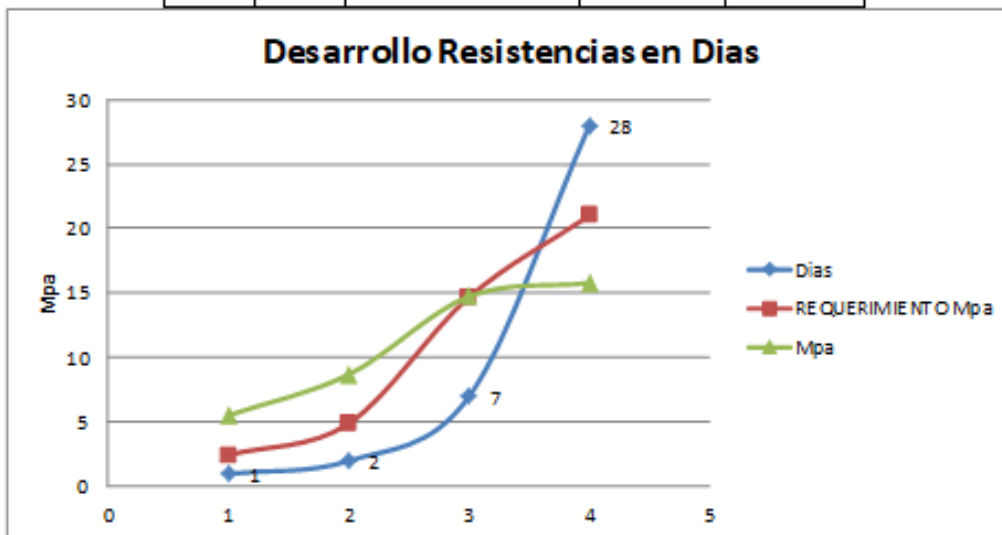
**SE PODRIA DESENCOFRAR DESPUES DE 3 HORAS**

### DESARROLLO RESISTENCIAS EN HORAS

Horas	Mpa	REQUERIMIENTO Mpa	% obtenido	% requerido
6	0.57	0.61	2.7	2.9
24	5.53	2.45	26.31	11.67
48	6.03	4.9	28.72	23.33



Dias	Mpa	REQUERIMIENTO Mpa	% obtenido	% requerido
1	5.53	2.45	26.31	11.67
2	8.69	4.90	41.36	23.33
7	14.74	14.70	70.19	70
28	15.78	21.00	75.13	100





DENSIDAD DE MASTERSET 534



DENSIDAD GLENIUM 1300



CEMENTO ANDINO TIPO V



PESO DEL CEMENTO





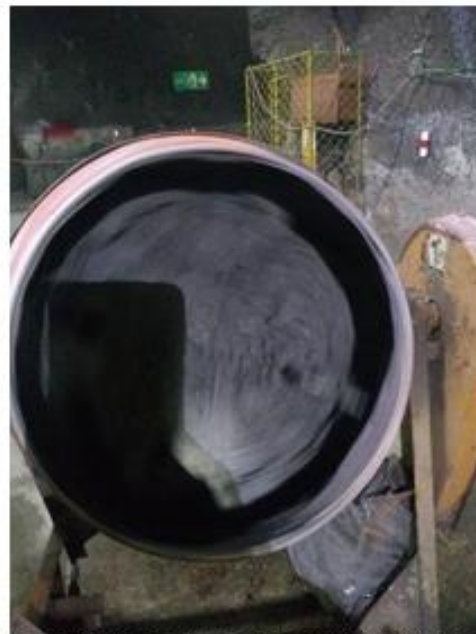
PESO DE ADITIVO GLENIUM



PESO ADITIVO MASTERSET 534



PESO DEL AGUA



MEZCLA DE LOS COMPONENTES



SLUMP INICIAL 4"



SLUMP FINAL 10" CON ADITIVO



TIEMPO DE FRAGUADO CON EL PENETROMETRO

## ANEXO 5

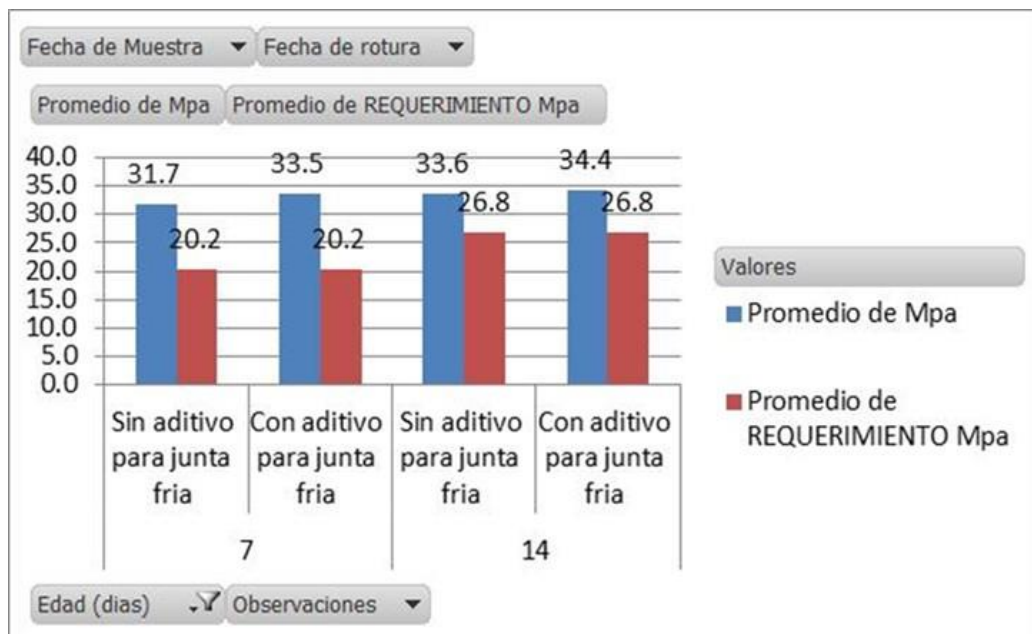
### 1. Características del aditivo MasterEmaco ADH 326

MasterEmaco ADH 326 es un adhesivo epóxico bicomponente líquido, con 100% de sólidos diseñado para aplicaciones en climas cálidos o cuando se requiere de un tiempo largo para trabajar y de aplicación.

### 2. Descripción de pruebas

Las pruebas se realizaron en el laboratorio de relleno el proceso fue el siguiente:

- Se simuló las juntas frías en probetas de concreto, por lo que se procedió a llenar las probetas a la mitad para luego completar el llenado de estas ya con el adhesivo
- Se tomó como patrón unas muestras sin el adhesivo para hacer un comparativo
- Se realizaron los ensayos a compresión de estas muestras a la edad de 7 y 14 días de acuerdo a la fecha de ensayo





Adhesivos epóxicos usados



Primera etapa de llenado



Segunda etapa con el adhesivo



Llenado total de probetas



Muestras desencofradas