

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALURGICA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**



**TESIS**

**“REDUCCIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO DE RELLENO EN PASTA, PARA OPTIMIZACIÓN DEL CICLO DE MINADO EN TAJEOS POR EL MÉTODO DE SUBLEVEL STOPING - EN LA UNIDAD MINERA SAN RAFAEL – PUNO”**

**PRESENTADO POR:**

Br. Alex Alberto Chicche Quispe.

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**Ingeniero de Minas**

**ASESOR:**

Ing. Odilón Contreras Arana.

**Cusco - Perú**

**2023**

## INDICE

<b>DEDICATORIA</b> .....	IV
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	V
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	VI
<b>RESUMEN</b> .....	VIII
<b>ABSTRACT</b> .....	IX
<b>LISTA DE CUADROS</b> .....	X
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	XIII
<b>LISTA DE FOTOGRAFIAS</b> .....	XV
<b>LISTA DE SIMBOLOS</b> .....	XVI
<b>CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES DEL MARCO METODOLÓGICO</b> .....	- 1 -
<b>1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	- 1 -
<b>1.1.1 PROBLEMA GENERAL</b> .....	- 1 -
<b>1.1.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS</b> .....	- 1 -
<b>1.3. OBJETIVOS</b> .....	- 2 -
<b>1.4.1 OBJETIVOS GENERALES</b> .....	- 2 -
<b>1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	- 2 -
<b>1.4. JUSTIFICACION</b> .....	- 2 -
<b>1.5. HIPÓTESIS</b> .....	- 3 -
<b>1.5.1. HIPOTESIS GENERAL</b> .....	- 3 -
<b>1.5.2. HIPOTESIS ESPECIFICAS</b> .....	- 3 -
<b>1.6. VARIABLES E INDICADORES</b> .....	- 3 -
<b>1.7. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACION</b> .....	- 4 -
<b>1.7.1. Tipo de Investigación</b> .....	- 4 -
<b>1.7.2. Nivel de la Investigación</b> .....	- 4 -
<b>1.8. POBLACIÓN Y MUESTRA</b> .....	- 4 -
<b>1.8.1. Población:</b> .....	- 4 -
<b>1.8.2. Muestra:</b> .....	- 4 -
<b>1.9. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b> .....	- 5 -
<b>1.9.1. Técnicas de Recolección de Datos</b> .....	- 5 -
<b>1.9.2. Instrumentos de recolección de información.</b> .....	- 5 -
<b>1.10. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN</b> .....	- 6 -

1.11. ANÁLISIS DE DATOS .....	- 6 -
<b>CAPITULO II: MARCO TEORICO DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>7</b>
2.1 METODO DE EXPLOTACION SUBTERRANEA .....	7
2.1.1 SUBLEVEL STOPING CON MULTINIVELES.....	7
2.1.2 SUBLEVEL STOPING EN BANCOS .....	8
2.1.3 SUBLEVEL STOPING TRANSVERSAL.....	9
2.1.4 BENCH AND FILL.....	9
2.2 RELLENO EN MINERIA SUBTERRANEA .....	10
2.2.1. CONCEPTOS GENERALES.....	10
2.2.2. TIPOS DE RELLENO .....	11
2.2.3. FACTORES DE SELECCIÓN DEL TIPO DE RELLENO .....	12
<b>CAPITULO III: DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD MINERA DE SAN RAFAEL .....</b>	<b>13</b>
3.1 UBICACIÓN Y ACCESO .....	13
3.2 HIDROLOGIA .....	15
3.5 GEOLOGIA REGIONAL .....	15
3.5.1 ESTATRIGRAFIA.....	15
3.6 GEOLOGIA LOCAL.....	17
3.7. GEOLOGIA ESTRUCTURAL.....	17
3.8. GEOLOGIA ECONOMICA .....	17
3.8.1. RESERVAS DE MINERAL .....	17
3.10. OPERACIONES UNITARIAS – CICLO DE MINADO.....	18
3.10.1. PERFORACION .....	18
3.10.2. VOLADURA.....	18
3.10.3. LIMPIEZA.....	19
3.11. TIEMPO DE CICLO DE MINADO ACTUAL .....	19
3.12. COSTO RELLENO ACTUAL.....	19
3.13. PROCESO METALURGICO .....	20
<b>CAPITULO IV: PROCESO DE REDUCCION DE TIEMPO DE FRAGUADO.....</b>	<b>21</b>
4.1 EVALUACION DEL RELLENO EN PASTA .....	21
4.1.1. DESCRIPCION RELLENO EN PASTA EN MINA SAN RAFAEL .....	21
4.1.2. TIEMPOS DE FRAGUADO DEL RELLENO EN PASTA EN MINA SAN RAFAEL .....	30

4.1.3.	EVALUACIONES REALIZADAS AL RELLENO EN PASTA .....	36
4.1.4.	EVALUACION DE ESTABILIDAD DEL RELLENO EN PASTA.....	46
4.2	EVALUACION DEL CICLO DE MINADO.....	58
4.2.1.	CICLO DE MINADO EN MINA SAN RAFAEL .....	58
4.2.2.	EVALUACION DE TIEMPOS DE CICLO DE MINADO.....	60
4.3.	TIEMPO DE FRAGUADO DEL RELLENO EN PASTA REDUCIDO.....	68
<b>CAPITULO V: OPTIMIZACIÓN DEL CICLO DE MINADO.....</b>		<b>69</b>
5.1	EVALUACION DEL RELLENO EN PASTA CON ACELERANTES .....	69
5.2	EVALUACION DE ESTABILIDAD DEL RELLENO EN PASTA CON ACELERANTES.....	73
5.3.-	EJECUCIÓN DE PRUEBAS EN CAMPO AL OPTIMIZAR EL CICLO DE MINADO CON REDUCCIÓN DE TIEMPO DE FRAGUADO .....	92
5.3.1.-	PRUEBA EN TAJO KIMBERLY .....	92
5.3.2.-	PRUEBA EN TAJO ELIANA.....	94
5.4.-	RESUMEN DE OPTIMIZACION DEL CICLO DEL MINADO CON LOS NUEVOS TIEMPOS DE FRAGUADO Y COSTO DE FRAGUADO .....	96
5.5.-	ANÁLISIS DE RESULTADOS Y ESCENARIO OPTIMO .....	114
<b>CONCLUSIONES.....</b>		<b>124</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>		<b>125</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>126</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>128</b>
ANEXO 1 Plano de Superficie.....		129
ANEXO 2 Plano Tajeo Eliana y Kimberly .....		130
ANEXO 3 Resultado Resistencia Relleno en Fraguado con Acelerantes .....		131

### **DEDICATORIA**

*A mis padres Paulino y Valentina, mi hermana Frida, mi hermano Julio por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación y por su incondicional apoyo para alcanzar todos mis objetivos.*

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco al señor de Accha, por estar siempre conmigo en cada paso que realizo, a mi novia Irene Sutta, a toda mi familia por su constante motivación y a mi asesor Mg. Odilón Contreras por apoyarme con el presente informe.*

## INTRODUCCIÓN

El siguiente trabajo es una evaluación que se realiza a los diferentes rellenos que se utilizan en Mina San Rafael de MINSUR, con el objetivo de determinar las mejores opciones para poder encontrar la mejor opción en estabilidad y resistencia U.C.S. en los diferentes tajeos.

La demora del fraguado del relleno ocasiona demoras ya que no llega a alcanzar las resistencias necesarias para la estabilidad de los paneles y/o tajeos en general lo que ocasiona movimiento de equipos y reprogramación.

En este trabajo de investigación se ha realizado las diferentes evaluaciones con los acelerantes, tomando como objetivo principal el acortar el tiempo de fraguado para que los paneles adyacentes y nos permitan seguir con la explotación del tajeo.

En primer lugar, se tiene el planteamiento de la problemática donde se exponen los diversos problemas que genera el lento proceso de fraguado en el relleno, se explica cómo afecta el proceso y que soluciones se podrían emplear.

En el capítulo segundo se desarrolla la revisión de conceptos y antecedentes que nos brindaran la información para establecer los diferentes lineamientos y las evaluaciones que se van a desarrollar.

En la tercera parte se desarrolla las evaluaciones respecto al proceso de fraguado cuáles son sus efectos en el ciclo y como se generan demoras al momento de realizar las labores, se explica la evaluación del relleno tanto en sus propiedades y efectos, se resalta la evaluación de resistencias que puedan afectar la explotación del tajeo, se demuestra los diferentes U.C.S. que debieran alcanzar para poder desarrollar el proceso de explotación de manera segura y productiva.

En la última parte se explica cómo es el proceso de fraguado cuando se utiliza acelerantes, como se acortan los tiempos para que el relleno alcance una resistencia que permita seguir con la explotación de paneles adyacentes, se demuestra cómo se reducen los tiempos en el ciclo de minado basados más que nada en la resistencia y estabilidad geomecánica.

Con este trabajo se brinda la información relativa a la aplicación del relleno y como los tiempos de fraguado no permite el desarrollo normal del proceso, todo esto nos brindara la

información necesaria al momento de tomar decisiones en especial tomando en cuenta la seguridad como base fundamental para el desarrollo de nuestras actividades.



## RESUMEN

Es posible reducir el ciclo de minado al disminuir el tiempo de fraguado en el relleno que se usa en los tajeos ya que el tiempo de fraguado es el tiempo que tiene mayor cantidad de días lo que causa las diferentes demoras en la secuencia de minado, los trabajos de explotación de tajeos se ven demorados por lo tiempos de fraguado que no permiten la explotación de paneles adyacentes ya que no llegan a alcanzar las resistencias mínimas para la explotación.

El relleno en pasta con acelerantes llega a tener un tiempo de fraguado más rápido a diferencia del relleno en pasta sin acelerantes, es así que se tiene en la Mina San Rafael de MINSUR un relleno en pasta que tiene como insumos al Relave que se consigue luego de la concentración de mineral además de la Escoria de la planta, todo esto se encuentra en muchos casos con agregados de finos para el Relleno en Pasta que se encuentra en dosificación de 2% a 7% en Binder, el cemento utilizado es Cemento YURA Portland IP.

El relleno en pasta sin acelerantes consigue los 200KPa (Cuerpos) en 16 días y 70KPa (Vetas) en 3 días en cambio el relleno en pasta con acelerantes llega a conseguir los 200KPa (Cuerpos) en 3 días con Plastiment y 70KPa (Vetas) en 2 días con Plastiment, todo esto implica que el tiempo de fraguado se disminuye si se usan los acelerantes ya mencionado reduciendo el tiempo del ciclo de minado.

En el caso del ciclo de minado en dosificación binder de 7% se tiene una reducción de tiempo en Cuerpos de 40 a 29 días y en Vetas de 45 a 44 días, lo que implica que se pueda aumentar la producción en las zonas de explotación.

Por último, los resultados de estabilidad demuestran estabilidad en las labores con los diferentes rellenos tanto con acelerantes como sin acelerantes, en todos los casos los tajeos se mantienen en esfuerzos menores a 100MPa con lo cual nos corre ningún riesgo al momento de realizar la respectiva explotación.

**Palabras Clave: Fraguado, Relleno, Acelerante y Binder**

## ABSTRACT

It is possible to reduce the mining cycle by reducing the setting time in the fill that is used in the stopes, since the setting time is the time that has the greatest number of days, which causes the different delays in the mining sequence, the Taje exploitation works are delayed due to the setting times that do not allow the exploitation of adjacent panels since they do not reach the minimum resistance for exploitation.

The paste filler with accelerators has a faster setting time than the paste filler without accelerators. This is how the San Rafael Mine of MINSUR has a paste filler that has as inputs the Tailings that is obtained later of the mineral concentration in addition to the Slag of the plant, all this is found in many cases with fine aggregates for the Paste Filling that is found in a dosage of 2% to 7% in Binder, the cement used is YURA Portland Cement IP.

The paste filling without accelerators achieves 200KPa (Bodies) in 16 days and 70KPa (Vines) in 3 days, while the paste filling with accelerators reaches 200KPa (Bodies) in 3 days with Plastiment and 70KPa (Vines) in 2 days with Plastiment, all this implies that the setting time is reduced if the aforementioned accelerators are used, reducing the mining cycle time.

In the case of the mining cycle in binder dosage of 7%, there is a reduction in time in Bodies from 40 to 29 days and in Veins from 45 to 44 days, which implies that production can be increased in the exploitation areas.

Finally, the stability results show stability in the work with the different fillers, both with accelerators and without accelerators. In all cases, the stopes are maintained at efforts of less than 100MPa, with which we run no risk at the time of carrying out the respective exploitation.

**Keywords: Set, Filler, Accelerator and Binder**

## LISTA DE CUADROS

Cuadro N° 1 Variables e Indicadores .....	- 3 -
Cuadro N° 2 Vías de Acceso a Mina San Rafael .....	13
Cuadro N° 3 Cantidad de reservas U.M. San Rafael .....	18
Cuadro N° 4 Parámetros de Perforación en Cuerpos y Vetas .....	18
Cuadro N° 5 Tiempo de ciclo de minado según Método .....	19
Cuadro N° 6 Costo Relleno en Pasta en Cuerpos .....	19
Cuadro N° 7 Costo Relleno en Pasta en Vetas .....	20
Cuadro N° 8 Demando de Relleno en U.M. San Rafael .....	23
Cuadro N° 9 U.C.S. Relleno en Pasta en Binder 3% .....	31
Cuadro N° 10 U.C.S. Relleno en Pasta en Binder 4% .....	32
Cuadro N° 11 U.C.S. Relleno en Pasta en Binder 5% .....	33
Cuadro N° 12 U.C.S. Relleno en Pasta en Binder 6% .....	34
Cuadro N° 13 U.C.S. Relleno en Pasta en Binder 7% .....	35
Cuadro N° 14 Resumen U.C.S. Relleno en Pasta en U.M. San Rafael .....	36
<b>Cuadro N° 15 Clasificación Material de Relavera</b> .....	<b>36</b>
<b>Cuadro N° 16 Análisis Granulométrico Relave</b> .....	<b>36</b>
<b>Cuadro N° 17 Límites de agua en Relave</b> .....	<b>38</b>
<b>Cuadro N° 18 Clasificación del relleno respecto a Densidad Relativa</b> .....	<b>41</b>
<b>Cuadro N° 19 Clasificación Terreno en base a la Percolación</b> .....	<b>45</b>
<b>Cuadro N° 20 Resultados Test de Percolación en R.H.C.</b> .....	<b>45</b>
<b>Cuadro N° 21 Altura Slump R.H.C.</b> .....	<b>46</b>
Cuadro N° 22 Ciclo Minado Tajeo en Cuerpos .....	58
Cuadro N° 23 Ciclo Minado Tajeo en Vetas .....	59
Cuadro N° 24 Tiempos Ciclo de minado Tajeo en Cuerpos – Binder 3% .....	60
Cuadro N° 25 Tiempos Ciclo de minado Tajeo en Cuerpos – Binder 4% .....	61
Cuadro N° 26 Tiempos Ciclo de minado Tajeo en Cuerpos – Binder 5% .....	61
Cuadro N° 27 Tiempos Ciclo de minado Tajeo en Cuerpos – Binder 6% .....	62
Cuadro N° 28 Tiempos Ciclo de minado Tajeo en Cuerpos – Binder 7% .....	62
Cuadro N° 29 Tiempos Ciclo de minado Tajeo en Vetas – Binder 3% .....	63
Cuadro N° 30 Tiempos Ciclo de minado Tajeo en Vetas – Binder 4% .....	64
Cuadro N° 31 Tiempos Ciclo de minado Tajeo en Vetas – Binder 5% .....	65
Cuadro N° 32 Tiempos Ciclo de minado Tajeo en Vetas – Binder 6% .....	66
Cuadro N° 33 Tiempos Ciclo de minado Tajeo en Vetas – Binder 7% .....	67
Cuadro N° 34 Tiempo de Fraguado reducido en Cuerpos .....	68
Cuadro N° 35 Tiempo de Fraguado reducido en Vetas .....	68
<b>Cuadro N° 36 Análisis Granulométrico Relave</b> .....	<b>70</b>
<b>Cuadro N° 37 Altura Slump R.H.C.</b> .....	<b>73</b>
Cuadro N° 38 U.C.S. Fraguado Relleno con Acelerante HP Normet en 1.2% Binder para Binder 2% .....	81
Cuadro N° 39 U.C.S. Fraguado Relleno con Acelerante Plastiment para Binder 2% .....	82

Cuadro N° 40 U.C.S. Fraguado Relleno con Acelerante HP Normet para Binder 3% .....	83
Cuadro N° 41 U.C.S. Fraguado Relleno con Acelerante HP Normet en 1.2% Binder para Binder 3%.....	84
Cuadro N° 42 U.C.S. Fraguado Relleno con Acelerante Plastiment para Binder 3% .....	85
Cuadro N° 43 U.C.S. Fraguado Relleno con Acelerante HP Normet en 1.2%Binde para Binder 5% .....	86
Cuadro N° 44 U.C.S. Fraguado Relleno con Acelerante HP Normet en Binder 5%.....	87
Cuadro N° 45 U.C.S. Fraguado Relleno con Acelerante Plastiment en Binder 5%.....	88
Cuadro N° 46 U.C.S. Fraguado Relleno con Acelerante HP Normet en Binder 7%.....	89
Cuadro N° 47 U.C.S. Fraguado Relleno con Acelerante Plastiment en Binder 7%.....	90
Cuadro N° 48 U.C.S. Fraguado Relleno con Acelerante HP Normet en Binder 1.2% para Binder 7% .....	91
Cuadro N° 49 Tiempo de Ciclo de Minado en Relleno con Acelerantes HP Normet para Binder 2% - Cuerpos.....	97
Cuadro N° 50 Tiempo de Ciclo de Minado en Relleno con Acelerantes Plastiment para Binder 2% - Cuerpos .....	97
Cuadro N° 51 Tiempo de Ciclo de Minado en Relleno con Acelerantes HP Normet para Binder 3% - Cuerpos.....	98
Cuadro N° 52 Tiempo de Ciclo de Minado en Relleno con Acelerantes HP Normet en Binder 1.2% para Binder 3% - Cuerpos .....	98
Cuadro N° 53 Tiempo de Ciclo de Minado en Relleno con Acelerantes Plastiment para Binder 3% - Cuerpos .....	99
Cuadro N° 54 Tiempo de Ciclo de Minado en Relleno con Acelerantes HP Normet para Binder 5% - Cuerpos.....	99
Cuadro N° 55 Tiempo de Ciclo de Minado en Relleno con Acelerantes HP Normet en Binder 1.2% para Binder 5% - Cuerpos .....	100
Cuadro N° 56 Tiempo de Ciclo de Minado en Relleno con Acelerantes Plastiment para Binder 5% - Cuerpos .....	100
Cuadro N° 57 Tiempo de Ciclo de Minado en Relleno con Acelerantes HP Normet para Binder 7% - Cuerpos.....	101
Cuadro N° 58 Tiempo de Ciclo de Minado en Relleno con Acelerantes HP Normet en Binder 1.2% para Binder 7% - Cuerpos .....	101
Cuadro N° 59 Tiempo de Ciclo de Minado en Relleno con Acelerantes Plastiment para Binder 7% - Cuerpos .....	102
Cuadro N° 60 Tiempo de Ciclo de Minado en Relleno con Acelerantes HP Normet para Binder 2% - Vetas.....	103
Cuadro N° 61 Tiempo de Ciclo de Minado en Relleno con Acelerantes Plastiment para Binder 3% - Vetas .....	104
Cuadro N° 62 Tiempo de Ciclo de Minado en Relleno con Acelerantes HP Normet para Binder 3% - Vetas.....	105
Cuadro N° 63 Tiempo de Ciclo de Minado en Relleno con Acelerantes HP Normet en 1.2% en Binder para Binder 3% - Vetas.....	106

Cuadro N° 64 Tiempo de Ciclo de Minado en Relleno con Acelerantes Plastiment para Binder 3% - Vetas .....	107
Cuadro N° 65 Tiempo de Ciclo de Minado en Relleno con Acelerantes HP Normet para Binder 5% - Vetas .....	108
Cuadro N° 66 Tiempo de Ciclo de Minado en Relleno con Acelerantes HP Normet en 1.2% en Binder para Binder 5% - Vetas.....	109
Cuadro N° 67 Tiempo de Ciclo de Minado en Relleno con Acelerantes Plastiment para Binder 3% - Vetas .....	110
Cuadro N° 68 Tiempo de Ciclo de Minado en Relleno con Acelerantes HP Normet para Binder 7% - Vetas .....	111
Cuadro N° 69 Tiempo de Ciclo de Minado en Relleno con Acelerantes HP Normet en 1.2% en Binder para Binder 7% - Vetas.....	112
Cuadro N° 70 Tiempo de Ciclo de Minado en Relleno con Acelerantes Plastiment para Binder 7% - Vetas .....	113

## LISTA DE FIGURAS

Figura N° 1 Método de Explotación Sublevel Stopping Gradín .....	8
Figura N° 2 Método de Explotación Sublevel por Bancos .....	8
Figura N° 3 Método de explotación Sublevel Transversal .....	9
Figura N° 4 Método de explotación Bench and Fill .....	9
Figura N° 5 Planos de ubicación y Ruta de accesibilidad a U.M. San Rafael.....	14
Figura N° 6 Columna estratigráfica U.M. San Rafael .....	16
Figura N° 7 Flow Sheet Relleno en Pasta.....	22
Figura N° 8 Unifilar Sistema de Bombeo Relleno.....	23
Figura N° 9 Flow Sheet Dosificación Relleno.....	25
Figura N° 10 Flow Sheet Alimentación Planta Prell .....	27
Figura N° 11 U.C.S. Obtenidos en Pruebas de Relleno Sin Acelerantes .....	30
Figura N° 12 Análisis Granulométrico Relaves.....	37
Figura N° 13 Limites de Atterberg . Consistencia del suelo .....	38
Figura N° 14 Grafico de Elasticidad Relleno .....	39
Figura N° 15 Limites de consistencia.....	41
Figura N° 16 Esquema de criterio de falla Mitchel .....	46
Figura N° 17 Diseño Paneles Tajeo en Cuerpos.....	48
Figura N° 18 Diseño Paneles Tajeo en Vetas .....	49
Figura N° 19 Constante k de esfuerzos litostaticos .....	51
Figura N° 20 Ubicación Tajeo Kimberly – Cuerpos.....	52
Figura N° 21 Modelado Estabilidad Global – Phase 2 – Tajeo en Cuerpos.....	53
Figura N° 22 Constante relación esfuerzos litostaticos en Vetas .....	55
Figura N° 23 Ubicación Tajeo Eliana – Explotación por Vetas.....	55
Figura N° 24 Modelado Estabilidad Global – Phase 2 – Tajeo en Vetas .....	57
Figura N° 25 Secuencia de Minado tajeo en Cuerpos .....	58
Figura N° 26 Secuencia de Minado tajeo en Vetas.....	59
Figura N° 27 Análisis Granulométrico Relleno con Acelerantes.....	71
Figura N° 29 Grafica de elasticidad Relleno con Acelerantes .....	72
Figura N° 29 Esquema criterio de falla Mitchell para Paneles de relleno con acelerantes.....	74
Figura N° 30 Modelamiento Estabilidad para tajeo en cuerpos con presión litostatica a 260 metros .....	79
Figura N° 31 Modelamiento estabilidad Tajeo Kimberly con un panel explotado .....	93
Figura N° 32 Modelamiento estabilidad Tajeo Kimberly con paneles rellenos .....	94
Figura N° 33 Modelamiento estabilidad Tajeo Eliana con un panel explotado .....	95
Figura N° 34 Modelamiento estabilidad Tajeo Eliana con un panel rellenos.....	96
Figura N° 35 Resultados Fraguado Relleno en tajeo en cuerpos – sin acelerantes .....	114
Figura N° 36 Resultados Fraguado Relleno en tajeo en Vetas – sin acelerantes.....	114
Figura N° 37 Resultados Fraguado Relleno en tajeo en Cuerpos – con acelerantes HP Normet ...	115
Figura N° 38 Resultados Fraguado Relleno en tajeo en Cuerpos – con acelerantes HP Normet en 1.2% en Binder.....	115

Figura N° 39 Resultados Fraguado Relleno en tajeo en Cuerpos – con acelerantes HP Normet en 1.2% en Binder.....	116
Figura N° 40 Resultados Fraguado Relleno en tajeo en Vetas – con acelerantes HP Normet .....	116
Figura N° 41 Resultados Fraguado Relleno en tajeo en Vetas – con acelerantes HP Normet 1.2% en Binder .....	117
Figura N° 42 Resultados Fraguado Relleno en tajeo en Vetas – con acelerantes Plastiment.....	117
Figura N° 43 Comparativa Rellenos en Binder 2% - Cuerpos.....	118
Figura N° 44 Comparativa Rellenos en Binder 3% - Cuerpos.....	118
Figura N° 45 Comparativa Rellenos en Binder 4% - Cuerpos.....	119
Figura N° 46 Comparativa Rellenos en Binder 5% - Cuerpos.....	119
Figura N° 47 Comparativa Rellenos en Binder 6% - Cuerpos.....	120
Figura N° 48 Comparativa Rellenos en Binder 7% - Cuerpos.....	120
Figura N° 49 Comparativa Rellenos en Binder 2% - Vetas.....	121
Figura N° 50 Comparativa Rellenos en Binder 3% - Vetas.....	121
Figura N° 51 Comparativa Rellenos en Binder 4% - Vetas.....	122
Figura N° 52 Comparativa Rellenos en Binder 6% - Vetas.....	122
Figura N° 53 Comparativa Rellenos en Binder 7% - Vetas.....	123

## LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografía N° 1 Espesado en Tanque de Floculación .....	24
Fotografía N° 2 Fanja Transportadora Espesado .....	24
Fotografía N° 3 Mezclador Continuo .....	26
Fotografía N° 4 Tanque Almacenamiento Cemento y Escoria .....	26
Fotografía N° 5 Sistema de Bombeo Relleno .....	27
Fotografía N° 6 Bombas de desplazamiento de relleno .....	28
Fotografía N° 7 Distribución Relleno interior mina .....	28
Fotografía N° 8 Rellenado en Tajeos .....	29
Fotografía N° 9 Carguío de Explosivos en Tajeo Kimberly .....	92
Fotografía N° 10 Tajo Kimberly antes de relleno .....	93
Fotografía N° 11 Caserones en Veta en Tajeo Eliana.....	94
Fotografía N° 12 Tubería para Instalación de relleno en Veta Eliana.....	95



## LISTA DE SIMBOLOS

- $Z_1$  = Nivel de confianza
- $N$  = Población
- $p$  = Probabilidad a favor
- $q$  = probabilidad en contra
- $n$  = tamaño de muestra
- $d$  = precisión (Error máximo admisible en términos de proporción)
- $H$  = *Altura block*
- $\beta$  = *Angulo entre plano de deslizamiento y base block*
- $\phi$  = *Angulo de friccion interna*
- $P$  = Peso Bloque
- $V$  = Volumen Bloque
- $\delta_{rel.}$  = *densidad relave*
- U.C.S. = Fuerza de compresión sin confinamiento
- $\sigma_v$  = *esfuerzos verticales*
- $Z$  = *profundidad de la labor*
- $\sigma_v$  = *esfuerzos verticales*
- $Z$  = *profundidad de la labor*

## **CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES DEL MARCO METODOLÓGICO**

### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El relleno en pasta requiere un tiempo de fraguado mayor a 28 días para alcanzar las resistencias requeridas para la explotación de tajeo del minado contiguo. Esto es una restricción operativa debido al tiempo que se requiere para continuar con las operaciones mineras, la misma que genera retrasos en el planeamiento a corto plazo, disminuye la capacidad operativa y no garantiza el cumplimiento de la producción planeada.

Por consiguiente, se presenta la necesidad imperativa de realizar estudios y pruebas que conduzcan a una mezcla de relleno que presente un menor tiempo de fraguado manteniendo las propiedades mecánicas, con lo cual se pueda dinamizar el ciclo de minado, para cumplir la producción conjuntamente con seguridad que requiere el método de explotación.

#### **1.1.1 PROBLEMA GENERAL**

¿Cómo la reducción del tiempo de fraguado del relleno en pasta permitirá disminuir significativamente en el ciclo de minado de los tajeos en el método de explotación sublevel stoping en la Unidad Minera San Rafael?

#### **1.1.2 PROBLEMAS ESPECÍFICOS.**

1. ¿Cuáles son los insumos de relleno en pasta y sus características para reducir el tiempo de fraguado de los tajeos explotados por el método sublevel stoping?

2. ¿Cuáles son las propiedades de resistencia del relleno en pasta, realizadas en las pruebas de laboratorio para diferentes combinaciones de insumos componentes del relleno en pasta en la unidad minera San Rafael?
3. ¿Cómo el tiempo de fraguado del relleno en pasta permite optimizar significativamente el ciclo de minado en método sublevel stoping?

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.4.1 OBJETIVOS GENERALES.**

Reducir el tiempo y costo de fraguado del relleno en pasta permite optimizar el tiempo de minado en los tajeos en el método de explotación sublevel stoping en la unidad minera San Rafael.

#### **1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- 1) Determinar los insumos de relleno en pasta y sus características para reducir el tiempo de fraguado de los tajeos explotados por el método sublevel stoping.
- 2) Especificar las propiedades mecánicas del relleno en pasta, realizadas en las pruebas de laboratorio para diferentes combinaciones de insumos componentes del relleno en pasta en la unidad minera San Rafael
- 3) Determinar el tiempo de fraguado del relleno en pasta que permite optimizar significativamente el ciclo de minado en método sublevel stoping.

### **1.4. JUSTIFICACION**

Con la reducción del tiempo de fraguado del relleno en pasta se abre un camino a la continua búsqueda de mejora operacional que involucran la utilización de nuevas tecnologías que optimicen los procesos mineros y garantien la viabilidad economica de la operación. Los ensayos en laboratorio mas la aplicación en campo de la nueva mezcla del relleno en pasta se sintetizan en la solución a un problema imperativo dentro del metodo subteraneo Sublevel Stoping, incrementa los conocimiento referidos a la explotación subteranea especificamente a la operación unitaria del relleno en pasta.

## 1.5.HIPÓTESIS.

### 1.5.1. HIPOTESIS GENERAL

Reducir el tiempo y costo de fraguado del relleno en pasta permite minimizar significativamente el tiempo y costo en el ciclo de minado de tajeos en el método de explotación sublevel stoping en la Unidad Minera San Rafael.

### 1.5.2. HIPOTESIS ESPECIFICAS

- 1) Con la utilización de nuevos insumos en la mezcla de relleno en pasta se minimiza significativamente el tiempo de fraguado en el ciclo de minado en los tajeos explotados por el método sublevel stoping.
- 2) las propiedades de resistencia realizadas en las pruebas de laboratorio de diferentes combinaciones de insumos que componen el relleno en pasta son viables para la aplicación en el método sublevel stoping en la unidad minera san Rafael.
- 3) El fraguado de relleno en pasta influye directamente en la secuencia del ciclo de minado en método sublevel stoping.

## 1.6.VARIABLES E INDICADORES.

*Cuadro N° 1 Variables e Indicadores*

<b>Variable</b>	<b>Denominación</b>	<b>Indicadores</b>
<b>Dependiente</b>	Ciclo de minado	Hrs/guardia
<b>Independientes</b>	Tiempo de Fraguado	Días
	Componentes de la mezcla	%
	Propiedades geomecánicas	RQD, RMR, Q
	Resistencia de relleno	KPa
	Dimensión de los tajos	TM
	Estabilidad de tajos (UCS)	MPa

*Fuente: Análisis Propio*

## **1.7.METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACION**

### **1.7.1. Tipo de Investigación**

El presente estudio se realizará bajo el enfoque experimental - cuantitativo ya que es secuencial y probatorio. Es parte de una idea, que va acotándose y una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica.

### **1.7.2. Nivel de la Investigación**

- **Descriptivo.** Porque se describe los diferentes insumos (cemento, agua, acelerante o aditivo, material y relave) que componen la mezclas considerando sus propiedades de cada uno de ellos.
- **Experimental.** La investigación experimental es una investigación realizada con un enfoque científico, donde un conjunto de variables se mantiene constantes, mientras que el otro conjunto de variables se mide como sujeto del experimento, es un método de investigación cuantitativa. Es decir, se explica las pruebas de laboratorio del relleno en pasta con los diferentes aditivos para mejorar los criterios de diseño y operación.

## **1.8. POBLACIÓN Y MUESTRA**

### **1.8.1. Población:**

Como población absoluta de datos para la información correspondiente a los métodos de explotación sublevel stoping en la unidad minera San Rafael.

### **1.8.2. Muestra:**

La muestra es el relleno en pasta, donde se elegirán muestras de cada mezcla donde se utilizan nuevos insumos y tener el control adecuado, para que actúe de manera correcta en el sostenimiento de los tajos en la veta Kimberly (4224 - 1900) y Cuerpo Eliana (4030 - 1800), para el presente estudio se ha tomado las muestras del taje Kimberly.

$$n = \frac{N \times Z_1^2 \times p \times q}{d^2 \times (N - 1) + Z_1^2 \times p \times q}$$

Dónde:

$Z_1$  = Nivel de confianza

N = Población

p = Probabilidad a favor

q = probabilidad en contra

e = error de estimación

n = tamaño de muestra

d = precisión (Error máximo admisible en términos de proporción)

donde:

$$n = \frac{10 \times 1.96^2 \times 0.7 \times 0.1}{0.05^2 \times (10 - 1) + 1.96^2 \times 0.7 \times 0.1} = 9 \text{ muestras en total}$$

Se tomará la muestra como mínimo de 9 paneles en el tajeo Kimberly (Cuerpos) y Eliana (Vetas).

## **1.9. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

### **1.9.1. Técnicas de Recolección de Datos.**

Se realizó los siguientes procedimientos para la recolección de la información necesaria para esta investigación

- Toma de muestra de la mezcla empleada en el relleno en pasta.
- Entrevista con ingenieros del Área de Servicios Mina
- Observación; fotografías, material audiovisual, etc.
- Consulta de tesis, libros, catálogos, internet, etc.

### **1.9.2. Instrumentos de recolección de información.**

Recopilación de información necesaria de las áreas mina, planeamiento. Geología y geomecánica de la Unidad Minera San Rafael-Minsur.

### **1.10. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN**

Los datos obtenidos se procesarán mediante la observación de las pruebas realizadas en laboratorio y probadas en el campo.

Así mismo para la evaluación de estabilidad se utilizará el programa Phase 2 para determinar los UCS de los diferentes rellenos.

### **1.11. ANÁLISIS DE DATOS**

Mediante la proyección lineal del tiempo de fraguado y resistencia UCS, relación correlacional entre dos variables.

## **CAPITULO II: MARCO TEORICO DE LA INVESTIGACIÓN**

### **2.1 METODO DE EXPLOTACION SUBTERRANEA**

La unidad minera San Rafael extrae su mineral mediante el uso del método de explotación de cámaras por subniveles, en 4 variantes, a saber:

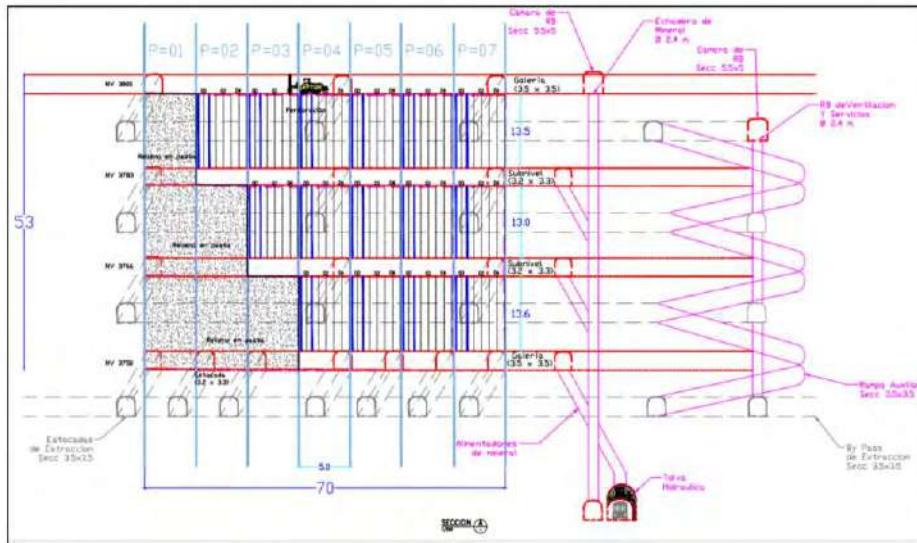
- Sublevel Stopping
- Sublevel Stopping en un banco (SLSb)
- Sublevel Stopping Transversal (SLSt) y
- Bench and Fill (B&F).

#### **2.1.1 SUBLEVEL STOPING CON MULTINIVELES**

La separación de subniveles varía entre 10 y 20 metros. Estas cámaras son rellenas con relleno en pasta o detrítico. La siguiente figura muestra el esquema de diseño usado por San Rafael.



Figura N° 1 Método de Explotación Sublevel Stoping Gradin

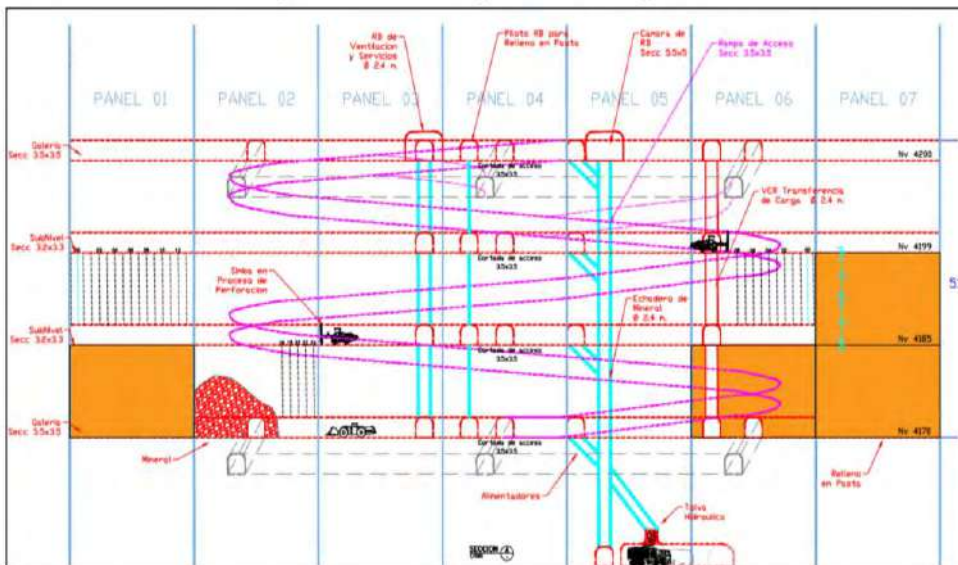


Fuente: San Rafael MINSUR

### 2.1.2 SUBLEVEL STOPPING EN BANCOS

Se utiliza en vetas con potencias mayores y que presentan problemas de estabilidad. Las cámaras son rellenas con relleno en pasta (paste fill).

Figura N° 2 Método de Explotación Sublevel por Bancos

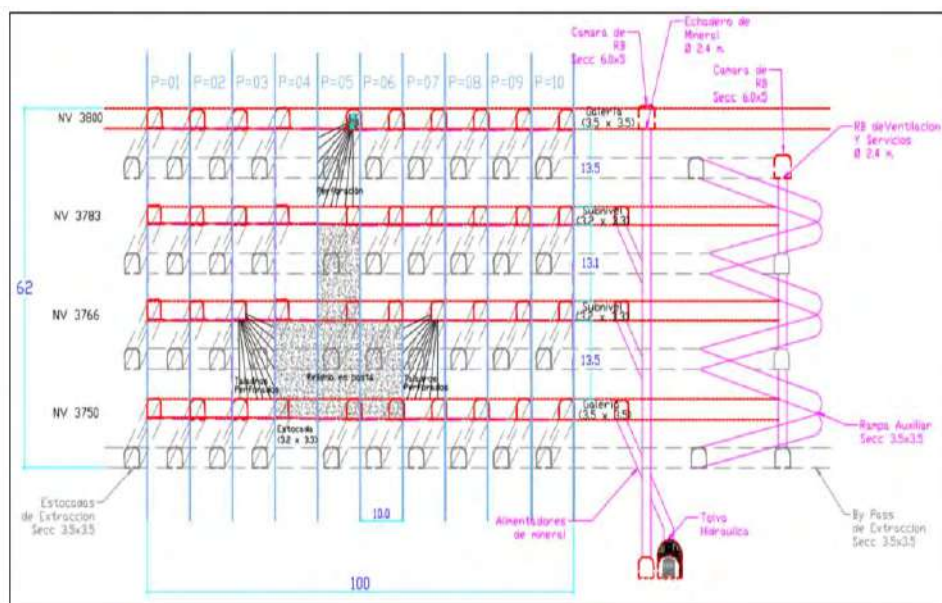


Fuente: San Rafael MINSUR

### 2.1.3 SUBLEVEL STOPING TRANSVERSAL

La secuencia de explotación es similar al método Bench and Fill, primero se explotan y rellenan las cámaras o tajos primarios, para luego recuperar en forma secuencial los tajos adyacentes, expandiéndose siempre hacia un lado con roca in situ.

Figura N° 3 Método de explotación Sublevel Transversal



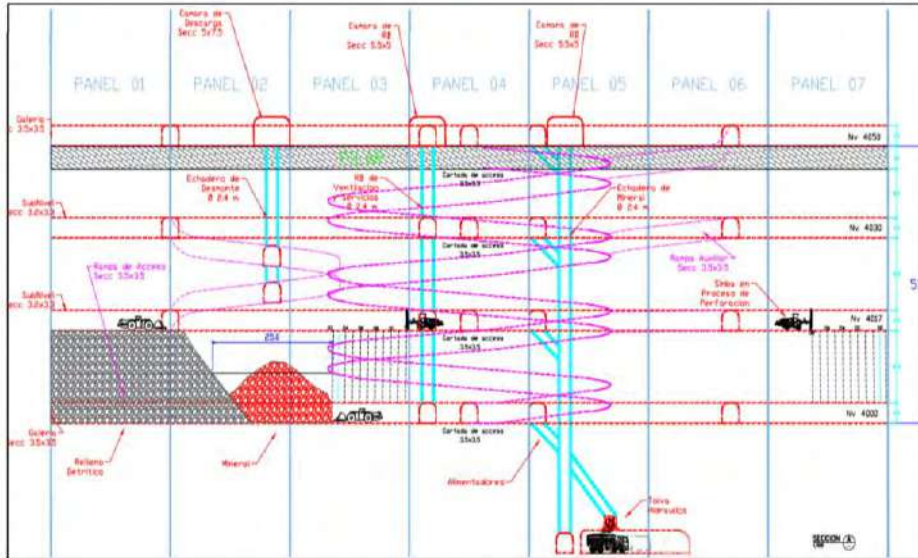
Fuente: San Rafael MINSUR

### 2.1.4 BENCH AND FILL

La figura siguiente ilustra el esquema de diseño usado por San Rafael en sus tajos de B&F y cuyas características se resumen a continuación:

- Separación entre subniveles de 16 metros.
- Perforación de producción hasta una longitud de 12.5 metros, en una malla perforación menor a 1.0 x 1.0 m y un diámetro de 2 ½ pulgadas.

Figura N° 4 Método de explotación Bench and Fill



Fuente: San Rafael MINSUR

## 2.2 RELLENO EN MINERIA SUBTERRANEA

### 2.2.1. CONCEPTOS GENERALES

Según (OSINERGMIN, 2017) , los roles del relleno que intervienen en el control del macizo rocoso son:

1. Soporte de bloques de rocas individuales de las paredes de los tajeos, pilares y techos, previniendo el colapso del techo/paredes y también minimizando la subsidencia por minado.
2. Confinamiento lateral del macizo rocoso (pilares, tajeos secundarios, etc.), incrementando su resistencia compresiva.
3. Provisión de un piso adecuado de trabajo en los métodos con entrada de personal.
4. Amortiguación de la respuesta vibracional de la masa rocosa durante eventos sísmicos.

El suministro de pequeñas cantidades de confinamiento lateral del relleno a la masa rocosa puede tener una influencia muy beneficiosa en la mejora de la resistencia de la masa de roca.

El relleno tiene el potencial de desempeñar un papel importante en el control de estabilidad del macizo rocoso a gran escala, proporcionando soporte de grandes áreas de las paredes de

los tajeos de explotación. La importancia del rol del relleno en el control del macizo rocoso a gran escala es a menudo subestimada. **(OSINERGMIN, 2017)**

El uso sistemático de un sistema de relleno con ingeniería apropiada en una mina puede permitir altos ratios de extracción en un determinado tipo de yacimiento mineral en comparación con una mina que no utiliza relleno. **(OSINERGMIN, 2017)**

Las condiciones mejoradas de seguridad y la alta relación de extracción son el beneficio directo de los rendimientos económicos de la mina. **(OSINERGMIN, 2017)**

Las formas más comunes de relleno de mina incluyen: relleno de roca, relleno hidráulico, relleno hidráulico cementado, relleno en pasta y de roca cementada. Cada tipo de relleno tiene sus propios riesgos que necesitan ser abordados durante el diseño, planeamiento y operaciones de la mina. De todas las amenazas planteadas por el relleno para la minería subterránea, la mayor amenaza depende del contenido de agua en el relleno (en particular del relleno hidráulico y el relleno en pasta). **(OSINERGMIN, 2017)**

En toda operación de relleno de labores explotadas, se deberá cumplir con las siguientes medidas de seguridad:

- Realizar estudios de resistencia, granulometría, límites de contenido de agua, estabilidad física y química del material de relleno.
- Encontrar la resistencia a la compresión uniaxial ideal del relleno en función de su densidad, del ancho, altura y longitud del tajeo. **(OSINERGMIN, 2017)**

### **2.2.2. TIPOS DE RELLENO**

#### **-RELLENO DETRITICO**

El relleno de roca está conformado por roca residual clasificada o sin clasificar, obtenida de fuentes superficiales o subterráneas, que se coloca normalmente sin el uso de materiales de consolidación en excavaciones de explotación subterránea.

#### **- RELLENO HIDRAULICO EN PASTA**

El relleno en pasta o “Paste fill” corresponde a una unión entre relaves y mezclas de cemento con otros agregados, a los cuales se les añade agua para lograr una consistencia similar al lodo.

#### **- RELLENO HIDRAULICO CEMENTADO**

El relleno hidráulico cementado o “Cemented hydraulic fill” es una variante del relleno anterior, al cual se le agrega cemento portland.

#### **- RELLENO HIDRAULICO**

Se denomina relleno hidráulico o “Hydraulic fill” a los rellenos que son transportado como un lodo de alta densidad, a través de perforaciones o tuberías hacia labores subterráneas.

#### **- RELLENO COMPUESTO**

Los rellenos compuestos o “Composite fills” hacen referencia a la combinación de los distintos tipos de rellenos mencionados previamente, en donde lo que se busca es aprovechar las ventajas que cada uno posee, ya sean económicas, de transporte o resistencia.

### **2.2.3. FACTORES DE SELECCIÓN DEL TIPO DE RELLENO**

Para elegir el tipo de relleno, se deben mencionar los criterios impuestos por el proyecto, estas son:

- Prevenir todo tipo de subsidencia tanto en superficie como dentro de la mina. □ Maximizar recuperación minera.
- Mantener la mayor producción posible.
- Utilizar relleno cementado
- Estabilidad geomecánica

Además, se deben considerar las características geológicas y geomecánicas antes mencionadas, tales como el tipo de roca, profundidad del yacimiento, forma, calidad de la roca, etc. Estos representan la base para una elección correcta del tipo de relleno.

### CAPITULO III: DESCRIPCIÓN DE LA UNIDAD MINERA DE SAN RAFAEL

#### 3.1 UBICACIÓN Y ACCESO

Ubicada geográficamente en la cordillera occidental de los andes peruanos cerca al nevado Quenamari con una altitud de 4530 m.s.n.m. dentro del distrito de Antauta, Provincia de Melgar en el departamento de Puno.

Con coordenadas UTM: Hoja Macusani N°29-v

- 357 730 E
- 8 426 570 N

*Cuadro N° 2 Vias de Acceso a Mina San Rafael*

Tramo	Distancia	Tiempo	Tipo de vía	Vía principal
Juliaca - Calapuja	60	50	Asfaltado	Juliaca Cusco
Calapuja - Azangaro	39	60	Asfaltado	Juliaca Macusani
Azangaro – San Anton	31	40	Asfaltado	Juliaca Macusani
San Anton – Desvio Antauta	65	45	Asfaltado	Juliaca San Rafael
Desvio Antauta - Antauta	15	20	Asfaltado	Juliaca San Rafael
Antauta - Cumani	6	15	Asfaltado	Juliaca San Rafael

*Fuente: San Rafael MINSUR*

Figura N° 5 Planos de ubicación y Ruta de accesibilidad a U.M. San Rafael



Fuente: San Rafael MINSUR

En el Anexo N°1 se muestra el Plano General de Superficie que muestra a más detalle la ubicación de la mina

### **3.2 HIDROLOGIA**

Cuenca San Rafael, forma de la cuenca es alargada y tiene un área de drenaje hasta la laguna Chogñacota de 3.6 km<sup>2</sup>, sobre los 5225 msnm se encuentra el nevado de San Bartolomé y San Francisco y en la parte baja a los 4500 msnm, se encuentra la laguna Chogñacota.

### **3.5 GEOLOGIA REGIONAL**

En la región abunda una gruesa secuencia marina del Paleozoico Inferior, como las lutitas de la formación San José, de edad Ordoviciano Medio; las lutitas, areniscas y cuarcitas de la formación Sandia, de edad Ordoviciano Superior, y las lutitas intercaladas con cuarcitas del grupo Ananea, del Devónico-Silúrico. Rocas del Paleozoico Superior han sufrido los efectos de la tectónica herciniana final, representada por areniscas y lutitas del grupo Ambo, de edad Missisipiana; lutitas y calizas del grupo Tarma, de edad Pensilvaniana, y calizas del grupo Copocabana, de edad Pérmico Inferior.

#### **3.5.1 ESTRATIGRAFIA**

En la descripción de la Estratigrafía de la mina San Rafael podemos mencionar a la Formación Ananea, esta unidad está compuesta generalmente de limoarcillitas pizarrosas, limolitas pizarrosas con algunas intercalaciones de areniscas cuarzosas, siendo posible encontrar pizarras micáceas de color gris oscuro a negro.



Figura N° 6 Columna estratigráfica U.M. San Rafael

ERATEMA	SISTEMA	SERIE	UNIDAD LITOESTRATIGRAFICA	GROSOR (m.)	LITOLOGIA	DESCRIPCION	
CENOZOICO	CUATERNARIO	PLEISTOCENO	Fm. Azángaro			Limolitas y areniscas limosas beige Disc. eros.	
		PLIOCENO	Gpo. Barroso	±500		Derrames andesíticos, piroclastos y brechas volcánicas. angularidad	
	NEOGENO	MIOCENO	SUPERIOR	Gpo. Sillapaca	50 500		Tobas, brechas volcánicas, lavas.
			MEDIO	Fm. Palca			Tobas noliticas riolíticas. Disc. ang.
			INFERIOR	Fm. Tinajani	±1000		Conglomerados polimícticos
				Gpo. Tacaza	±3600		Flujos andesíticos, tobas, brechas y areniscas vulcanoclásticas. Disc. ang.
	PALEOGENO	OLIGOCENO					
		EOCENO	Gpo. Puno	100 3000			Conglomerados, areniscas de grano grueso, limolitas y delgados niveles tobáceos. Disc. ang.
		PALEOCENO					
	MESOZOICO	CRETACEO	SUPERIOR	Fm. Muñani	300 800		Areniscas y limoarcillitas marrón rojizas de grano fino a grueso.
Fm. Ausangate						Areniscas rojiza con niveles de lodolitas.	
Fm. Vilquechico				480 680		Limoarcillitas gris oscuras con niveles de areniscas.	
Gpo. Mbo						Areniscas cuarzosas blancas	
INFERIOR			Fm. Ayavacas	±1,200		Calizas y dolomitas grises Areniscas arcólicas y limolitas rojas.	
			Fm. Huancané	100 500		Areniscas cuarzosas blanco rosáceas Calizas laminadas ligeramente espaticas	
			Fm. Mante			Areniscas, limoarcillitas rojizas.	
			Mbo. Sipin	60-140			
JURASICO		SUPERIOR					Limolitas y areniscas cuarzosas claras
		MEDIO	Gpo. Lagunillas	100			Calizas gris oscuras intercaladas con pelitas negras y areniscas calcáreas.
		INFERIOR	Gpo. Yura	2600			Lavas andesíticas, tobas y brechas conglomerados y areniscas rojas
							Areniscas calcáreas y limolitas rojizas con intercalaciones calcáreas
							Calizas gris clara con nodulos de chert en estratos tabulares
PALEOZOICO	SUPERIOR	PERMIANO	SUPERIOR	Gpo. Iscay	250		Areniscas cuarzosas verdes y limolitas grises
			INFERIOR	Gpo. Mitu	3000		Conglomerados polimícticos, areniscas y limolitas rojizas con niveles pelíticos grises Disc. ang.
		CARBONIFERO	SUPERIOR	Gpo. Tarma	50-750		Capas delgadas de areniscas y limolitas con lutitas nodulares
			INFERIOR	Gpo. Ambo	200 1000		Lutitas grises intercaladas con capas delgadas de areniscas, con facies turbidíticas, con presencia de fósiles.
	DEVONIANO	SUPERIOR					
		MEDIO	Gpo. Cabanillas	1100			
	INFERIOR	SILURIANO					
		ORDOVICIANO	Fm. Calapuja	±3500			

Fuente: San Rafael MINSUR

### **3.6 GEOLOGIA LOCAL**

Las filitas y cuarcitas de la Formación Sandia han sido intruidas por dos stocks graníticos terciarios. En los alrededores se encuentran rocas del Paleozoico Superior. El intrusivo es un monzogranito peraluminoso con fenocristales de feldespatos alcalinos euhedrales de hasta 12cm. de longitud y con maclas de carlsbad, biotita, cordierita y microfenocristales de sillimanita.

### **3.7. GEOLOGIA ESTRUCTURAL**

Las vetas están emplazadas en fallas pre-mineral del sistema andino NW-SE. Estas fallas del tipo normal con un fuerte componente horizontal al norte y son desplazadas por fallas post mineral de rumbo NE-SW. Se distinguen 3 sistemas de vetas. El más conocido tiene rumbo NW-SE y buzamiento al NE, como las vetas San Rafael y Quenamari.

### **3.8. GEOLOGIA ECONOMICA**

La mineralización es de origen hidrotermal en vetas de relleno y de reemplazamiento de fracturas y cuerpos de mineral en el monzogranito y en los metasedimentos. La zona mineralizada de este distrito minero abarca una extensión de 5km por 7.5km, en donde se encuentran las minas San Rafael y Quenamari

#### **3.8.1. RESERVAS DE MINERAL**

A un ritmo de producción de 1,080,000 toneladas por año (3,000 ton/día), San Rafael tendría reservas Probadas + Probables para menos de 4 años, si se incluyen los recursos inferidos como reservas Posibles, considerando la misma tasa de conversión de recursos a reservas en las categorías Medidas + Indicadas, el horizonte de vida de la operación aumentaría a 6 años

$$n(\text{vida de la mina}) = \frac{4320000 \text{ ton}}{1080000 \text{ ton/año}} = 4 \text{ años}$$

Cuadro N° 3 Cantidad de reservas U.M. San Rafael

RESERVA POR MÉTODO DE MINADO									
TMIN	PROBADO			PROBABLE			Total t	Total %Sn	Total Tmf
	t	%Sn	Tmf	t	%Sn	Tmf			
BAF	1,644,194	2.09	34,413	1,093,347	1.63	17,853	2,737,541	1.91	52,266
SSB	587,094	1.76	10,322	520,008	1.62	8,440	1,107,102	1.69	18,762
SSG	227,296	2.42	5,497	137,635	1.39	1,917	364,931	2.03	7,414
SST	189,119	2.22	4,205	22,688	-	-	211,808	1.99	4,205
<b>Total</b>	<b>2,647,703</b>	<b>2.06</b>	<b>54,437</b>	<b>1,773,678</b>	<b>1.59</b>	<b>28,210</b>	<b>4,421,381</b>	<b>1.87</b>	<b>82,647</b>

Fuente: San Rafael MINSUR

### 3.10. OPERACIONES UNITARIAS – CICLO DE MINADO

#### 3.10.1. PERFORACION

En el siguiente cuadro se muestra las características del proceso de perforación en cuerpos y vetas en mina San Rafael:

Cuadro N° 4 Parámetros de Perforación en Cuerpos y Vetas

	CUERPOS	VETAS
<b>RMR de las cajas</b>	45-60	46-57
<b>Buzamiento</b>	40 - 75 NE	60 – 80 NE
<b>Equipos de perforación</b>	Simba S7D, Boomer T1D, H-157, Raptor 44	Simba S7D, Boomer T1D, H-157, Raptor 44
<b>Diámetro de perforación</b>	2 ½"	2 ½"
<b>Malla de perforación</b>	2.60 x 2.20	1.20 x 1.30
<b>Equipo de Limpieza</b>	Scoops 6yd3	Scoops 6yd3 y Scoops 4yd3
<b>Secciones de minado</b>	4.00 x 3.80m	3.50 x 3.50m

Fuente: Minas San Rafael

#### 3.10.2. VOLADURA

La voladura utilizada es de acuerdo al método de VCR el diseño y voladura de un Vertical Crater Retreat (VCR) tiene como finalidad la abertura inicial de la cara libre, para posteriormente continuar con la voladura de las secciones a lo largo de todo un panel longitudinal a la veta. El diseño de un VCR se realiza con una malla de perforación de 2.00 m de largo x 1.40 m de ancho, con 10 taladros cuadradores, 6 taladros de arranque y 4 taladros

### 3.10.3. LIMPIEZA

Se utilizan equipos Scooptram de 6 yd<sup>3</sup> y 4 yd<sup>3</sup> marca Atlas Copco y Caterpillar, los cuales realizan el acarreo de mineral ya sea mediante el carguío directo o tolvas, según la variante de explotación utilizada en el tajo y la distancia que se encuentran los tajos con respecto a los puntos de acceso de estos equipos.

### 3.11. TIEMPO DE CICLO DE MINADO ACTUAL

Los tiempos de ciclo de minado están diferenciados en Vetas y Cuerpos en mina San Rafael y se muestran en el siguiente cuadro:

*Cuadro N° 5 Tiempo de ciclo de minado según Método*

Método	P y V	Acar.	Rell.	Total
Cuerpos	4	4	4	12 días
Vetas	2	2	2	6 días

*Fuente: Minas San Rafael*

### 3.12. COSTO RELLENO ACTUAL

En Mina San Rafael se tiene dos costos para el relleno que se utiliza, en el primer cuadro se muestran los costos de relleno en explotación por cuerpos:

*Cuadro N° 6 Costo Relleno en Pasta en Cuerpos*

	US\$/M3 RELLENO	Porcentaje
Mano de obra	0.80	6.7%
Consumo de Cemento	6.09	51.1%
Consumo de Escoria	4.10	34.4%
Consumo de Energía Eléctrica	0.41	3.4%
Operación Planta de Relleno	0.20	1.7%
Preparación de Barreras	0.07	0.6%
Instalación de Tuberías	0.12	1.0%
Mantenimiento	0.13	1.1%
<b>COSTO UNITARIO /M3 DE RELLENO</b>	<b>11.92</b>	
<b>COSTO UNITARIO/ TON DE MIN. EXTRAIDO</b>	<b>4.59</b>	

*Fuente: Minas San Rafael*

En el segundo cuadro se tiene los costos para el relleno en explotación por vetas angostas:

*Cuadro N° 7 Costo Relleno en Pasta en Vetas*

	US\$/M3 RELLENO	Porcentaje
Mano de obra	1.14	13.9%
Consumo de Cemento	2.64	32.2%
Consumo de Escoria	2.80	34.2%
Consumo de Energía Eléctrica	0.46	5.6%
Operación Planta de Relleno	0.24	2.9%
Preparación de Barreras	0.32	3.9%
Instalación de Tuberías	0.39	4.8%
Mantenimiento	0.19	2.4%
<b>COSTO UNITARIO /M3 DE RELLENO</b>	<b>8.18</b>	
<b>COSTO UNITARIO/ TON DE MIN. EXTRAIDO</b>	<b>3.03</b>	

*Fuente: Minas San Rafael*

### **3.13. PROCESO METALURGICO**

La Planta de concentración San Rafael, trata minerales de casiterita ( $\text{SnO}_2$ ), proveniente de los tajos de explotación; produciendo dos tipos de concentrados utilizando el método de concentración Gravimétrico. Se trata 3,000 TM/día de minerales de estaño con una ley de cabeza promedio de 1.80 % de Estaño para obtener concentrados del orden de 63.5 % en calidad, con una recuperación de 89.88 %.

## **CAPITULO IV: PROCESO DE REDUCCION DE TIEMPO DE FRAGUADO**

### **4.1 EVALUACION DEL RELLENO EN PASTA**

#### **4.1.1. DESCRIPCION RELLENO EN PASTA EN MINA SAN RAFAEL**

El Relleno Hidráulico que se viene utilizando en la Mina San Rafael es el Relleno Hidráulico en Pasta, como se sabe para el empleo de este relleno se utiliza Relave que debe cumplir con una granulometría específica que en promedio debe ser de 10% en malla de 10 micrones para que pueda ser transportada por las tuberías, este relleno solo se utiliza con el método de minado Subniveles Ascendentes con Relleno Cementado (S.A.R.C.), la demanda de Relleno mínima es de 100 m<sup>3</sup>/día.

El relave producto de la concentración de mineral se acumula en la Relavera de la Planta Concentradora, de allí es traslado a la Planta de Relleno para abastecer a las diferentes zonas.

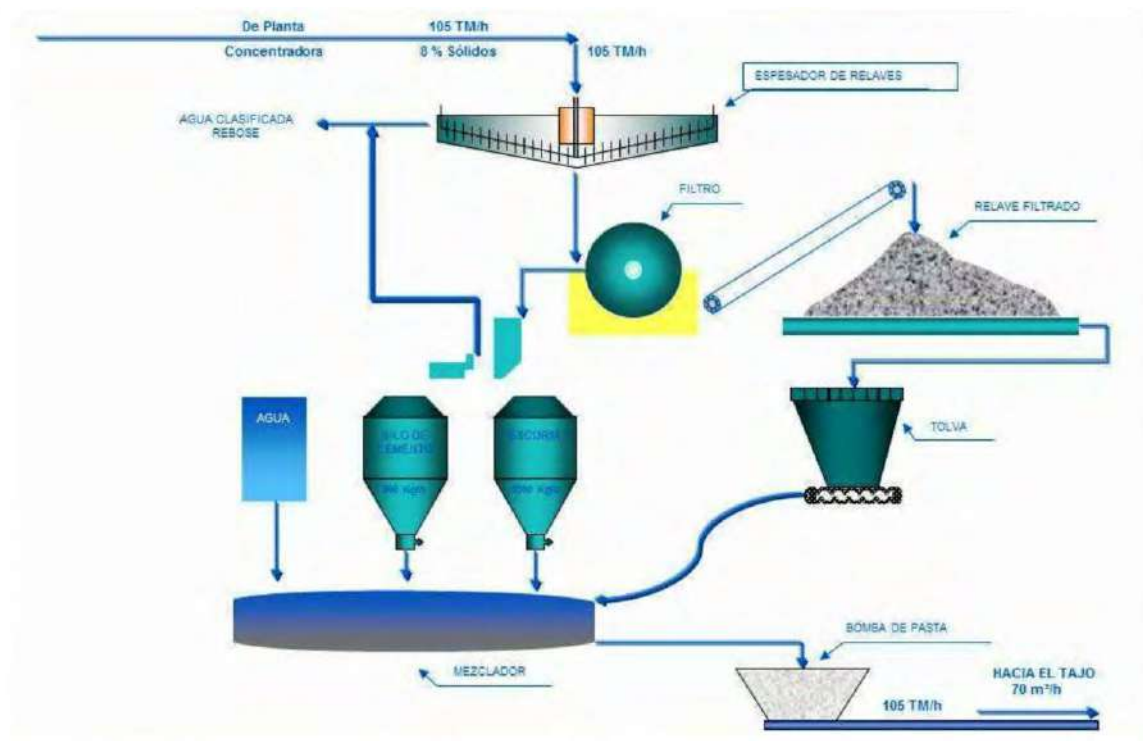
El relleno utilizado en Mina San Rafael tiene de contenido un 7% de Cemento PORTLAND 1PM, los silos utilizados en la planta son de 250 toneladas, el relave y el cemento son mezclados en la planta y se le agrega agua en un 20%, de ahí son impulsados por una bomba a 400 metros en interior mina mediante una tubería de carbono, de ahí se acopla a una tubería H.D.P.E. y es ingresada a los caserones en donde se procede a rellenarlos.

El proceso de R.H.P. en Mina San Rafael es el siguiente:

1. Underflow del Relave en Relavera Planta Concentradora Selene

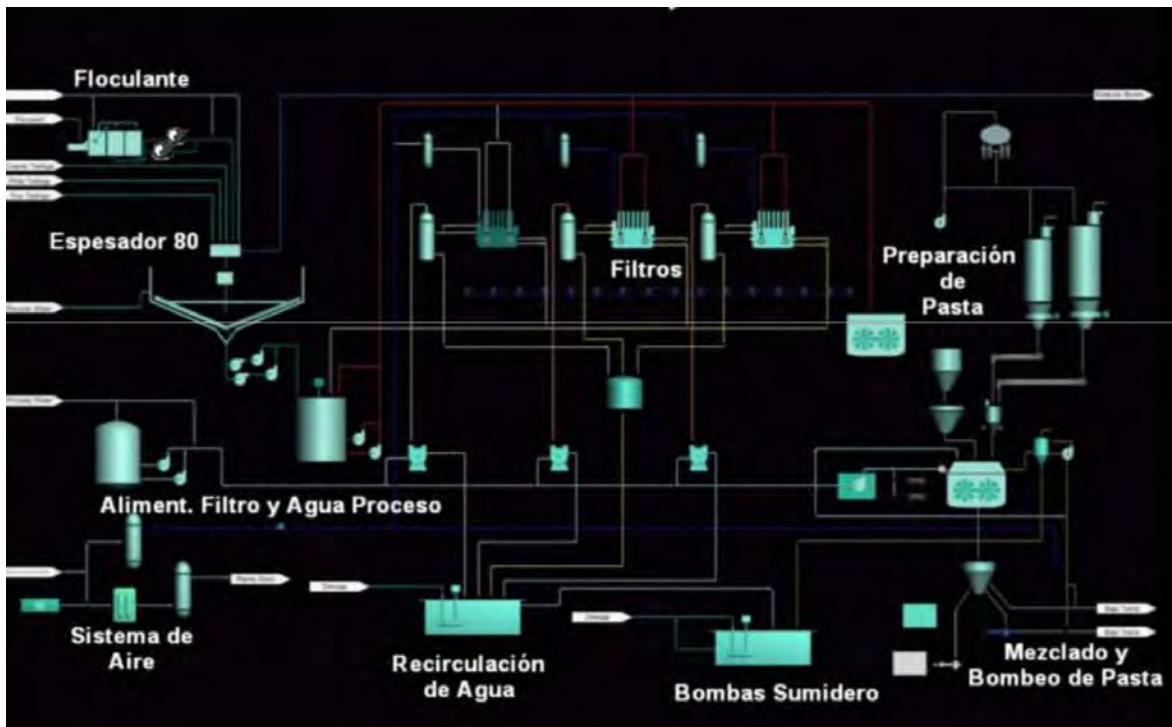
2. Abastecimiento silos de 250 toneladas de cemento mediante bombonas.
3. Abastecimiento de tanque de Agua
4. Abastecimiento Relave en Planta de zona Ranichico (distancia recorrida aproximadamente 20 km)
5. Alimentación de relave en tolva
6. Mezcla en Cámara de Acondicionamiento (Relave - Agua - Lechada).
7. Bombeo a Caserones en Veta Yurica – Virgen del Carmen.

*Figura N° 7 Flow Sheet Relleno en Pasta*



*Fuente: San Rafael MINSUR*

Figura N° 8 Unifilar Sistema de Bombeo Relleno



Fuente: San Rafael MINSUR

Los requerimientos de Relleno en Pasta para el presente año son los siguientes:

Cuadro N° 8 Demando de Relleno en U.M. San Rafael

Mes	Requerimiento( m <sup>3</sup> )
Enero	12950
Febrero	14100
Marzo	15100
Abril	19800
Mayo	24200
Junio	26950
Julio	30100
Agosto	34400
Setiembre	33550
Octubre	34200
Noviembre	33150
Diciembre	39850
<b>Total</b>	<b>318350</b>

Fuente: San Rafael MINSUR



El relleno para ser implementado en mina tiene que seguir los siguientes procesos que se detallan a continuación:

### 1. Espesado

El Under Flow es el producto obtenido con 60% sólidos, el Over Flow consiste en agua clarificada que son bombeadas y recirculadas a planta concentradora.

Los relaves que ingresan son:

- Gruesos de estaño
- Grueso Pirita
- Grueso Fino (Lamas)

*Fotografía N° 1 Espesado en Tanque de Floculación*



*Fuente: San Rafael MINSUR*

### 2. Filtrado

Medio filtrante telas de polietileno con permeabilidad de 20 cfm, el producto generado consiste en 78% sólidos para 110 TMS por hora.

*Fotografía N° 2 Fanja Transportadora Espesado*

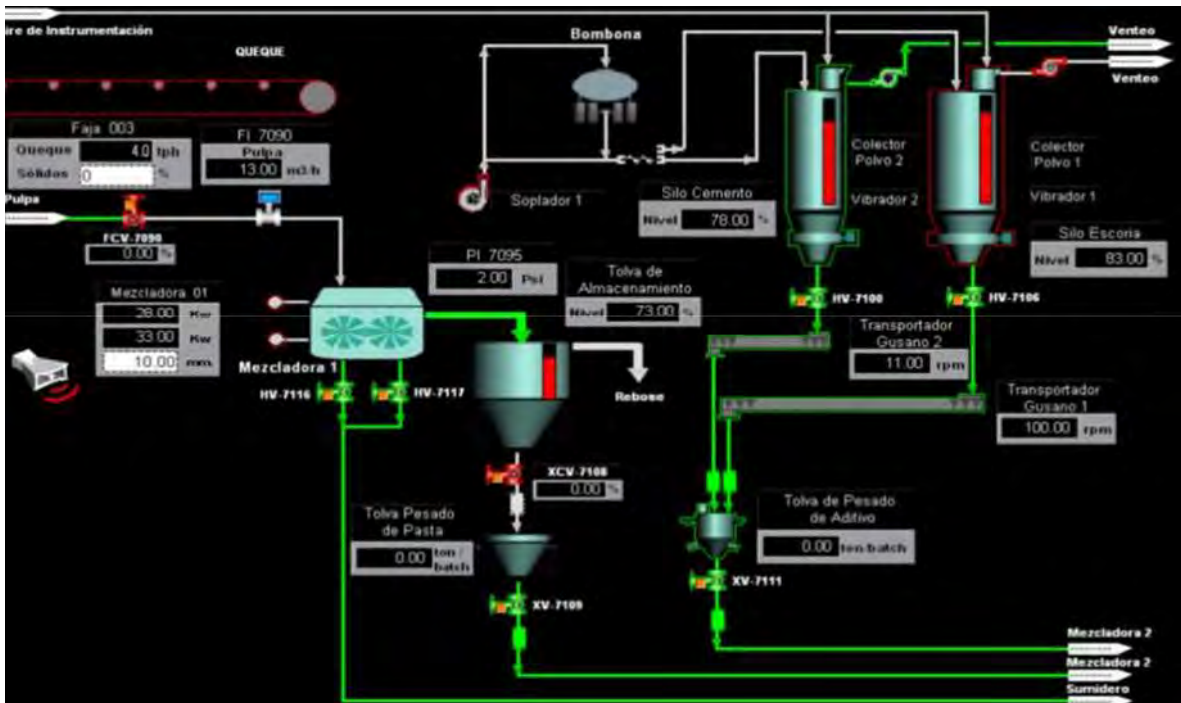


Fuente: San Rafael MINSUR

### 3. Tailing

Genera un flujo controlado de pulpa espesada, obteniéndose una Pasta de relaves con un contenido de solidos de 75%

Figura N° 9 Flow Sheet Dosificación Relleno



Fuente: San Rafael MINSUR

*Fotografía N° 3 Mezclador Continuo*



*Fuente: San Rafael MINSUR*

#### **4. Abastecimiento de cemento y escoria**

El cemento del tipo PORTLAND IPM a granel es ingresado a interior mina con bombonas de bajo perfil, es llevado a un silo de 150 toneladas de capacidad.

La escoria molida es ingresada a interior mina y almacenada en silo de 250 toneladas.

*Fotografía N° 4 Tanque Almacenamiento Cemento y Escoria*



*Fuente: San Rafael MINSUR*

## 5. Mezclado y Bombeo

Es por sistema Batch de 3.5 m<sup>3</sup>, ingresan a su interior los siguientes materiales:

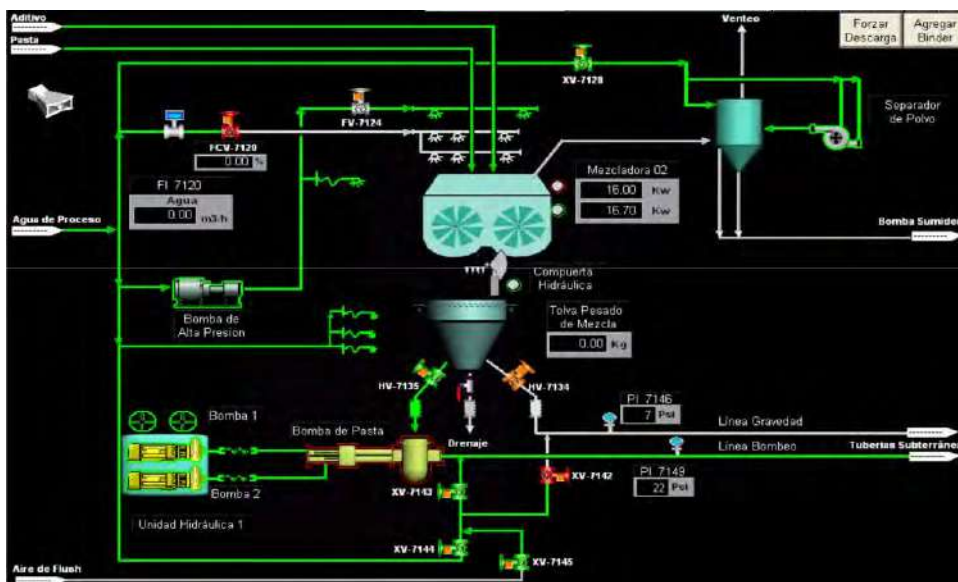
- Cemento
- Escoria molida
- Tailing
- Agua

Fotografía N° 5 Sistema de Bombeo Relleno



Fuente: San Rafael MINSUR

Figura N° 10 Flow Sheet Alimentación Planta Prell



Fuente: San Rafael MINSUR

## 6. Bombeo

Desplazamiento positivo, modelo válvulas de asiento, con dos pistones y unidad hidráulica las presiones de trabajo son de 1500 psi.

*Fotografía N° 6 Bombas de desplazamiento de relleno*



*Fuente: San Rafael MINSUR*

## 7. Distribucion Subterranea

Se utilizan las tuberías Sch 80, en material API 5L Grs 52, soportan hasta 1500 psi y se instalan a la salida de la Bomba, las tuberías Sch 40, en material ASTM A53 GrB. soportan hasta 900 psi y se 19 y las tuberías Sch 40, en material ASTM A53 GrB. soportan hasta 900 psi y se instalan en los tramos horizontales de niveles intermedios. Las tuberías SDR11 en material de HDPE soportan hasta 160 psi y se instalan en los últimos 100 m de tubería antes de llegar al Tajo a rellenar.

*Fotografía N° 7 Distribución Relleno interior mina*



*Fuente: San Rafael MINSUR*

### **8. Recepcion en el tajeo**

Las barreras son de desmonte proveniente de las labores de preparación. Se acarrea con Scoop y se acumula en la labor hasta cubrir el 80% de la abertura.

Las tuberías parten de la Planta de Relleno, recorriendo por la línea troncal permanente hasta llegar al nivel superior del Tajo a Rellenar. En este nivel se instala una tubería temporal hasta llegar a una labor comunicada al Tajo.

*Fotografía N° 8 Rellenado en Tajeos*

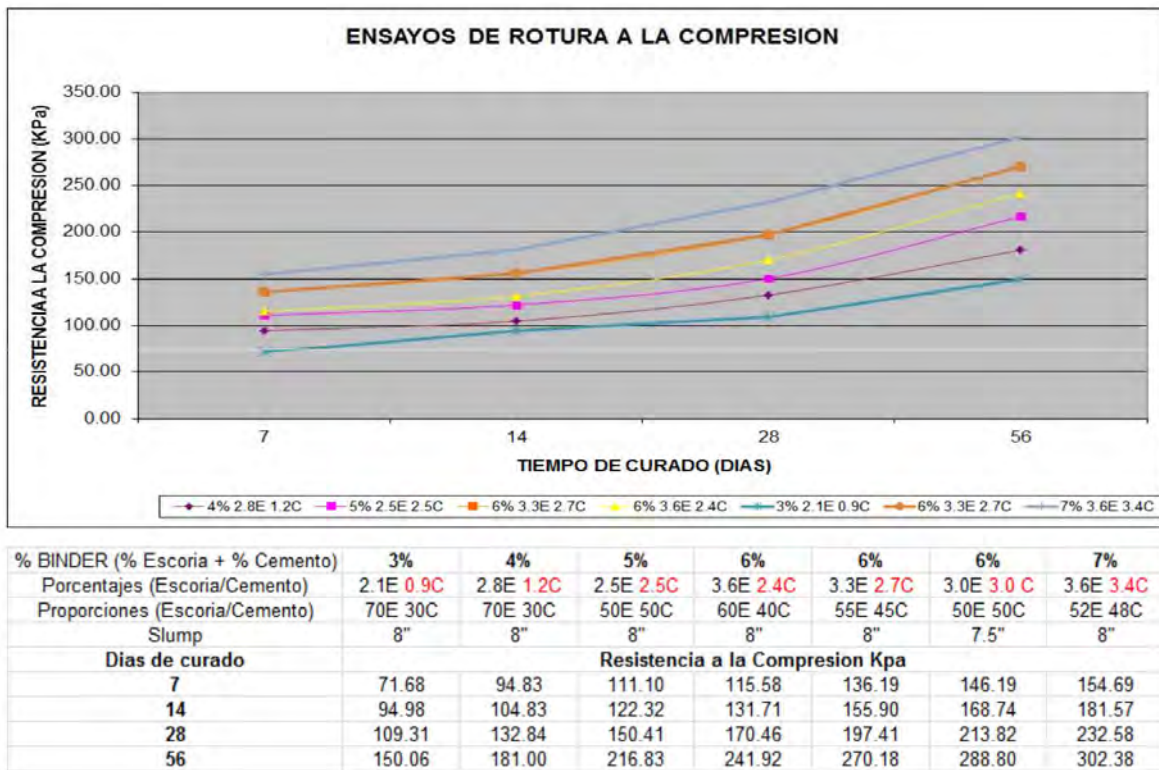


*Fuente: San Rafael MINSUR*

#### 4.1.2. TIEMPOS DE FRAGUADO DEL RELLENO EN PASTA EN MINA SAN RAFAEL

Los tiempos de fraguado en la mina son determinantes al momento de desarrollar el ciclo de minado en especial cuando se desarrolla la extracción por bloques como es el caso de Sublevel Stopping, para ello es necesario conocer la resistencia y el tiempo de fraguado a la vez, en Mina San Rafael se tiene las siguientes curvas de fraguado.

Figura N° 11 U.C.S. Obtenidos en Pruebas de Relleno Sin Acelerantes



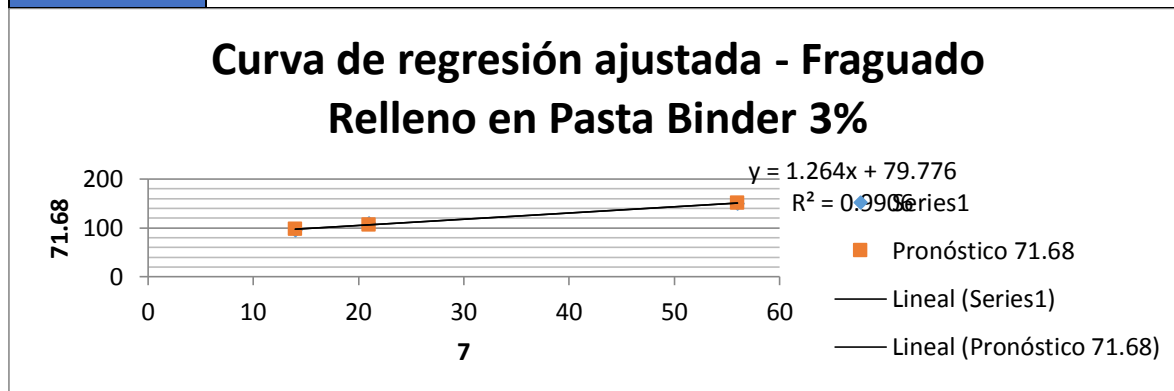
Fuente: San Rafael MINSUR

Los tiempos de fraguado son de suma importancia en especial porque se tienen que determinar las resistencias en KPa, ya que el mínimo en la mina es de 200 – 300 KPa ya que brindara la resistencia mínima para poder extraer los bloques adyacentes, como se observa en la mayoría de los casos la resistencia varía en base al binder por lo general para desarrollar los trabajos es necesario determinar el tiempo aproximado en donde el relleno llegue a 200 – 300 KPa. En los siguientes cuadros se muestran las curvas para el Binder de 3%, 4%, 5%, 6% y 7%.

Cuadro N° 9 U.C.S. Relleno en Pasta en Binder 3%

Días curado	UCS Kpa	Días curado	UCS Kpa	Días curado	UCS Kpa
7.00	71.68	154.00	274.43	301.00	460.24
14.00	94.98	161.00	283.28	308.00	469.09
21.00	109.31	168.00	292.13	315.00	477.94
28.00	115.17	175.00	300.98	322.00	486.78
35.00	124.02	182.00	309.82	329.00	495.63
98.00	203.65	245.00	389.46	392.00	575.26
105.00	212.50	252.00	398.30	399.00	584.11
112.00	221.34	259.00	407.15	406.00	592.96
119.00	230.19	266.00	416.00	413.00	601.81
126.00	239.04	273.00	424.85	420.00	610.66
133.00	247.89	280.00	433.70	427.00	619.50
140.00	256.74	287.00	442.54	434.00	628.35
147.00	265.58	294.00	451.39	441.00	637.20
154.00	274.43	301.00	460.24	448.00	646.05

	Sugerido por MINSUR cuerpos (200 a 300KPa)
	Sugerido por OSINERGMIN (630KPa)
	Sugerido por MINSUR vetas (70 a 120 KPa)



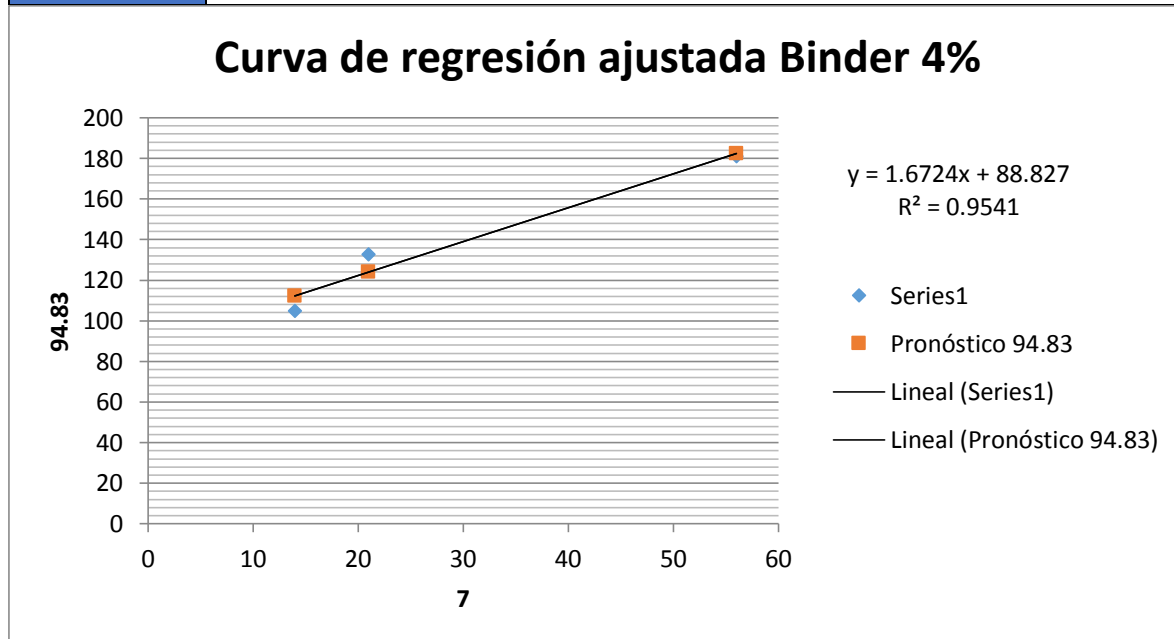
Fuente: Análisis Propio



Cuadro N° 10 U.C.S. Relleno en Pasta en Binder 4%

Días curado	UCS Kpa	Días curado	UCS Kpa	Días curado	UCS Kpa
7.00	94.83	154.00	274.43	301.00	592.22
14.00	104.83	161.00	283.28	308.00	603.93
28.00	135.65	175.00	300.98	322.00	627.34
35.00	147.36	182.00	309.82	329.00	639.05
42.00	159.07	189.00	318.67	336.00	650.75
49.00	170.77	196.00	327.52	343.00	662.46
56.00	181.00	203.00	336.37	350.00	674.17
63.00	194.19	210.00	345.22	357.00	685.87
70.00	205.90	217.00	354.06	364.00	697.58
77.00	217.60	224.00	362.91	371.00	709.29
84.00	229.31	231.00	371.76	378.00	720.99

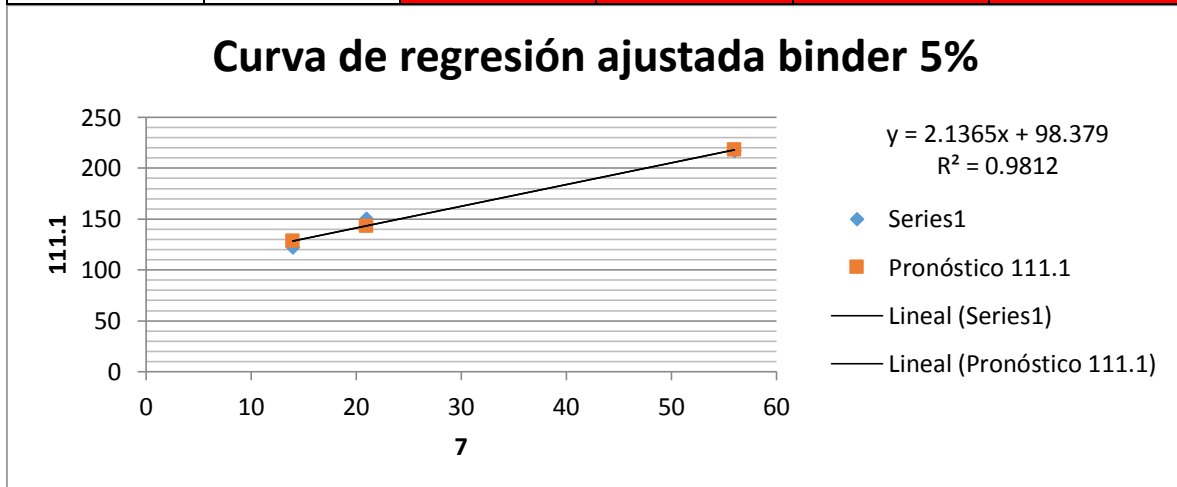
	Sugerido por MINSUR cuerpos (200 a 300KPa)
	Sugerido por OSINERGMIN (630KPa)
	Sugerido por MINSUR vetas (70 a 120 KPa)



Fuente: Análisis Propio

Cuadro N° 11 U.C.S. Relleno en Pasta en Binder 5%

Días curado	UCS Kpa	Días curado	UCS Kpa	Días curado	UCS Kpa
7.00	111.10	154.00	427.40	301.00	741.47
14.00	122.32	161.00	442.36	308.00	756.42
21.00	150.41	168.00	457.31	315.00	771.38
28.00	158.20	175.00	472.27	322.00	786.33
35.00	173.16	182.00	487.22	329.00	801.29
42.00	188.11	189.00	502.18	336.00	816.24
49.00	203.07	196.00	517.13	343.00	831.20
56.00	216.83	203.00	532.09	350.00	846.15
63.00	232.98	210.00	547.04	357.00	861.11
70.00	247.93	217.00	562.00	364.00	876.07
77.00	262.89	224.00	576.96	371.00	891.02
84.00	277.85	231.00	591.91	378.00	905.98
91.00	292.80	238.00	606.87	385.00	920.93
98.00	307.76	245.00	621.82	392.00	935.89
105.00	322.71	252.00	636.78	399.00	950.84
112.00	337.67	259.00	651.73	406.00	965.80

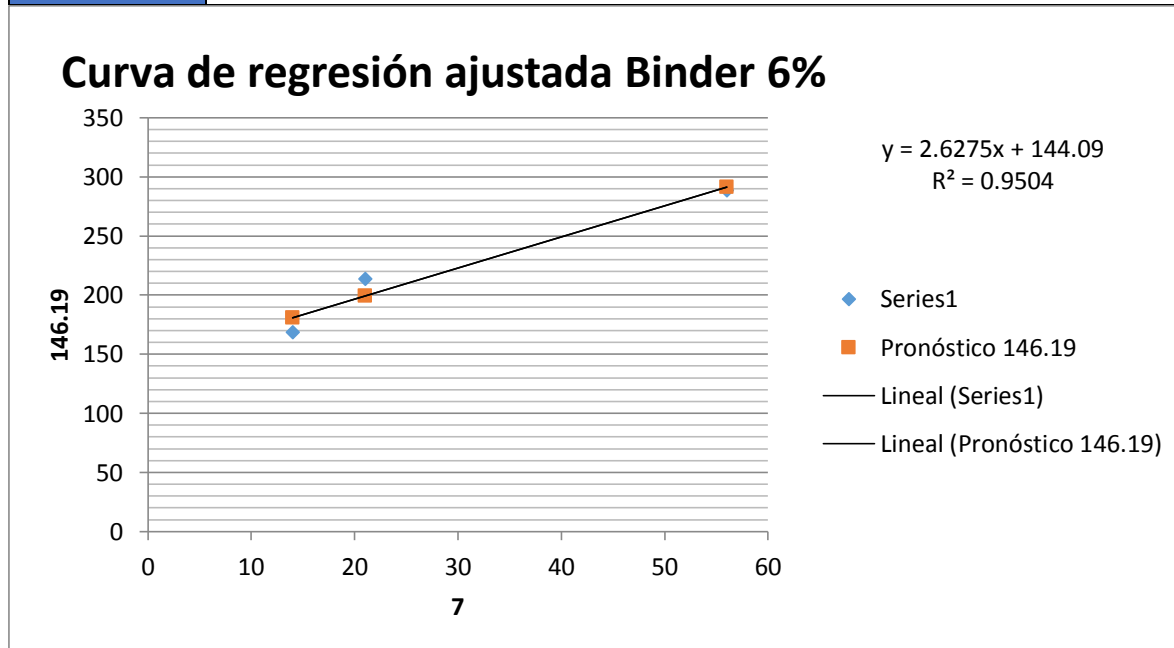


Fuente: Analisis Propio

Cuadro N° 12 U.C.S. Relleno en Pasta en Binder 6%

Días curado	UCS Kpa	Días curado	UCS Kpa	Días curado	UCS Kpa
7.00	162.48	154.00	548.73	301.00	934.97
14.00	180.88	161.00	567.12	308.00	953.36
21.00	199.27	168.00	585.51	315.00	971.75
28.00	217.66	175.00	603.90	322.00	990.15
35.00	236.05	182.00	622.30	329.00	1008.54
42.00	254.45	189.00	640.69	336.00	1026.93
49.00	272.84	196.00	659.08	343.00	1045.32
56.00	291.23	203.00	677.47	350.00	1063.72
63.00	309.62	210.00	695.87	357.00	1082.11
70.00	328.02	217.00	714.26	364.00	1100.50
77.00	346.41	224.00	732.65	371.00	1118.89

	Sugerido por MINSUR cuerpos (200 a 300KPa)
	Sugerido por OSINERGMIN (630KPa)
	Sugerido por MINSUR vetas (70 a 120 KPa)

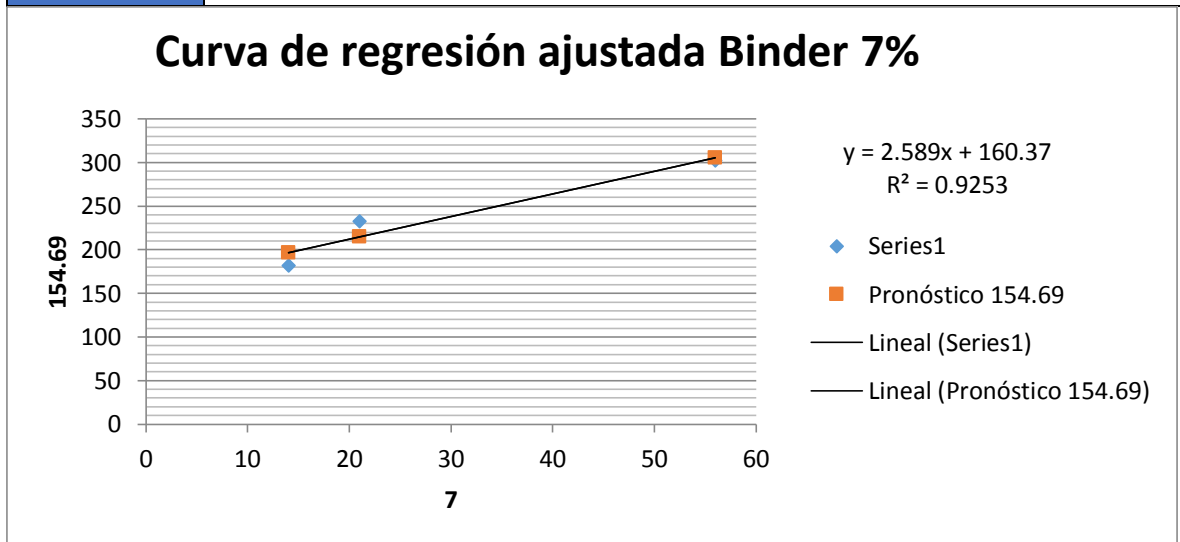


Fuente: Análisis Propio

Cuadro N° 13 U.C.S. Relleno en Pasta en Binder 7%

Días curado	UCS Kpa	Días curado	UCS Kpa	Días curado	UCS Kpa
7.00	178.49	154.00	559.08	301.00	939.66
14.00	196.62	161.00	577.20	308.00	957.78
21.00	214.74	168.00	595.32	315.00	975.91
28.00	232.86	175.00	613.45	322.00	994.03
35.00	250.99	182.00	631.57	329.00	1012.15
42.00	269.11	189.00	649.69	336.00	1030.27
49.00	287.23	196.00	667.81	343.00	1048.40
56.00	305.35	203.00	685.94	350.00	1066.52
63.00	323.48	210.00	704.06	357.00	1084.64
70.00	341.60	217.00	722.18	364.00	1102.77
77.00	359.72	224.00	740.31	371.00	1120.89
84.00	377.85	231.00	758.43	378.00	1139.01
91.00	395.97	238.00	776.55	385.00	1157.14

	Sugerido por MINSUR cuerpos (200 a 300KPa)
	Sugerido por OSINERGMIN (630KPa)
	Sugerido por MINSUR vetas (70 a 120 KPa)



Fuente: Análisis Propio

De acuerdo a lo observado en las curvas, en los siguientes cuadros se tiene la proyección del tiempo y la resistencia que obtiene el relleno en base a Binder de 3% y 7%.

Cuadro N° 14 Resumen U.C.S. Relleno en Pasta en U.M. San Rafael

Relleno en Pasta	MINSUR Cuerpos (200 a 300 Kpa)	MINSUR Vetas (70 a 120 Kpa)	OSINERGMIN (630KPa)
Binder 3%	98 a 175	7 a 35	441
Binder 4%	70 a 126	7 a 14	322
Binder 5%	49 a 98	7 a 14	252
Binder 6%	28 a 56	<7	189
Binder 7%	21 a 49	<7	182

Fuente: Análisis Propio

#### 4.1.3. EVALUACIONES REALIZADAS AL RELLENO EN PASTA

La primera evaluación a realizar es la evaluación de granulometría es así que se tiene:

Cuadro N° 15 Clasificación Material de Relavera

Tamaño Partícula	20%	25%	40%
>75 $\mu\text{m}$		GRUESO	
<20 $\mu\text{m}$			ULTRA FINO
<11 $\mu\text{m}$	LAMA		

Fuente: San Rafael MINSUR

Para que el relleno se pueda bombear, el mínimo de ULTRA FINO que se debe tener es del 15%, en el Cuadro Siguiente se tiene la evaluación granulométrica del relave:

Cuadro N° 16 Análisis Granulométrico Relave

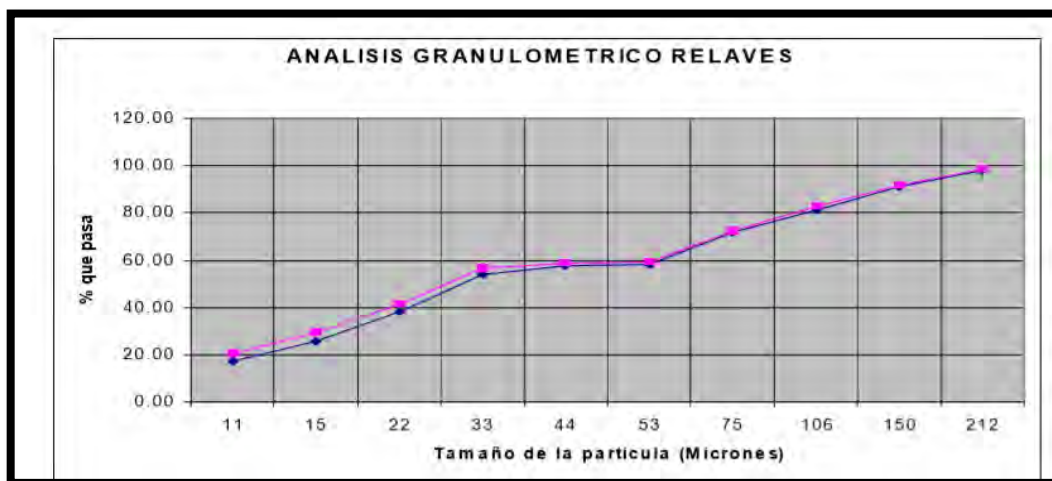
Tamiz	Abertura Tamiz ( $\mu\text{m}$ )	% que pasa
-------	----------------------------------	------------

N°4	4750	100
N°8	2360	100
N°16	1180	100
N°30	600	100
N°50	300	100
N°100	150	93.4
N°200	75	81.2
N°325	45	75.3
N°400	38	64.5
N°500	25	37.3
N°635	20	25.3
> N°635	<20	22.4

*Fuente: San Rafael MINSUR*

En la Grafica se puede ver que el material del relave es bombeable y que además se tiene un porcentaje de LAMA en el material, esto nos ayudara a tener una mejor consistencia y no se crearan resistencia en las tuberías que originen erosión.

*Figura N° 12 Análisis Granulométrico Relaves*



*Fuente: San Rafael MINSUR*

Los límites de agua en el R.H. se muestran en el cuadro siguiente, para el caso de la dosificación con el cemento solo se utiliza 100 litros por metro cubico de relleno y en las relaveras el rebose llega a 40%.

**Cuadro N° 17 Límites de agua en Relave**

	Límite de agua
Underflow	40%
dosificación	50 lts.
exudación tajeo	3%

*Fuente: San Rafael MINSUR*

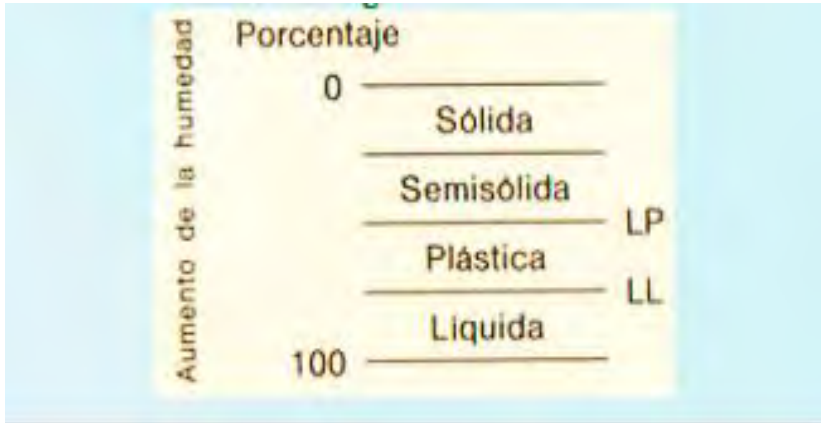
Como se ve el porcentaje de agua que se obtiene del tajeo relleno es mínimo por lo tanto no es necesario un sistema de drenaje.

Se va utilizar el sistema Atterberg para Limite Liquido (L.L.) y el Limite Plástico (L.P.), cuya definición se basa en tres consistencias del suelo:

1. Consistencia Liquida – barro fluido o líquido.
2. Consistencia Plástica – se puede amasar y moldear.
3. Consistencia semisólida – ya no se puede moldear y el volumen disminuye (contracción) a medida que seca la muestra.

Como se ve en la siguiente grafica se tiene los límites de Atterberg que demuestran la consistencia del suelo.

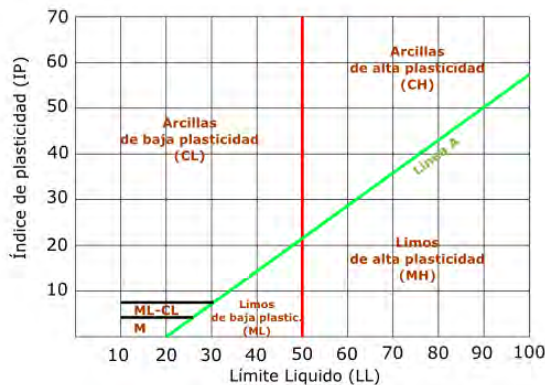
*Figura N° 13 Limites de Atterberg . Consistencia del suelo*



Fuente: San Rafael MINSUR

El grado de consistencia del relleno en base a limite liquido esta determinado por el siguiente graficos:

Figura N° 14 Grafico de Elasticidad Relleno



Fuente: San Rafael MINSUR

Los límites de Líquidos para el R.H. estarán determinados por un L.L. igual a 35% para que el relleno sea compactado y para un R.H. impermeable deberá tener L.L. inferiores al 60% y un L.P. inferior al 20%. En nuestro caso el R.H. en la cancha de relave es sometido a separación obteniendo UnderFlow y OverFlow, el Under Flow es igual al 60% y se muestra en la siguiente grafica al pasar por un proceso de filtrado se obtienen un Under flow de 78% con 22 % de contenido de agua, utilizando la fórmula de Índice de Plasticidad.



$$P.I. = L.L. - P.L.$$

Donde:

P.I. = Índice de Plasticidad

L.L. = Limite de Líquidos

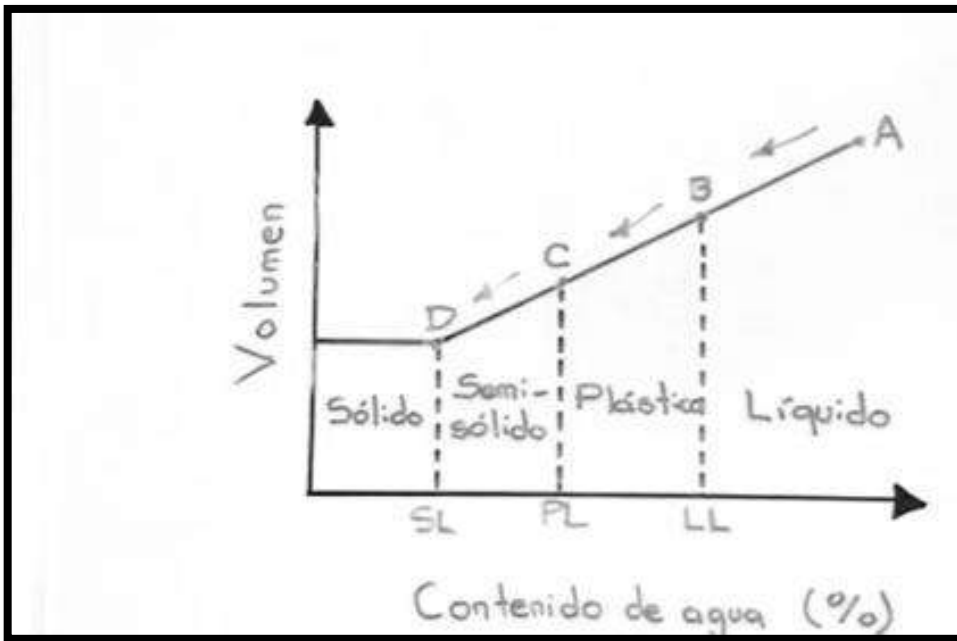
L.P. = Limite Plástico

Reemplazando en la formula anterior:

$$P.I. = L.L. - P.L. = 45 - 40 = 5$$

Contrastando con el Grafico siguiente se obtiene que el R.H.C. es un material con consistencia similar a los Limos de baja Plasticidad (M.L.).

Figura N° 15 Límites de consistencia



Fuente: San Rafael MINSUR

Otra propiedad de estudio es la densidad relativa, esta propiedad es el grado de compactación que puede tener el material y se detalla en el cuadro siguiente, como se sabe a mayor densidad el material es más compacto y por lo tanto genera mejor estabilidad que es lo que se desea en un relleno.

**Cuadro N° 18 Clasificación del relleno respecto a Densidad Relativa**

Densidad Relativa en %	Material
0-20	Muy suelto
20-40	Suelto
40-70	Firme
70-85	Denso
85-100	Muy Denso

Fuente: San Rafael MINSUR

Para la evaluación de densidad relativa del R.H.C. se tiene el caso de volumen de vacíos máximos que se da con el material que se encuentra en las relaveras, es así que se tiene:

1. Volumen de Vacíos =  $0.56 \text{ m}^3$
2. Volumen de Sólidos =  $0.44 \text{ m}^3$

Como se sabe la fórmula de Volumen de Vacíos ( $V_v$ ) es como se muestra a continuación:

$$V_v = V_w + V_a$$

Donde:

$$V_v = \text{Volumen Vacios}$$

$$V_w = \text{Volumen de Agua}$$

$$V_a = \text{Volumen aire}$$

Reemplazando, se tiene:

$$V_v = 0.56 + 0 = 0.56 \text{ m}^3$$

Por lo tanto, para determinar el valor máximo de vacíos, se tiene la siguiente fórmula:

$$e_{max} = \frac{V_v}{V_s}$$

Donde:

$e_{max}$  = Relación Maxima de vacios

$V_v$  = Volumen Vacios

$V_s$  = Volumen de Solidos

Reemplazando en la fórmula anterior, se tiene:

$$e_{max} = \frac{V_v}{V_s} = \frac{0.56}{0.44} = 1.27$$

Para hallar la relación mínima de vacíos se debe tomar el relave que es separado y filtrado, donde se tiene:

3. Volumen de Vacíos =  $0.22\text{m}^3$

4. Volumen de Solidos =  $0.78\text{ m}^3$

Reemplazando en la fórmula anterior, se tiene:

$$e_{min} = \frac{V_v}{V_s} = \frac{0.22}{0.78} = 0.28$$

El relave con el que se trabaja tiene los siguientes volúmenes:

5. Volumen de Vacíos = 0.40 m<sup>3</sup>

6. Volumen de Sólidos = 0.60 m<sup>3</sup>

Por lo tanto, la relación de vacíos del material a ser evaluado es el siguiente:

$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{0.40}{0.60} = 0.66$$

La fórmula de densidad relativa es la siguiente:

$$D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}}$$

Donde:

$e_{max}$  = Relación máxima de vacíos

$e_{min}$  = Relación mínima de vacíos

$e$  = Relación de vacíos de material a ser evaluado (relave)

Reemplazando en la fórmula anterior:

$$D_r = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} = \frac{1.27 - 0.66}{1.27 - 0.28} = \frac{0.61}{0.99} = 0.61 \text{ ó } 61\%$$

Si realizamos la comparación con el Cuadro N° se tiene que el R.H.C. es un material FIRME, y que llega a compactarse.

Evaluación de velocidad de percolación, compactación y consolidación.

### **Cuadro N° 19 Clasificación Terreno en base a la Percolación**

Clase de Terreno	Tiempo de infiltración para 1 centímetro
Rápido	de 0 a 4 minutos
Medio	de 4 a 8 minutos
Lento	de 8 a 12 minutos

**Fuente: Norma IS 020**

El cuadro siguiente muestra el test de percolacion realizado al R.H.P. encontrandose en promedio 6 min por centimero, este valor nos da un tipo de material MEDIO de infiltracion, lo cual es conveniente porque no genera tan rapidamente deformacion.

### **Cuadro N° 20 Resultados Test de Percolación en R.H.C.**

Registro	Intervalo (min)	Altura (cm)
1	8	1.5
2	10	1
3	8	1.2
4	9	2
5	10	1.4
6	9	2
7	10	1
Totales	64	10.1
Tasa de infiltración (min/cm)		6.3

**Fuente: Análisis Propio**

La prueba de Slump es un análisis que nos va permitir determinar el grado de sedimentación de un relleno, en la Mina San Rafael, es importante realizar este análisis para lo cual se utiliza un cono

Para que se pueda depositar el relleno hidráulico cementado en el tajeo la prueba de Slump de la mezcla debe llegar como mínimo a 1 pulgada. En el siguiente cuadro se detalla la prueba realizada a la mezcla.

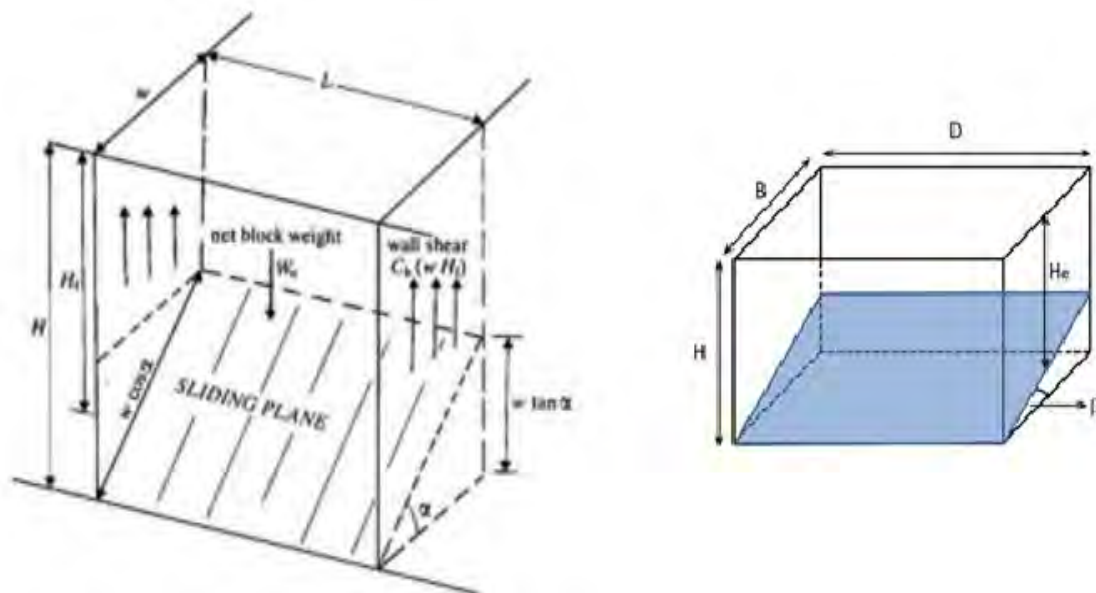
**Cuadro N° 21 Altura Slump R.H.C.**

<b>Capacidad cono</b>	5 litros
<b>relación mezcla</b>	3 a 1
<b>peso de arena</b>	4 kilogramos
<b>peso de agua</b>	4 kilogramos
<b>Altura Slump</b>	8 "

**4.1.4. EVALUACION DE ESTABILIDAD DEL RELLENO EN PASTA**

Para determinar si el bloque con Relleno. es estable se debe utilizar ciertos criterios, el criterio más utilizados es de Mitchell (1983), que sugiere el deslizamiento de planos en el block, para nuestro caso se tiene en el siguiente grafico para analizar la estabilidad con R.H.C.

*Figura N° 16 Esquema de criterio de falla Mitchel*



*Fuente: San Rafael MINSUR*

Debemos considerar el Relleno en Pasta con una fricción de  $33^\circ$  ya la cohesión como fuerza resistente al deslizamiento, en primer lugar, vamos a hallar el volumen del bloque deslizado (V), se va utilizar la siguiente formula:

$$V = DxBxH_e$$

Donde:

V= Volumen bloque deslizado

D=Ancho Block

B= Largo Block

$H_e$  = *Altura hacia el bloque en deslizamiento*

Considerando que:

$$H_e = H - \frac{B}{2} \tan \beta$$

$$\beta = 45^\circ + \frac{\phi}{2}$$

Donde:

$H$  = *Altura block*

$\beta$  = *Angulo entre plano de deslizamiento y base block*

$\phi$  = *Angulo de friccion interna = 15°*

Reemplazando tenemos:

$$\beta = 45^\circ + \frac{\phi}{2} = 45^\circ + 7.5^\circ = 52.5^\circ$$

Para el caso de cuerpos se tiene los siguiente:

$$H_e = H - \frac{B}{2} \tan \beta = 50 - \frac{52.5^\circ}{2} \tan 52.5^\circ = 50 - 34.2 = 15.8 \text{ metros}$$

Para el caso de vetas se tiene los siguiente:

$$H_e = H - \frac{B}{2} \tan \beta = 25 - \frac{52.5^\circ}{2} \tan 52.5^\circ = 25 - 34.2 = 9.2 \text{ metros}$$

Reemplazamos en la ecuación de Volumen para cuerpos:

$$V = DxBxH_e = 25\text{m} \times 10 \text{ m} \times 15.8 \text{ m} = 3950 \text{ m}^3$$

Reemplazamos en la ecuación de Volumen para vetas:

$$V = DxBxH_e = 10\text{m} \times 2 \text{ m} \times 9.2\text{m} = 184 \text{ m}^3$$

Procedemos a hallar el peso del bloque para cuerpos:



$$P = V \times \delta_{rel.} = 3950 \text{ m}^3 \times 1860 \text{ kg/m}^2 = 7\ 347\ 000 \text{ kg}$$

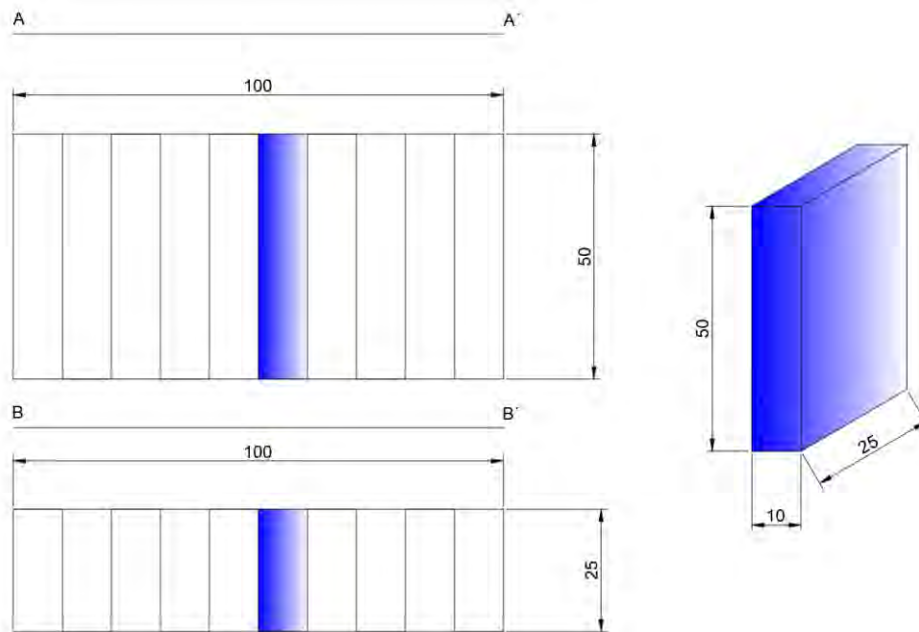
Donde:

P= Peso Bloque

V = Volumen Bloque

$\delta_{rel.} = \text{densidad relave} = 1860 \text{ kg/m}^3$

Figura N° 17 Diseño Paneles Tajeo en Cuerpos



Fuente: San Rafael MINSUR

Procedemos a hallar el peso del bloque para vetas:

$$P = V \times \delta_{rel.} = 184 \text{ m}^3 \times 1860 \text{ kg/m}^2 = 342\ 240 \text{ kg}$$

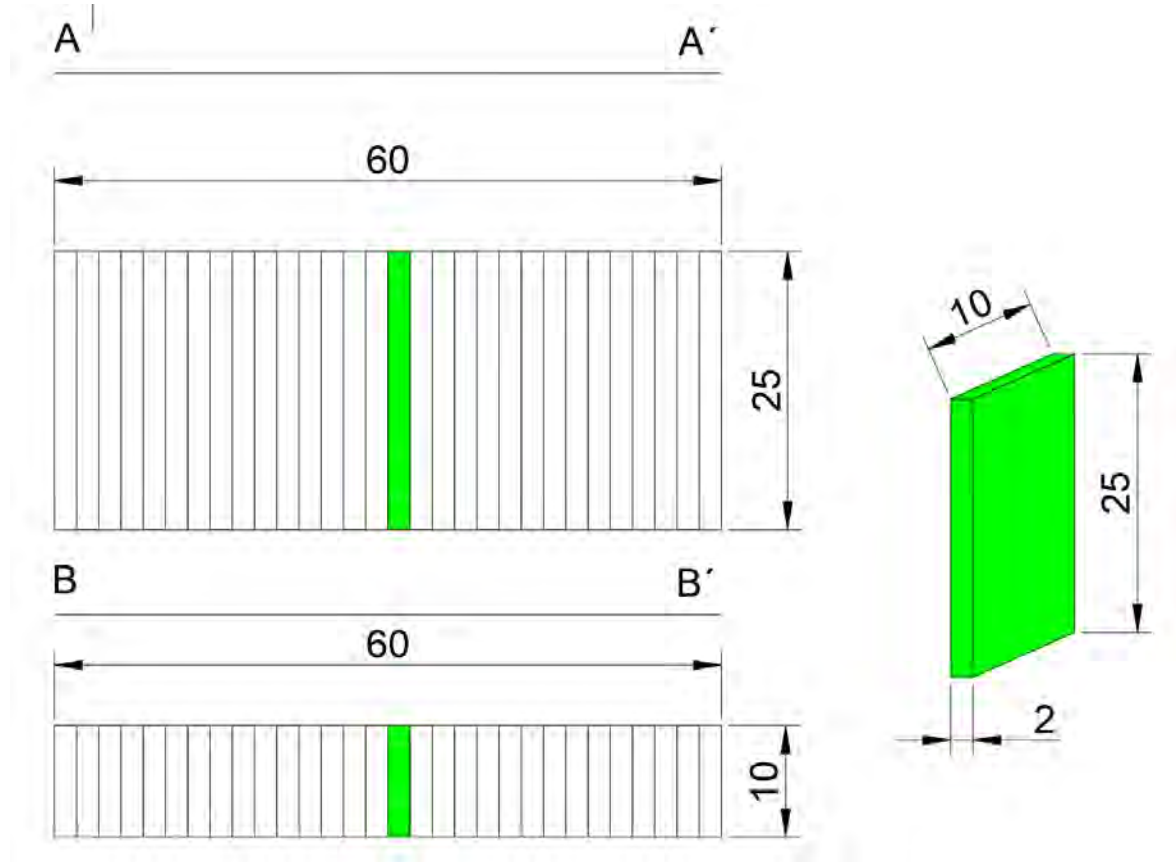
Donde:

P= Peso Bloque

V = Volumen Bloque

$\delta_{rel.} = \text{densidad relave} = 1200 \text{ kg/m}^3$

Figura N° 18 Diseño Paneles Tajeo en Vetas



Fuente: San Rafael MINSUR

Para determinar el equilibrio límite para el peso del bloque deslizado a lo largo del plano de rotura el U.C.S. estará definida por la fórmula:

$$U.C.S. = \frac{B \times \delta_{rel} \times (2 \times H - B)}{4 \times H + 4 \times B - 2 \times D} \times g$$

Donde:

U.C.S. = Fuerza de compresión sin confinamiento

$$\delta_{rel.} = \text{densidad relave} = 1860 \text{ kg/m}^2$$

$D$  = Ancho del Block

$H$  = Altura del Block

$B$  = Longitud del Block

$g$  = Gravedad (9.8 m/s<sup>2</sup>)

Reemplazando en la fórmula de cohesión (c):

$$U.C.S. = \frac{B \times \delta_{rel} \times (2 \times H - B)}{4 \times H + 4 \times B - 2 \times D} \times g$$

$$U.C.S. = \frac{25 \text{ m} \times 1860 \text{ kg/m}^3 \times (2 \times 50 \text{ m} - 25 \text{ m})}{4 \times 50 \text{ m} + 4 \times 25 \text{ m} - 2 \times 10 \text{ m}} = \frac{3487500}{280} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 12206.25 \frac{\text{kg-f}}{\text{m}^2}$$

U.C.S. = 119.7 KPa

Ese vendría a ser el U.C.S. que el Bloque necesitaría para ser desplazado, por consiguiente, se ha determinado el estado tensional global del tajeo Kimberly para poder ver si cumple con los requerimientos de esfuerzos necesarios para su desplazamiento.

Para ello se ha utilizado el postulado de Hoek Brown como se detalla a continuación.

$$\sigma_v = 0.027 Z$$

**Esfuerzos verticales Hoek Brown (1980)**

Donde:

$\sigma_v$  = esfuerzos verticales

$Z = \text{profundidad de la labor}$

Para determinar la relación de esfuerzos horizontales y verticales utilizamos la metodología propuesta por **Hoek Brown (1980)**, de acuerdo a nuestra ubicación seleccionaremos la siguiente fórmula:

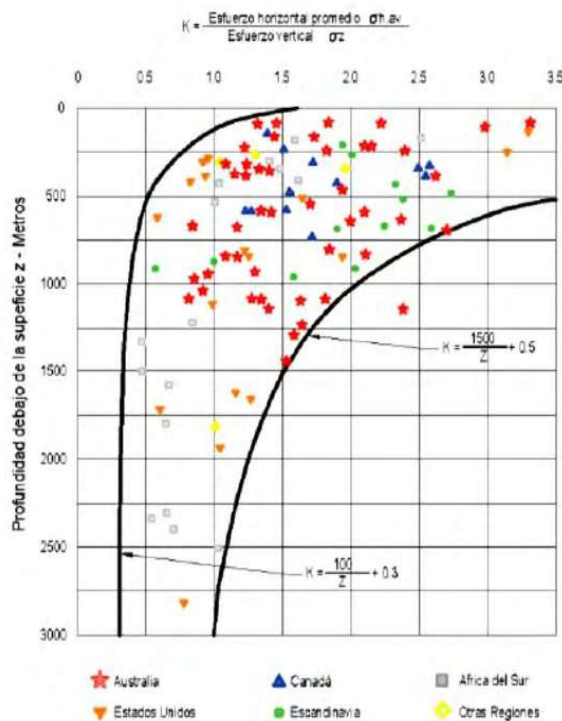
$$K = \frac{100}{Z} + 0.3 \quad \text{Relación Esfuerzos verticales y horizontales Hoek Brown (1980)}$$

Donde:

$K = \text{Relación entre esfuerzos horizontal y vertical}$

$Z = \text{Profundidad excavación}$

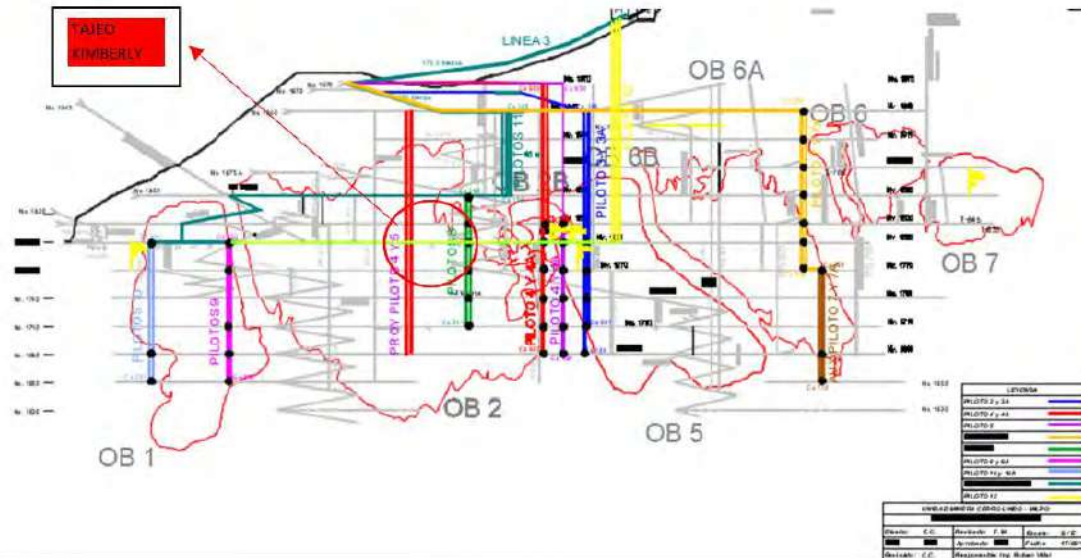
Figura N° 19 Constante k de esfuerzos litostaticos



Fuente: San Rafael MINSUR

De acuerdo al estudio de perfil ubicamos al tajeo Kimberly a 260 metros de profundidad desde su cota mayor, así como se muestra en la siguiente figura, de acuerdo a esta cota se determinarán los esfuerzos horizontales y verticales.

Figura N° 20 Ubicación Tajeo Kimberly – Cuerpos



Fuente: San Rafael MINSUR

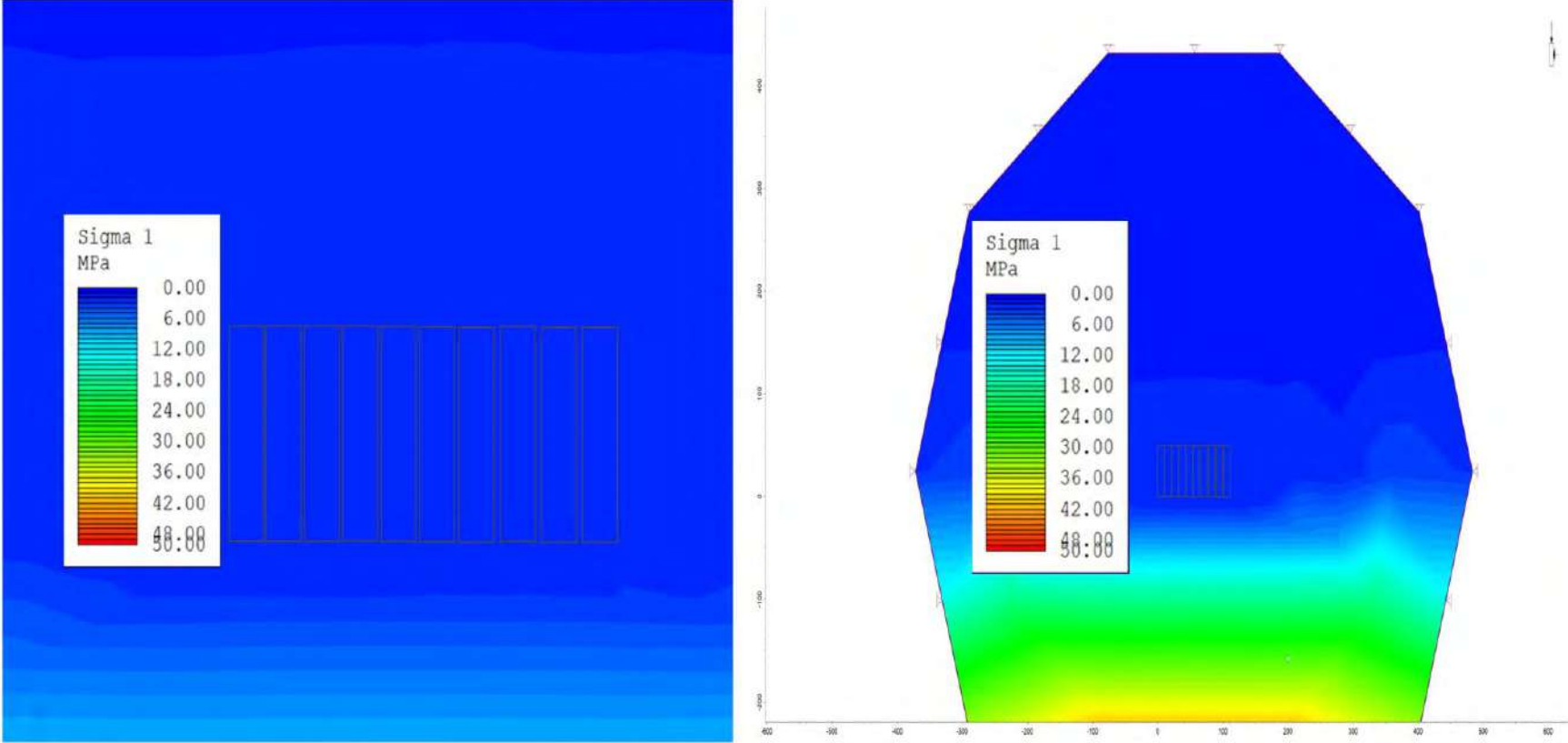
En consecuencia, se tiene los siguientes resultados para esfuerzos verticales y horizontales.

$$\sigma_v = 0.027 Z = 0.027 \times 260 \text{ mts} = 7.02 \text{ MPa}$$

$$k = \frac{100}{z} + 0.3 = 0.68 \dots \dots \dots \text{relación entre esfuerzos}$$

$$\sigma_h = \sigma_v \times 0.68 = 4.77 \text{ MPa}$$

Figura N° 21 Modelado Estabilidad Global – Phase 2 – Tajeo en Cuerpos



Fuente: San Rafael MINSUR

Reemplazando en la fórmula de cohesión (c):

$$U.C.S. = \frac{B \times \delta_{rel} \times (2 \times H - B)}{4 \times H + 4 \times B - 2 \times D} \times g$$

$$U.C.S. = \frac{10 \text{ m} \times 1860 \text{ kg/m}^3 \times (2 \times 25 \text{ m} - 10 \text{ m})}{4 \times 25 \text{ m} + 4 \times 10 \text{ m} - 2 \times 2 \text{ m}} \times \frac{744000}{136} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 5361.17 \frac{\text{kg-f}}{\text{m}^2}$$

$$U.C.S. = 52.57 \text{ KPa}$$

Ese vendría a ser el U.C.S. que el Bloque necesitaría para ser desplazado, por consiguiente, se ha determinado el estado tensional global del tajeo Kimberly para poder ver si cumple con los requerimientos de esfuerzos necesarios para su desplazamiento.

Para ello se ha utilizado el postulado de Hoek Brown como se detalla a continuación.

$$\sigma_v = 0.027 Z$$

*Esfuerzos*

*verticales Hoek Brown (1980)*

*Donde:*

$\sigma_v =$  *esfuerzos verticales*

$Z =$  *profundidad de la labor*

Para determinar la relación de esfuerzos horizontales y verticales utilizamos la metodología propuesta por **Hoek Brown (1980)**, de acuerdo a nuestra ubicación seleccionaremos la siguiente formula:

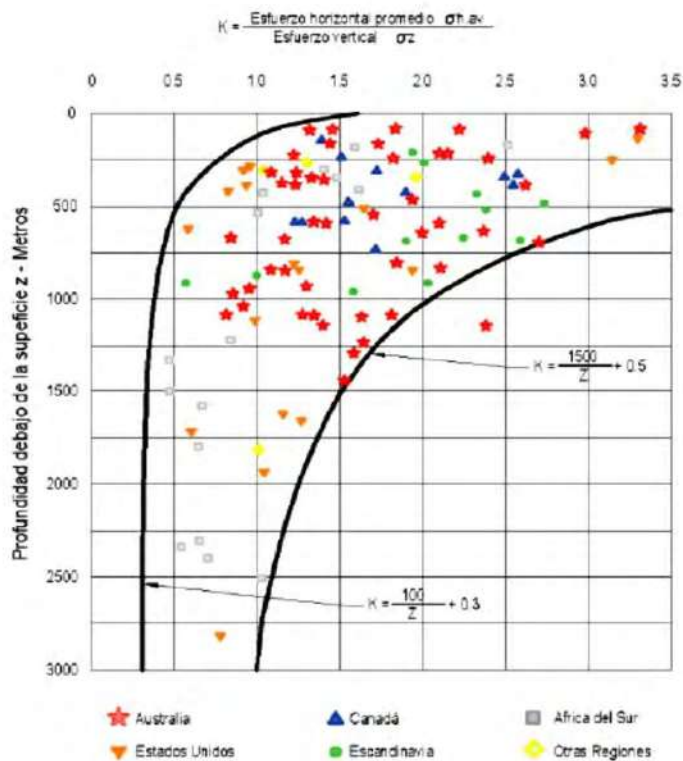
$$K = \frac{100}{Z} + 0.3 \quad \text{Relación Esfuerzos verticales y horizontales Hoek Brown (1980)}$$

Donde:

$K =$  Relación entre esfuerzos horizontal y vertical

$Z =$  Profundidad excavación

Figura N° 22 Constante relación esfuerzos litostáticos en Vetas

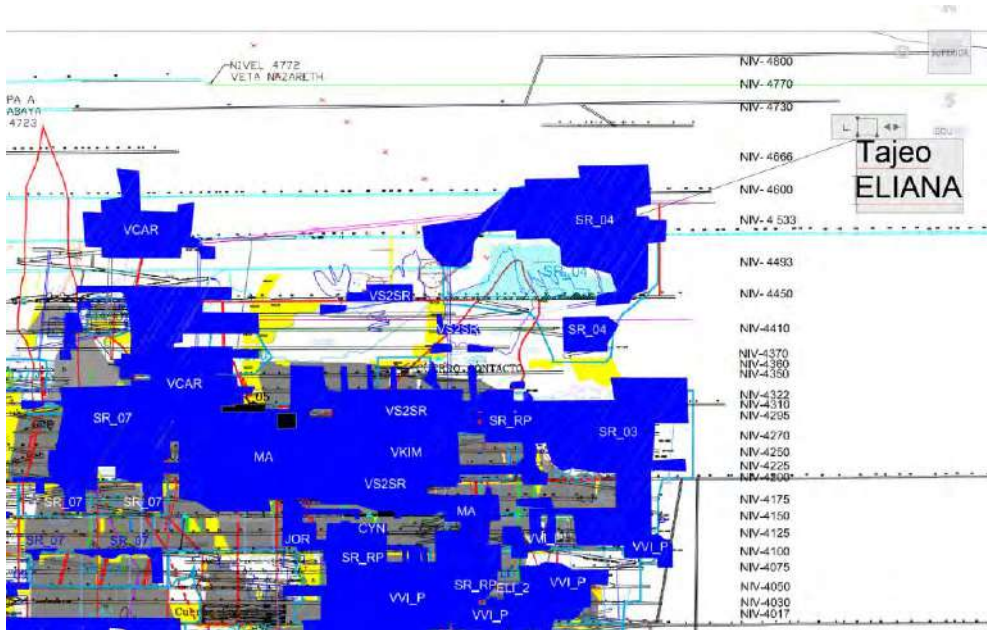


Fuente: San Rafael MINSUR

De acuerdo al estudio de perfil ubicamos al tajeo Kimberly a 260 metros de profundidad desde su cota mayor, así como se muestra en la siguiente figura, de acuerdo a esta cota se determinarán los esfuerzos horizontales y verticales.

Figura N° 23 Ubicación Tajeo Eliana – Explotación por Vetas





Fuente: San Rafael MINSUR

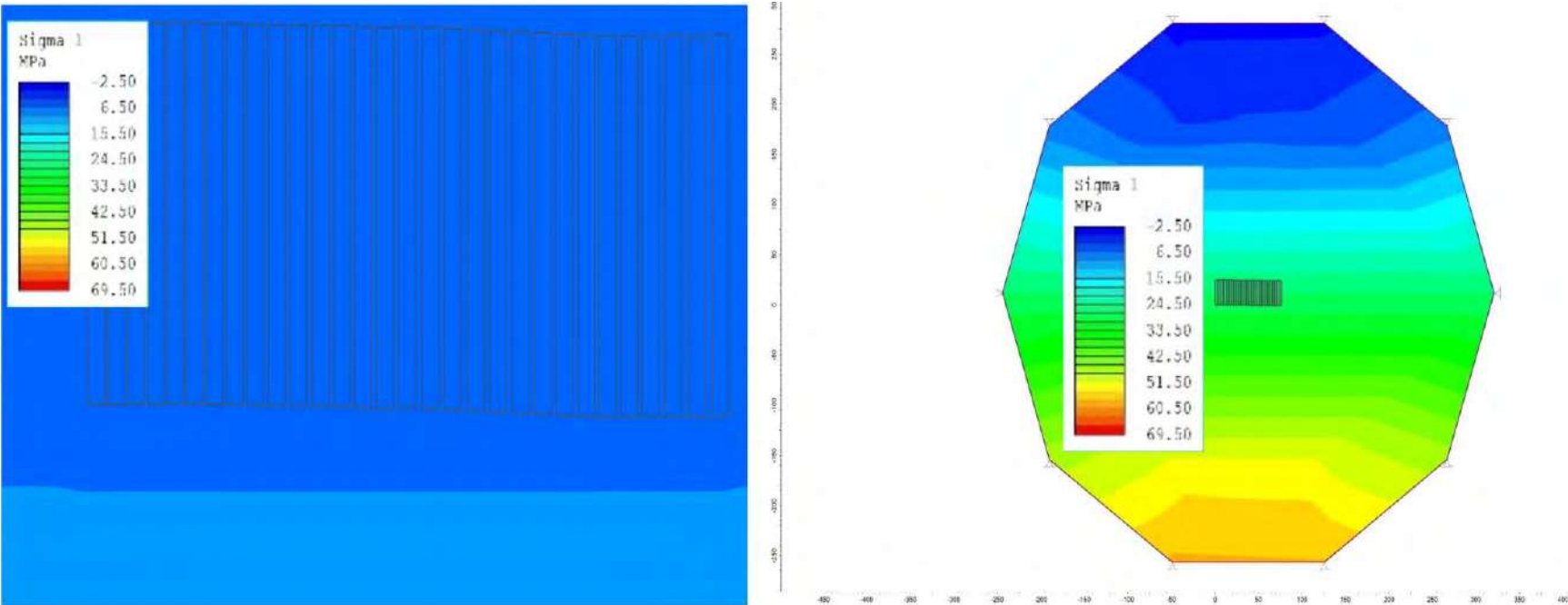
En consecuencia, se tiene los siguientes resultados para esfuerzos verticales y horizontales.

$$\sigma_v = 0.027 Z = 0.027 \times 200 \text{ mts} = 5.4 \text{ MPa}$$

$$k = \frac{100}{z} + 0.3 = 0.68 \dots \dots \dots \text{relación entre esfuerzos}$$

$$\sigma_h = \sigma_v \times 0.68 = 3.67 \text{ MPa}$$

Figura N° 24 Modelado Estabilidad Global – Phase 2 – Tajeo en Vetas



Fuente: San Rafael MINSUR

## 4.2 EVALUACION DEL CICLO DE MINADO

### 4.2.1. CICLO DE MINADO EN MINA SAN RAFAEL

Para el caso de cuerpos el ciclo de minado considera Perforacion y voladura, acarreo y Relleno; los tiempos estan dados en dias y programados de esa manera, en el siguiente cuadro se muestra la distribucion del ciclo de minado para el caso de cuerpos.

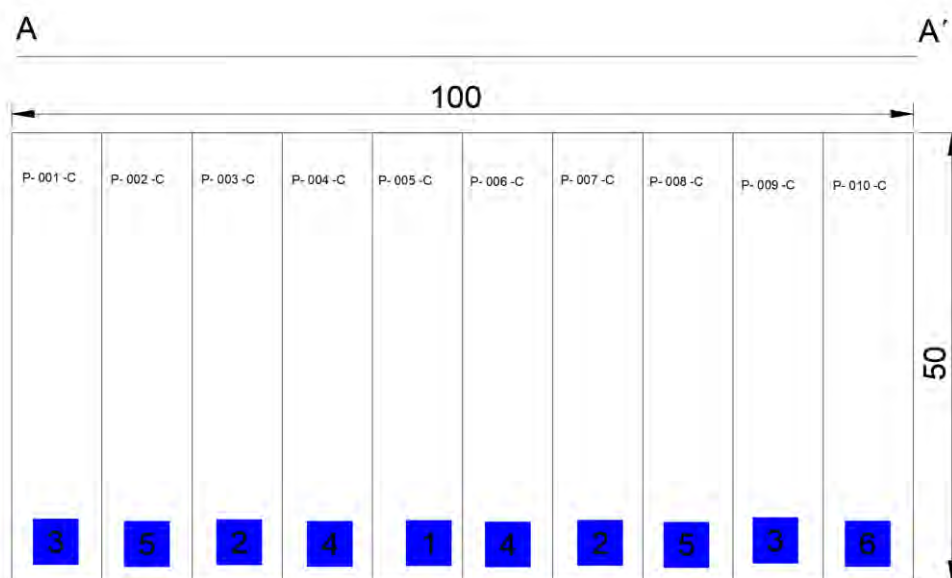
*Cuadro N° 22Ciclo Minado Tajeo en Cuerpos*

Proceso	Tiempo (días)	Observación
Perforación y Voladura	4	
Acarreo	4	
Relleno	4	Depende de Fraguado
Total	12	

*Fuente: Análisis Propio 1*

En la siguiente figura se detallas la secuencia de minado en tajeos en cuerpos con un total de 10 paneles a ser explotados.

*Figura N° 25 Secuencia de Minado tajeo en Cuerpos*



*Fuente: San Rafael MINSUR*

Para el caso de vetas el ciclo de minado considera Perforacion y voladura, acarreo y Relleno; los tiempos estan dados en dias y programados de esa manera, en el siguiente cuadro se muestra la distribucion del ciclo de minado para el caso de vetas.

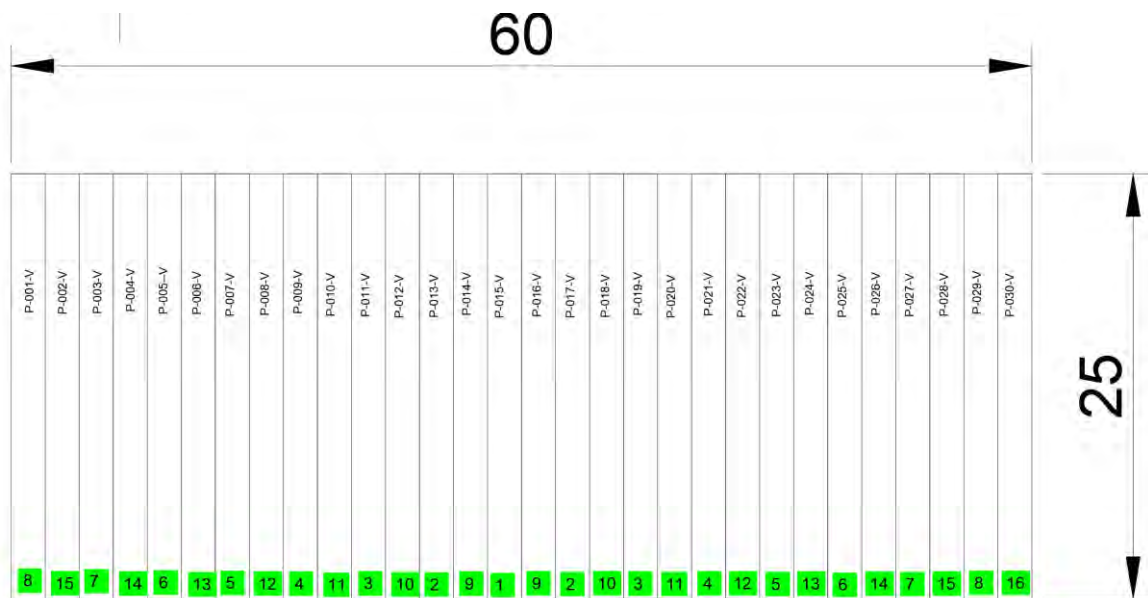
*Cuadro N° 23 Ciclo Minado Tajeo en Vetas*

Proceso	Tiempo (días)	Observación
Perforación y Voladura	2	
Acarreo	2	
Relleno	2	Depende de Fraguado
Total	6	

*Fuente: Análisis Propio*

En la siguiente figura se detallas la secuencia de minado en tajeos en cuerpos con un total de 30 paneles a ser explotados.

*Figura N° 26 Secuencia de Minado tajeo en Vetas*



*Fuente: San Rafael MINSUR*

#### 4.2.2. EVALUACION DE TIEMPOS DE CICLO DE MINADO

El mayor tiempo en el proceso de explotación de tajeos es el tiempo de fraguado ya que no se puede explotar los tajeos adyacentes hasta que el relleno alcance la resistencia óptima que en el caso de mina San Rafael de MINSUR es de 200KPa.

En los siguiente cuadros se tiene el tiempo del ciclo de minado determinado en días para la explotación en tajeos en cuerpos.

*Cuadro N° 24 Tiempos Ciclo de minado Tajeo en Cuerpos – Binder 3%*

Panel	Secuencia	P y V	Acar.	Rell.	Fraguado (Binder 3%) - 200KPa (día)	T. Explo. (día)
001 - C	3	4	4	4	96	24
002 - C	5	4	4	4	96	120
003 - C	2	4	4	4	96	12
004 - C	4	4	4	4	96	108
005 - C	1	4	4	4	96	Inmediato
006 - C	4	4	4	4	96	108
007 - C	2	4	4	4	96	12
008 - C	5	4	4	4	96	120
009 - C	3	4	4	4	96	24
0010 - C	6	4	4	4	96	120
TOTAL						120

*Fuente: Análisis Propio*

*Cuadro N° 25 Tiempos Ciclo de minado Tajeo en Cuerpos – Binder 4%*

Panel	Secuencia	P y V	Acar .	Rell .	Fraguado (Binder 4%) - 200KPa (día)	T. Explo. (día)
001 - C	3	4	4	4	67	24
002 - C	5	4	4	4	67	91
003 - C	2	4	4	4	67	12
004 - C	4	4	4	4	67	79
005 - C	1	4	4	4	67	Inmediato
006 - C	4	4	4	4	67	79
007 - C	2	4	4	4	67	12
008 - C	5	4	4	4	67	91
009 - C	3	4	4	4	67	24
0010 - C	6	4	4	4	67	91
TOTAL						91

*Fuente: Análisis Propio*

*Cuadro N° 26 Tiempos Ciclo de minado Tajeo en Cuerpos – Binder 5%*

Panel	Secuencia	P y V	Acar .	Rell .	Fraguado (Binder 5%) - 200KPa (día)	T. Explo. (día)
001 - C	3	4	4	4	48	24
002 - C	5	4	4	4	48	72
003 - C	2	4	4	4	48	12
004 - C	4	4	4	4	48	60
005 - C	1	4	4	4	48	Inmediato
006 - C	4	4	4	4	48	60
007 - C	2	4	4	4	48	12
008 - C	5	4	4	4	48	72
009 - C	3	4	4	4	48	24
0010 - C	6	4	4	4	48	72
TOTAL						72

*Fuente: Análisis Propio*

*Cuadro N° 27 Tiempos Ciclo de minado Tajeo en Cuerpos – Binder 6%*

Panel	Secuencia	P y V	Acar .	Rell .	Fraguado (Binder 6%) - 200KPa (día)	T. Explo. (día)
001 - C	3	4	4	4	22	24
002 - C	5	4	4	4	22	46
003 - C	2	4	4	4	22	12
004 - C	4	4	4	4	22	34
005 - C	1	4	4	4	22	Inmediato
006 - C	4	4	4	4	22	34
007 - C	2	4	4	4	22	12
008 - C	5	4	4	4	22	46
009 - C	3	4	4	4	22	24
0010 - C	6	4	4	4	22	46
TOTAL						46

*Fuente: Análisis Propio*

*Cuadro N° 28 Tiempos Ciclo de minado Tajeo en Cuerpos – Binder 7%*

Panel	Secuencia	P y V	Acar .	Rell .	Fraguado (Binder 7%) - 200KPa (día)	T. Explo. (día)
001 - C	3	4	4	4	16	24
002 - C	5	4	4	4	16	40
003 - C	2	4	4	4	16	12
004 - C	4	4	4	4	16	28
005 - C	1	4	4	4	16	Inmediato
006 - C	4	4	4	4	16	28
007 - C	2	4	4	4	16	12
008 - C	5	4	4	4	16	40
009 - C	3	4	4	4	16	24
0010 - C	6	4	4	4	16	40
TOTAL						40

*Fuente: Análisis Propio*

Para el caso de tajeos en Vetas se tiene paneles con relleno que deben alcanzar un U.C.S. de 70KPa.

En los siguiente cuadros se tiene el tiempo del ciclo de minado determinado en días para la explotación en tajeos en vetas.

*Cuadro N° 29 Tiempos Ciclo de minado Tajeo en Vetas – Binder 3%*

Panel	Secuencia	P y V	Acar.	Rell.	Fraguado (Binder 3%) - 70KPa (día)	T. Explo. (día)
001 - V	8	2	2	2	7	42
002 - V	15	2	2	2	7	49
003 - V	7	2	2	2	7	36
004 - V	14	2	2	2	7	43
005 - V	6	2	2	2	7	30
006 - V	13	2	2	2	7	37
007 - V	5	2	2	2	7	24
008 - V	12	2	2	2	7	31
009 - V	4	2	2	2	7	18
010 - V	11	2	2	2	7	25
011 - V	3	2	2	2	7	12
012 - V	10	2	2	2	7	19
013 - V	2	2	2	2	7	6
014 - V	9	2	2	2	7	13
015 - V	1	2	2	2	7	Inmediato
016 - V	9	2	2	2	7	13
017 - V	2	2	2	2	7	6
018 - V	10	2	2	2	7	19
019 - V	3	2	2	2	7	12
020 - V	11	2	2	2	7	25
021 - V	4	2	2	2	7	18
022 - V	12	2	2	2	7	31
023 - V	5	2	2	2	7	24
024 - V	13	2	2	2	7	37
025 - V	6	2	2	2	7	30
026 - V	14	2	2	2	7	43
027 - V	7	2	2	2	7	36
028 - V	15	2	2	2	7	49
029 - V	8	2	2	2	7	42
030 - V	16	2	2	2	7	49
TOTAL						49

*Fuente: Análisis Propio*



*Cuadro N° 30 Tiempos Ciclo de minado Tajeo en Vetas – Binder 4%*

Panel	Secuencia	P y V	Acar.	Rell.	Fraguado (Binder 4%) - 70KPa (día)	T. Explo. (día)
001 - V	8	2	2	2	6	42
002 - V	15	2	2	2	6	48
003 - V	7	2	2	2	6	36
004 - V	14	2	2	2	6	42
005 - V	6	2	2	2	6	30
006 - V	13	2	2	2	6	36
007 - V	5	2	2	2	6	24
008 - V	12	2	2	2	6	30
009 - V	4	2	2	2	6	18
010 - V	11	2	2	2	6	24
011 - V	3	2	2	2	6	12
012 - V	10	2	2	2	6	18
013 - V	2	2	2	2	6	6
014 - V	9	2	2	2	6	12
015 - V	1	2	2	2	6	Inmediato
016 - V	9	2	2	2	6	12
017 - V	2	2	2	2	6	6
018 - V	10	2	2	2	6	18
019 - V	3	2	2	2	6	12
020 - V	11	2	2	2	6	24
021 - V	4	2	2	2	6	18
022 - V	12	2	2	2	6	30
023 - V	5	2	2	2	6	24
024 - V	13	2	2	2	6	36
025 - V	6	2	2	2	6	30
026 - V	14	2	2	2	6	42
027 - V	7	2	2	2	6	36
028 - V	15	2	2	2	6	48
029 - V	8	2	2	2	6	42
030 - V	16	2	2	2	6	48
TOTAL						48

*Fuente: Análisis Propio*

Cuadro N° 31 Tiempos Ciclo de minado Tajeo en Vetas – Binder 5%

Panel	Secuencia	P y V	Acar.	Rell.	Fraguado (Binder 5%) - 70KPa (día)	T. Explo. (día)
001 - V	8	2	2	2	5	42
002 - V	15	2	2	2	5	47
003 - V	7	2	2	2	5	36
004 - V	14	2	2	2	5	41
005 - V	6	2	2	2	5	30
006 - V	13	2	2	2	5	35
007 - V	5	2	2	2	5	24
008 - V	12	2	2	2	5	29
009 - V	4	2	2	2	5	18
010 - V	11	2	2	2	5	23
011 - V	3	2	2	2	5	12
012 - V	10	2	2	2	5	17
013 - V	2	2	2	2	5	6
014 - V	9	2	2	2	5	11
015 - V	1	2	2	2	5	Inmediato
016 - V	9	2	2	2	5	11
017 - V	2	2	2	2	5	6
018 - V	10	2	2	2	5	17
019 - V	3	2	2	2	5	12
020 - V	11	2	2	2	5	23
021 - V	4	2	2	2	5	18
022 - V	12	2	2	2	5	29
023 - V	5	2	2	2	5	24
024 - V	13	2	2	2	5	35
025 - V	6	2	2	2	5	30
026 - V	14	2	2	2	5	41
027 - V	7	2	2	2	5	36
028 - V	15	2	2	2	5	47
029 - V	8	2	2	2	5	42
030 - V	16	2	2	2	5	47
TOTAL						47

Fuente: Análisis Propio

Cuadro N° 32 Tiempos Ciclo de minado Tajeo en Vetas – Binder 6%

Panel	Secuencia	P y V	Acar.	Rell.	Fraguado (Binder 6%) - 70KPa (día)	T. Explor. (día)
001 - V	8	2	2	2	4	42
002 - V	15	2	2	2	4	46
003 - V	7	2	2	2	4	36
004 - V	14	2	2	2	4	40
005 - V	6	2	2	2	4	30
006 - V	13	2	2	2	4	34
007 - V	5	2	2	2	4	24
008 - V	12	2	2	2	4	28
009 - V	4	2	2	2	4	18
010 - V	11	2	2	2	4	22
011 - V	3	2	2	2	4	12
012 - V	10	2	2	2	4	16
013 - V	2	2	2	2	4	6
014 - V	9	2	2	2	4	10
015 - V	1	2	2	2	4	Inmediato
016 - V	9	2	2	2	4	10
017 - V	2	2	2	2	4	6
018 - V	10	2	2	2	4	16
019 - V	3	2	2	2	4	12
020 - V	11	2	2	2	4	22
021 - V	4	2	2	2	4	18
022 - V	12	2	2	2	4	28
023 - V	5	2	2	2	4	24
024 - V	13	2	2	2	4	34
025 - V	6	2	2	2	4	30
026 - V	14	2	2	2	4	40
027 - V	7	2	2	2	4	36
028 - V	15	2	2	2	4	46
029 - V	8	2	2	2	4	42
030 - V	16	2	2	2	4	46
TOTAL						46

Fuente: Análisis Propio

Cuadro N° 33 Tiempos Ciclo de minado Tajeo en Vetas – Binder 7%

Panel	Secuencia	P y V	Acar.	Rell.	Fraguado (Binder 7%) - 70KPa (día)	T. Explo. (día)
001 - V	8	2	2	2	3	42
002 - V	15	2	2	2	3	45
003 - V	7	2	2	2	3	36
004 - V	14	2	2	2	3	39
005 - V	6	2	2	2	3	30
006 - V	13	2	2	2	3	33
007 - V	5	2	2	2	3	24
008 - V	12	2	2	2	3	27
009 - V	4	2	2	2	3	18
010 - V	11	2	2	2	3	21
011 - V	3	2	2	2	3	12
012 - V	10	2	2	2	3	15
013 - V	2	2	2	2	3	6
014 - V	9	2	2	2	3	9
015 - V	1	2	2	2	3	Inmediato
016 - V	9	2	2	2	3	9
017 - V	2	2	2	2	3	6
018 - V	10	2	2	2	3	15
019 - V	3	2	2	2	3	12
020 - V	11	2	2	2	3	21
021 - V	4	2	2	2	3	18
022 - V	12	2	2	2	3	27
023 - V	5	2	2	2	3	24
024 - V	13	2	2	2	3	33
025 - V	6	2	2	2	3	30
026 - V	14	2	2	2	3	39
027 - V	7	2	2	2	3	36
028 - V	15	2	2	2	3	45
029 - V	8	2	2	2	3	42
030 - V	16	2	2	2	3	45
TOTAL						45

Fuente: Análisis Propio

### 4.3. TIEMPO DE FRAGUADO DEL RELLENO EN PASTA REDUCIDO

Con el uso de acelerantes se ha logrado reducir los tiempos de fraguado del relleno en pasta en la mina San Rafael para el caso de Cuerpos se tiene el siguiente cuadro donde se observa la reduccion con los diferentes Binder y su porcentajes utilizados en la minas:

*Cuadro N° 34 Tiempo de Fraguado reducido en Cuerpos*

ACELERANTE	BINDER (%)					
	2%	3%	4%	5%	6%	7%
HP NORMET	NO DATA	34 Días	NO DATA	9 Días	NO DATA	6 Días
HP NORMET 1.2% EN BINDER	154 Días	252 Días	NO DATA	7 Días	NO DATA	6 Días
PLASTIMENT	28 Días	12 Días	NO DATA	6 Días	NO DATA	5 Días

*Fuente: Análisis Propio*

Para el caso de vetas se tiene el siguiente cuadro donde se observa la reduccion del tiempo de fraguado, con el uso de acelerantes se consigue resistencia en UCS para los diferentes rellenos volviendolos mas estables

*Cuadro N° 35 Tiempo de Fraguado reducido en Vetas*

ACELERANTE	BINDER (%)					
	2%	3%	4%	5%	6%	7%
HP NORMET	NO DATA	5 Días	NO DATA	3 Días	NO DATA	1 Días
HP NORMET 1.2% EN BINDER	4 Días	4 Días	NO DATA	3 Días	NO DATA	2 Días
PLASTIMENT	4 Días	3 Días	NO DATA	2 Días	NO DATA	2 Días

*Fuente: Análisis Propio*

## **CAPITULO V: OPTIMIZACIÓN DEL CICLO DE MINADO**

### **5.1 EVALUACION DEL RELLENO EN PASTA CON ACELERANTES**

**Para la aceleracion del fraguado del relleno en pasta se va emplear tres acelerantes los cuales son:**

- **Hiperplastificante Normet**
- **Plastiment Mine PE SIKA**

**Estos dos acelerantes se van a colocar para fraguado en Cemento YURA IP el que se usa actualmete en el Relleno en Pasta, en Cemento INKA I Co y Cemento YURA Especial.**

**Incluso para el caso de Hiperplastificante Normet se realiza una variacion en 1.2% en peso de Binder, con lo que se obtiene mejores resultado en resistencia.**

En la evaluación granulométrica se tiene para el caso de material usado para el fraguado junto con el Binder, el uso es de desmonteras y la clasificación se da como se muestra en el siguiente cuadro, esto incluye el material para el relleno.

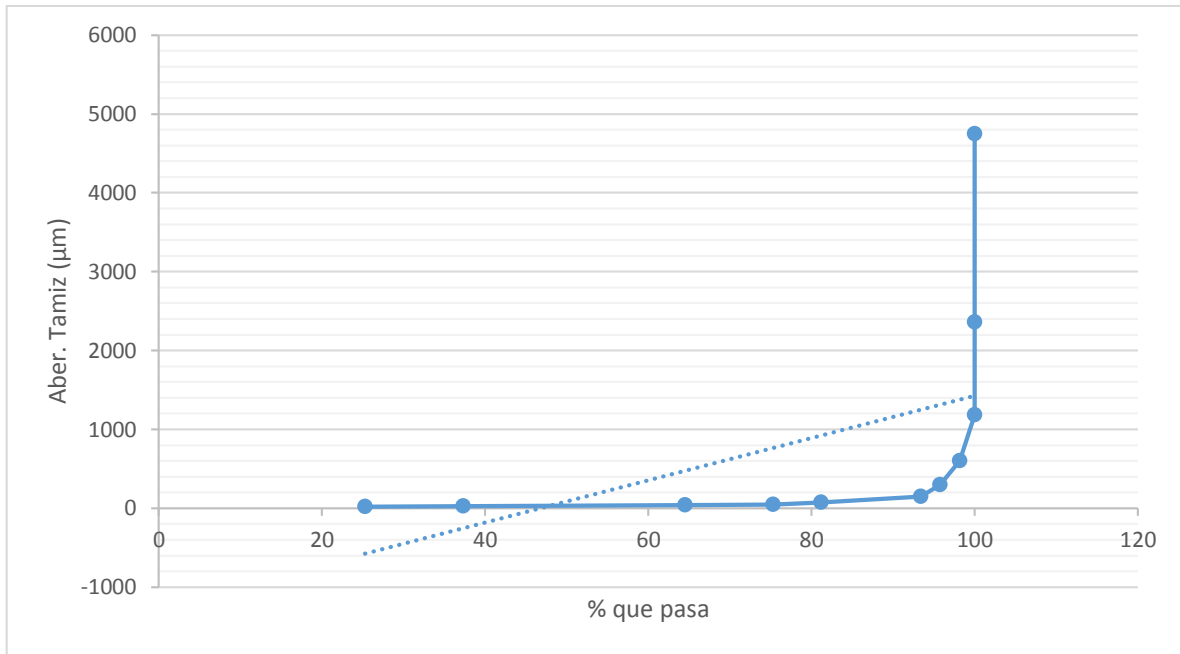
**Cuadro N° 36 Análisis Granulométrico Relave**

Tamiz	Abertura Tamiz ( $\mu\text{m}$ )	% que pasa
N°4	4750	100
N°8	2360	100
N°16	1180	100
N°30	600	98.2
N°50	300	95.8
N°100	150	93.4
N°200	75	81.2
N°325	45	75.3
N°400	38	64.5
N°500	25	37.3
N°635	20	25.3
> N°635	<20	22.4

**Fuente: MINSUR**

En la Grafica se puede ver que el material del relave es bombeable y que además se tiene un porcentaje de LAMA en el material, esto nos ayudara a tener una mejor consistencia y no se crearan resistencia en las tuberías que originen erosión, hay que destacar que los acelerantes son floculantes y ayudan al fraguado del material para que disminuya el porcentaje de agua en el relleno.

Figura N° 27 Análisis Granulométrico Relleno con Acelerantes



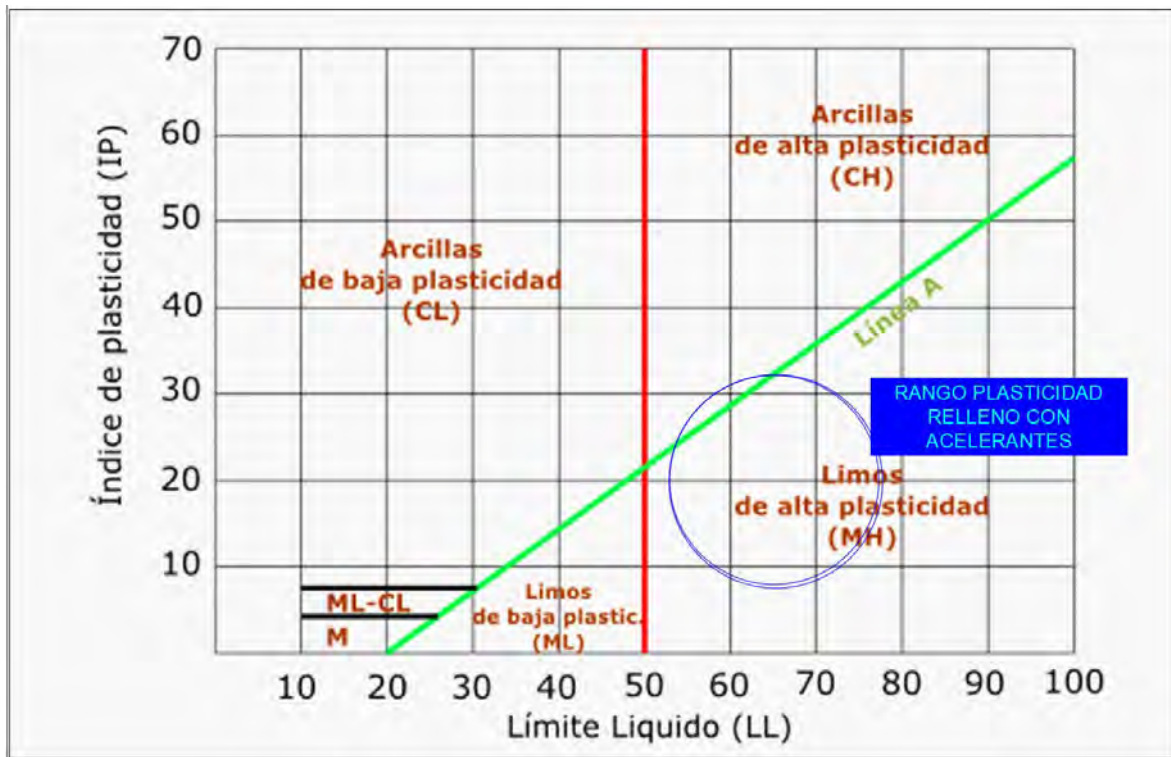
Fuente: San Rafael MINSUR

Los límites de agua en Relleno con acelerantes. se muestran en el cuadro siguiente, para el caso de la dosificación con el cemento solo se utiliza 50 litros por metro cubico de relleno y en las relaveras el rebose llega a 40%.

Para una mejor comprensión de los Límites de Consistencia propuesto por Atterberg, se detalla en el siguiente grafico el Índice Plástico (P.I), el Limite Liquido (L.L.) y el Limite Plástico, estos parámetros son importantes porque nos ayudaran a determinar la consistencia del relleno.



Figura N° 28 Grafica de elasticidad Relleno con Acelerantes



Fuente: San Rafael MINSUR

La prueba de Slump es un análisis que nos va permitir determinar el grado de sedimentación de un relleno, en la Mina San Rafael es importante realizar este análisis para lo cual se utiliza un cono

Para que se pueda depositar el relleno hidráulico cementado en el tajeo la prueba de Slump de la mezcla debe llegar como mínimo a 1 pulgada. En el siguiente cuadro se detalla la prueba realizada a la mezcla.

**Cuadro N° 37 Altura Slump R.H.C.**

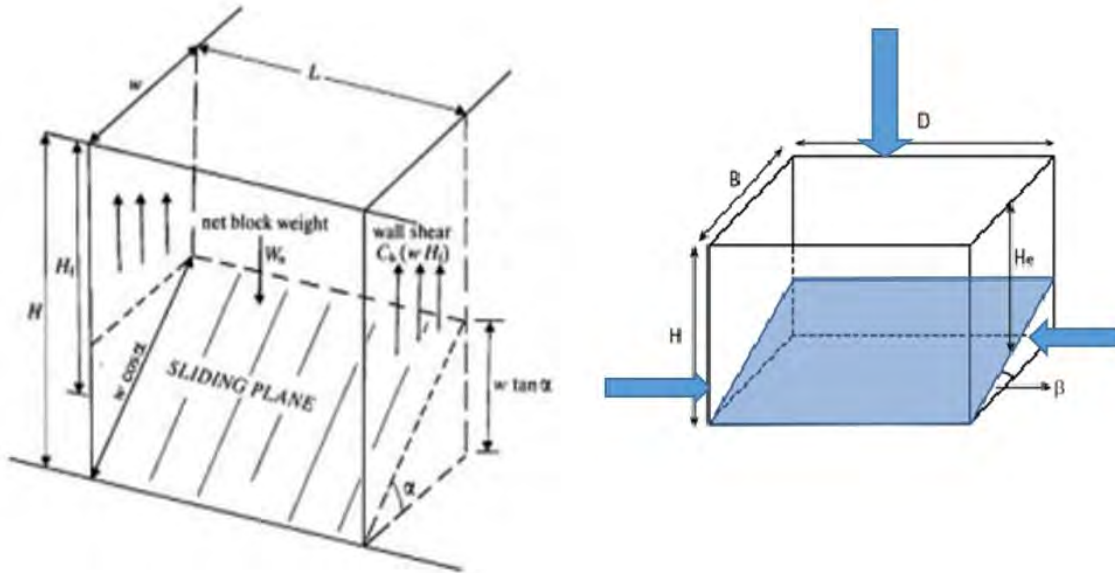
<b>Capacidad cono</b>		5 litros
<b>relación mezcla</b>		3 a 1
<b>peso de arena</b>		4 kilogramos
<b>peso de agua</b>		4 kilogramos
<b>Altura Slump Promedio</b>		9 "
Cemento	Acelerante	Slump
Cemento Yura IP	Sin acelerante	9 1/12 "
	Hiperplastificante Normet	9 1/2 "
	Hiperplastificante Normet 1.2% en peso Binder	8 1/4"
	Plastiment Mine PE SIKA	8 3/4"
INKA I Co	Sin acelerante	9 1/2 "
	Hiperplastificante Normet	9 1/2 "
	Hiperplastificante Normet 1.2% en peso Binder	8 1/2"
	Plastiment Mine PE SIKA	9"
Cemento Yura Especial	Sin acelerante	8 3/4 "
	Hiperplastificante Normet	10 "
	Hiperplastificante Normet 1.2% en peso Binder	8 3/4"
	Plastiment Mine PE SIKA	9"

**Fuente: Análisis Propio**

## **5.2 EVALUACION DE ESTABILIDAD DEL RELLENO EN PASTA CON ACELERANTES**

Para determinar si el bloque con Relleno. es estable se debe utilizar ciertos criterios, el criterio más utilizados es de Mitchell (1983), que sugiere el deslizamiento de planos en el block, para nuestro caso se tiene en el siguiente grafico para analizar la estabilidad con R.H.C.

Figura N° 29 Esquema criterio de falla Mitchell para Paneles de relleno con acelerantes



Fuente: San Rafael MINSUR

Debemos considerar el Relleno en Pasta con una fricción de  $33^\circ$  ya la cohesión como fuerza resistente al deslizamiento, en primer lugar, vamos a hallar el volumen del bloque deslizado (V), se va utilizar la siguiente formula:

$$V = DxBxH_e$$

Donde:

V= Volumen bloque deslizado

D=Ancho Block

B= Largo Block

$H_e = \text{Altura hacia el bloque en deslizamiento}$

Considerando que:

$$H_e = H - \frac{B}{2} \tan \beta$$

$$\beta = 45^\circ + \frac{\phi}{2}$$

Donde:

$H = \text{Altura block}$

$\beta = \text{Angulo entre plano de deslizamiento y base block}$

$\phi = \text{Angulo de friccion interna} = 15^\circ$

Reemplazando tenemos:

$$\beta = 45^\circ + \frac{\phi}{2} = 45^\circ + 7.5^\circ = 52.5^\circ$$

Para el caso de cuerpos se tiene los siguiente:

$$H_e = H - \frac{B}{2} \tan \beta = 50 - \frac{52.5^\circ}{2} \tan 52.5^\circ = 50 - 34.2 = 15.8 \text{ metros}$$

Para el caso de vetas se tiene los siguiente:

$$H_e = H - \frac{B}{2} \tan \beta = 25 - \frac{52.5}{2} \tan 52.5^\circ = 25 - 34.2 = 9.2 \text{ metros}$$

Reemplazamos en la ecuación de Volumen para cuerpos:

$$V = DxBxH_e = 25\text{m} \times 10 \text{ m} \times 15.8 \text{ m} = 3950 \text{ m}^3$$

Reemplazamos en la ecuación de Volumen para vetas:

$$V = DxBxH_e = 10\text{m} \times 2 \text{ m} \times 9.2\text{m} = 184 \text{ m}^3$$

Procedemos a hallar el peso del bloque para cuerpos:

$$P = V \times \delta_{rel.} = 3950 \text{ m}^3 \times 1860 \text{ kg/m}^3 = 7\,347\,000 \text{ kg}$$

Donde:

P= Peso Bloque

V = Volumen Bloque

$\delta_{rel.} = \text{densidad relave} = 1860 \text{ kg/m}^3$

Procedemos a hallar el peso del bloque para vetas:

$$P = V \times \delta_{rel.} = 184 \text{ m}^3 \times 1860 \text{ kg/m}^2 = 342\,240 \text{ kg}$$

Donde:

P= Peso Bloque

V = Volumen Bloque

$$\delta_{rel.} = \text{densidad relave} = 1200 \text{ kg/m}^3$$

Para determinar el equilibrio límite para el peso del bloque deslizado a lo largo del plano de rotura el U.C.S. estará definida por la fórmula:

$$U.C.S. = \frac{B \times \delta_{rel.} \times (2 \times H - B)}{4 \times H + 4 \times B - 2 \times D} \times g$$

Donde:

U.C.S. = Fuerza de compresión sin confinamiento

$$\delta_{rel.} = \text{densidad relave} = 1860 \text{ kg/m}^2$$

D= Ancho del Block

H=Altura del Block

B = Longitud del Block

$g = \text{Gravedad } (9.8 \text{ m/s}^2)$

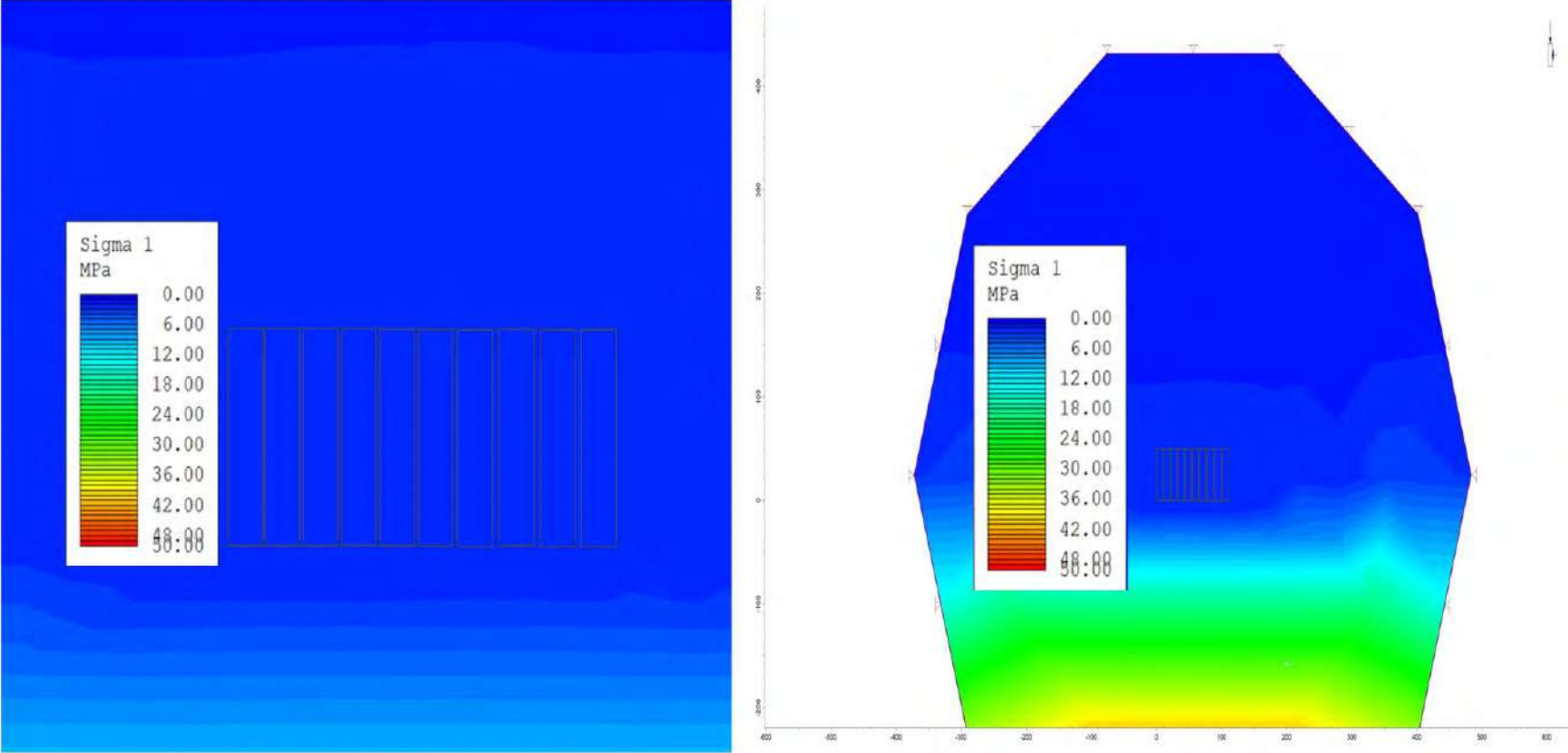
Reemplazando en la fórmula de cohesión (c):

$$U.C.S. = \frac{B \times \delta_{rel} \times (2 \times H - B)}{4 \times H + 4 \times B - 2 \times D} \times g$$

$$U.C.S. = \frac{25 \text{ m} \times 1860 \text{ kg/m}^3 \times (2 \times 50 \text{ m} - 25 \text{ m})}{4 \times 50 \text{ m} + 4 \times 25 \text{ m} - 2 \times 10 \text{ m}} \times \frac{3487500}{280} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 12206.25 \frac{\text{kg-f}}{\text{m}^2}$$

$$U.C.S. = 119.7 \text{ KPa}$$

Figura N° 30 Modelamiento Estabilidad para tajeo en cuerpos con presión litostatica a 260 metros



Fuente: San Rafael MINSUR



Reemplazando en la fórmula de cohesión (c):

$$U.C.S. = \frac{B \times \delta_{rel} \times (2 \times H - B)}{4 \times H + 4 \times B - 2 \times D} \times g$$

$$U.C.S. = \frac{10 \text{ m} \times 1860 \text{ kg/m}^3 \times (2 \times 25 \text{ m} - 10 \text{ m})}{4 \times 25 \text{ m} + 4 \times 10 \text{ m} - 2 \times 2 \text{ m}} \times \frac{744000}{136} \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 5361.17 \frac{\text{kg-f}}{\text{m}^2}$$

$$U.C.S. = 52.57 \text{ KPa}$$

Para la ejecución de pruebas de campo es necesario tener el modelamiento de la estabilidad global de la mina de la interacción de los diferentes paneles en el cuerpo mineralizado para ello se ha decidido utilizar el software phase 2.

El phase 2 nos permite determinar los esfuerzos actuantes sobre los diferentes paneles de acuerdo a un modelamiento de puntos infinitos que nos da como resultado los diferentes esfuerzos presentes en la mina.

Esta interacción es fundamental para poder determinar el tiempo en el que el fraguado será óptimo, ya que al contrastar los esfuerzos actuantes sobre los paneles podremos determinar si nuestro relleno resistirá.

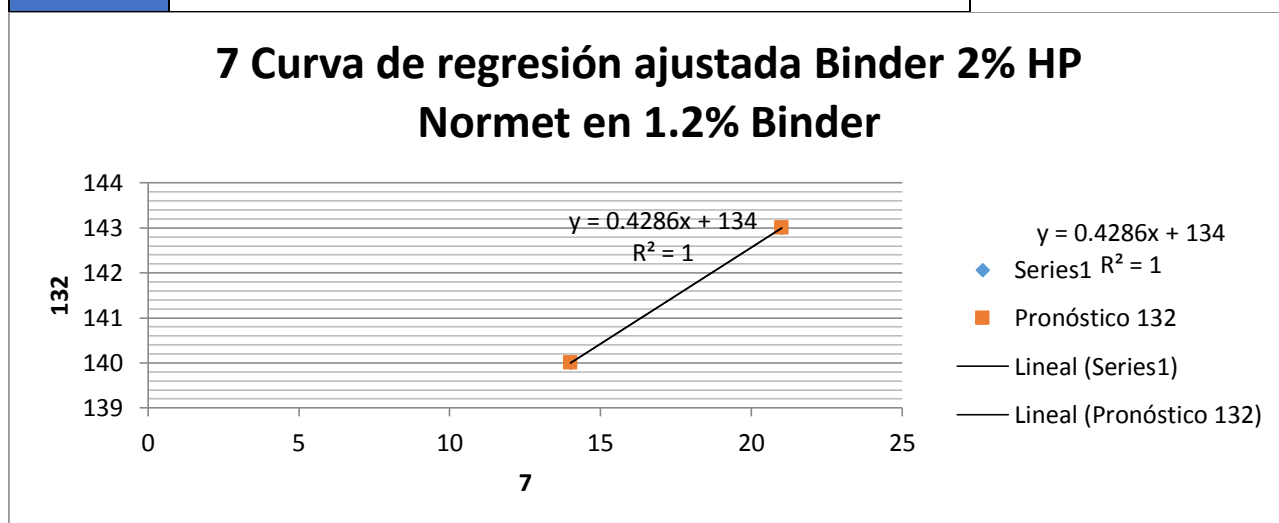
Es bien sabido que en otras minas los esfuerzos actuantes sobre los paneles generalmente llegan a 600 kPa, en nuestro caso y con el estudio de esfuerzos podemos determinar los esfuerzos actuantes sobre los paneles.

En los siguientes cuadros se tiene los U.C.S. para los diferentes rellenos con acelerantes:

Cuadro N° 38 U.C.S. Fraguado Relleno con Acelerante HP Normet en 1.2% Binder para Binder 2%

Días curado	UCS Kpa	Días curado	UCS Kpa	Días curado	UCS Kpa	Días curado	UCS Kpa
7.00	132.00	301.00	263.01	581.00	383.02	875.00	509.03
14.00	140.00	308.00	266.01	588.00	386.02	882.00	512.03
21.00	143.00	315.00	269.01	595.00	389.02	889.00	515.03
28.00	146.00	322.00	272.01	602.00	392.02	896.00	518.03
154.00	200.00	448.00	326.01	728.00	446.02	1022.00	572.03
154.00	200.00	441.00	323.01	735.00	449.02	1029.00	575.03
287.00	257.01	574.00	380.02	868.00	506.02	1162.00	632.03
294.00	260.01	581.00	383.02	875.00	509.03	1169.00	635.03
301.00	263.01	588.00	386.02	882.00	512.03	1176.00	638.03

	Sugerido por MINSUR cuerpos (200 a 300KPa)
	Sugerido por OSINERGMIN (630KPa)
	Sugerido por MINSUR vetas (70 a 120 KPa)

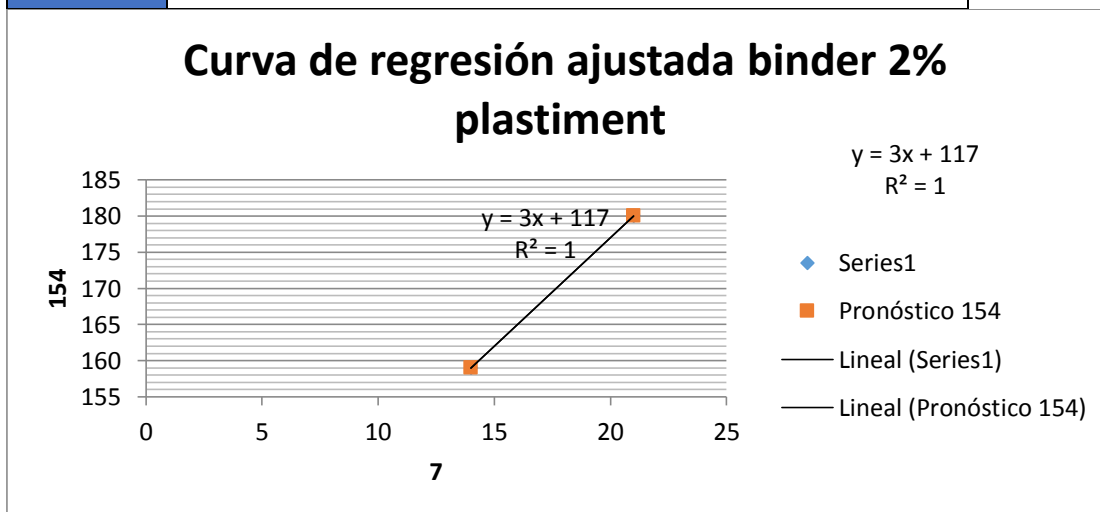


Fuente: Análisis Propio

Cuadro N° 39 U.C.S. Fraguado Relleno con Acelerante Plastiment para Binder 2%

Días curado	UCS Kpa	Días curado	UCS Kpa	Días curado	UCS Kpa
7.00	154.00	98.00	411.00	182.00	663.00
14.00	159.00	105.00	432.00	189.00	684.00
21.00	180.00	112.00	453.00	196.00	705.00
28.00	201.00	119.00	474.00	203.00	726.00
35.00	222.00	126.00	495.00	210.00	747.00
42.00	243.00	133.00	516.00	217.00	768.00
49.00	264.00	140.00	537.00	224.00	789.00
56.00	285.00	147.00	558.00	231.00	810.00
63.00	306.00	154.00	579.00	238.00	831.00
70.00	327.00	154.00	579.00	245.00	852.00
77.00	348.00	161.00	600.00	252.00	873.00
84.00	369.00	168.00	621.00	259.00	894.00
91.00	390.00	175.00	642.00	266.00	915.00

	Sugerido por MINSUR cuerpos (200 a 300KPa)
	Sugerido por OSINERGMIN (630KPa)
	Sugerido por MINSUR vetas (70 a 120 KPa)

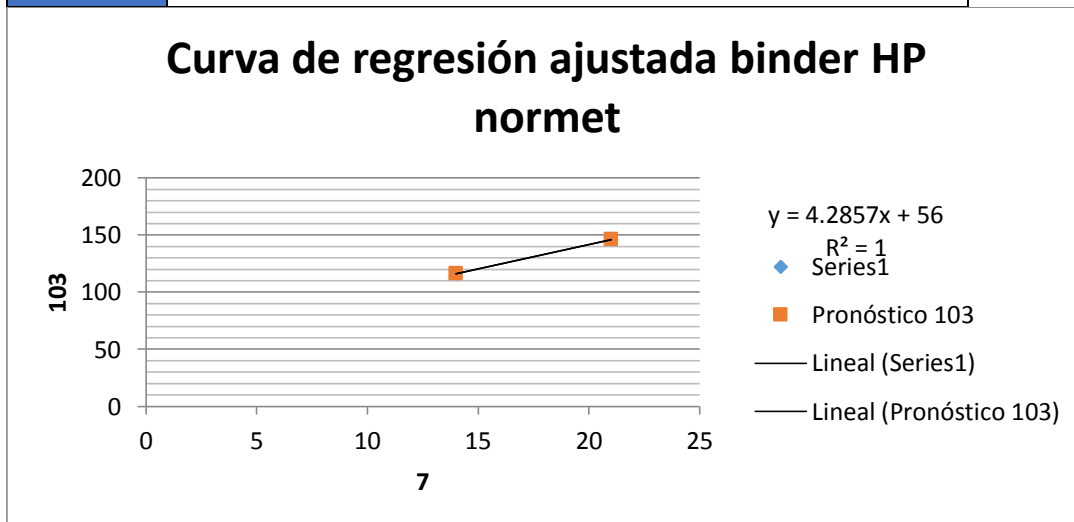


Fuente: Análisis Propio

Cuadro N° 40 U.C.S. Fraguado Relleno con Acelerante HP Normet para Binder 3%

Días curado	UCS Kpa	Días curado	UCS Kpa	Días curado	UCS Kpa
7.00	103.00	154.00	716.00	301.00	1346.00
14.00	116.00	161.00	746.00	308.00	1376.00
21.00	146.00	168.00	776.00	315.00	1406.00
28.00	176.00	175.00	806.00	322.00	1436.00
35.00	206.00	182.00	836.00	329.00	1466.00
42.00	236.00	189.00	866.00	336.00	1496.00
49.00	266.00	196.00	896.00	343.00	1526.00
56.00	296.00	203.00	926.00	350.00	1556.00
63.00	326.00	210.00	956.00	357.00	1585.99
70.00	356.00	217.00	986.00	364.00	1615.99
77.00	386.00	224.00	1016.00	371.00	1645.99
84.00	416.00	231.00	1046.00	378.00	1675.99
91.00	446.00	238.00	1076.00	385.00	1705.99

	Sugerido por MINSUR cuerpos (200 a 300KPa)
	Sugerido por OSINERGMIN (630KPa)
	Sugerido por MINSUR vetas (70 a 120 KPa)

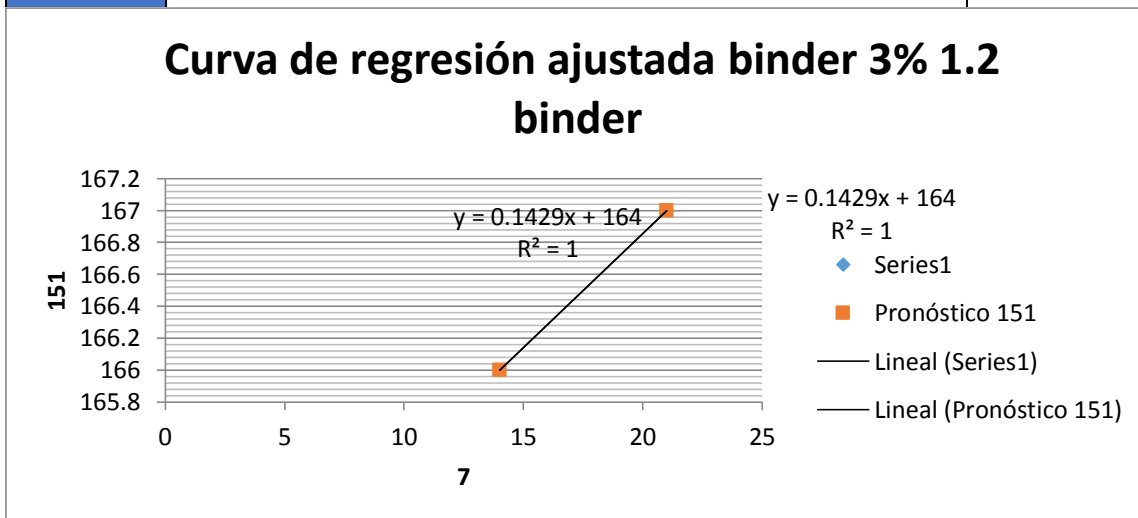


Fuente: Análisis Propio

Cuadro N° 41 U.C.S. Fraguado Relleno con Acelerante HP Normet en 1.2% Binder para Binder 3%

Días curado	UCS Kpa	Días curado	UCS Kpa	Días curado	UCS Kpa
7.00	151.00	154.00	186.01	861.00	287.04
14.00	166.00	161.00	187.01	868.00	288.04
21.00	167.00	168.00	188.01	875.00	289.04
28.00	168.00	175.00	189.01	882.00	290.04
105.00	179.00	252.00	200.01	959.00	301.04
112.00	180.00	259.00	201.01	966.00	302.04
119.00	181.01	266.00	202.01	973.00	303.04
126.00	182.01	273.00	203.01	980.00	304.04
133.00	183.01	280.00	204.01	987.00	305.04
140.00	184.01	287.00	205.01	994.00	306.04
147.00	185.01	294.00	206.01	1001.00	307.04
154.00	186.01	301.00	207.01	1008.00	308.04

	Sugerido por MINSUR cuerpos (200 a 300KPa)
	Sugerido por OSINERGMIN (630KPa)
	Sugerido por MINSUR vetas (70 a 120 KPa)

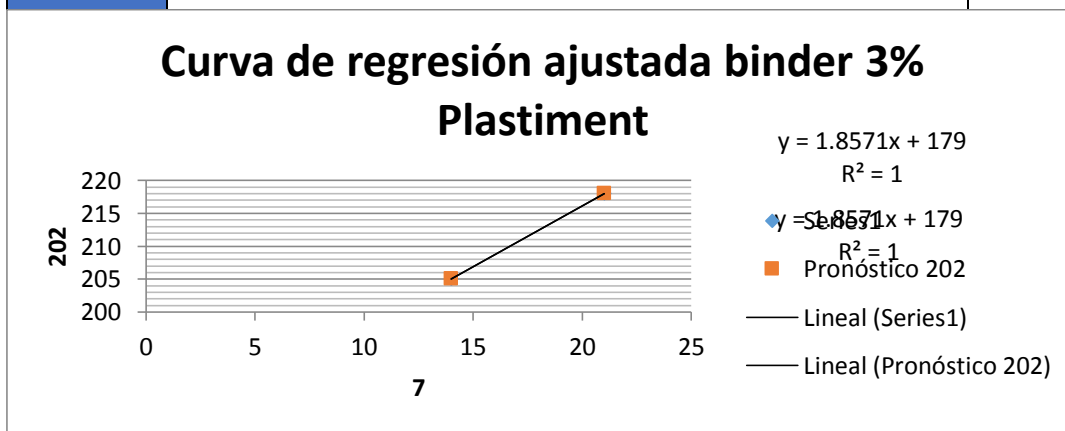


Fuente: Análisis Propio

Cuadro N° 42 U.C.S. Fraguado Relleno con Acelerante Plastiment para Binder 3%

Días curado	UCS Kpa	Días curado	UCS Kpa	Días curado	UCS Kpa
7.00	202.00	154.00	464.99	294.00	724.99
14.00	205.00	161.00	477.99	301.00	737.99
21.00	218.00	168.00	490.99	308.00	750.99
28.00	231.00	175.00	503.99	315.00	763.99
35.00	244.00	182.00	516.99	322.00	776.99
98.00	361.00	245.00	633.99	385.00	893.98
105.00	374.00	252.00	646.99	392.00	906.98
112.00	387.00	259.00	659.99	399.00	919.98
119.00	399.99	266.00	672.99	406.00	932.98
126.00	412.99	273.00	685.99	413.00	945.98
133.00	425.99	280.00	698.99	420.00	958.98
140.00	438.99	287.00	711.99	427.00	971.98
147.00	451.99	294.00	724.99	434.00	984.98
154.00	464.99	301.00	737.99	441.00	997.98

	Sugerido por MINSUR cuerpos (200 a 300KPa)
	Sugerido por OSINERGMIN (630KPa)
	Sugerido por MINSUR vetas (70 a 120 KPa)

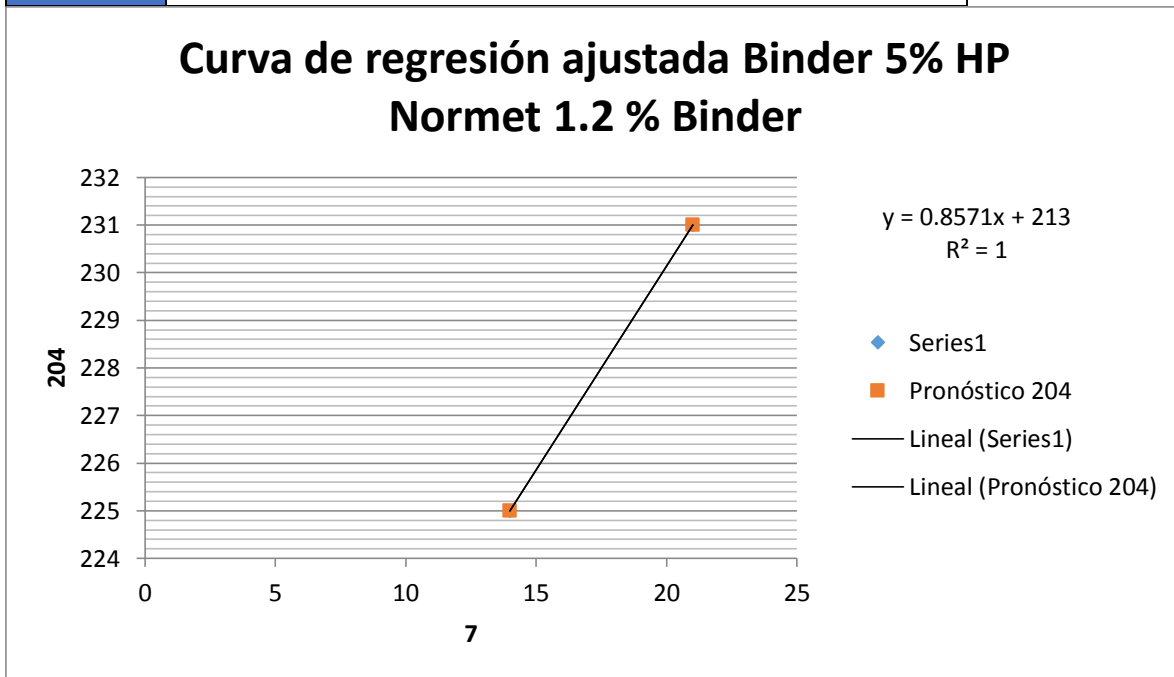


Fuente: Análisis Propio

Cuadro N° 43 U.C.S. Fraguado Relleno con Acelerante HP Normet en 1.2%Binde para Binder 5%

Días curado	UCS Kpa	Días curado	UCS Kpa	Días curado	UCS Kpa
7.00	204.00	154.00	344.99	294.00	464.99
14.00	225.00	161.00	350.99	301.00	470.99
21.00	231.00	168.00	356.99	308.00	476.99
28.00	237.00	175.00	362.99	315.00	482.99
35.00	243.00	182.00	368.99	322.00	488.99
42.00	249.00	189.00	374.99	329.00	494.99

	Sugerido por MINSUR cuerpos (200 a 300KPa)
	Sugerido por OSINERGMIN (630KPa)
	Sugerido por MINSUR vetas (70 a 120 KPa)

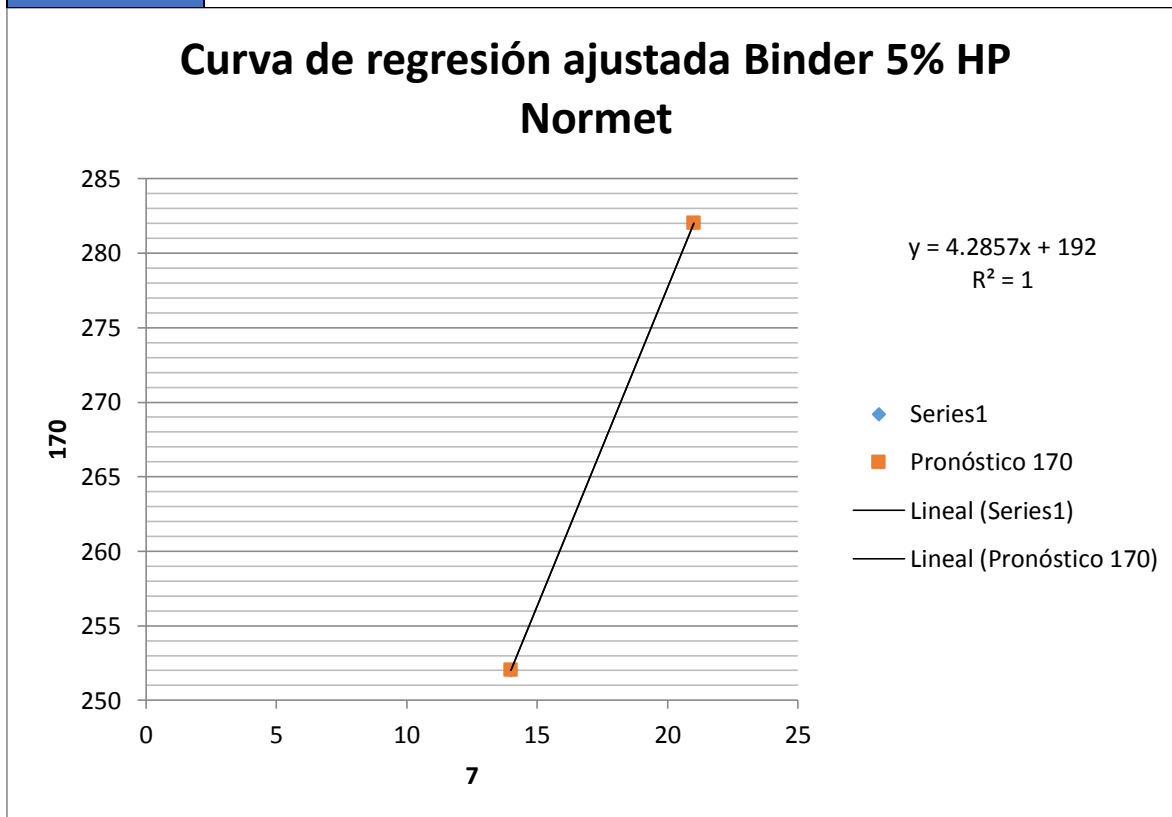


Fuente: Análisis Propio

Cuadro N° 44 U.C.S. Fraguado Relleno con Acelerante HP Normet en Binder 5%

Días curado	UCS Kpa	Días curado	UCS Kpa	Días curado	UCS Kpa
7.00	170.00	154.00	852.00	294.00	1452.00
14.00	252.00	161.00	882.00	301.00	1482.00
21.00	282.00	168.00	912.00	308.00	1512.00
28.00	312.00	175.00	942.00	315.00	1542.00
35.00	342.00	182.00	972.00	322.00	1572.00

	Sugerido por MINSUR cuerpos (200 a 300KPa)
	Sugerido por OSINERGMIN (630KPa)
	Sugerido por MINSUR vetas (70 a 120 KPa)



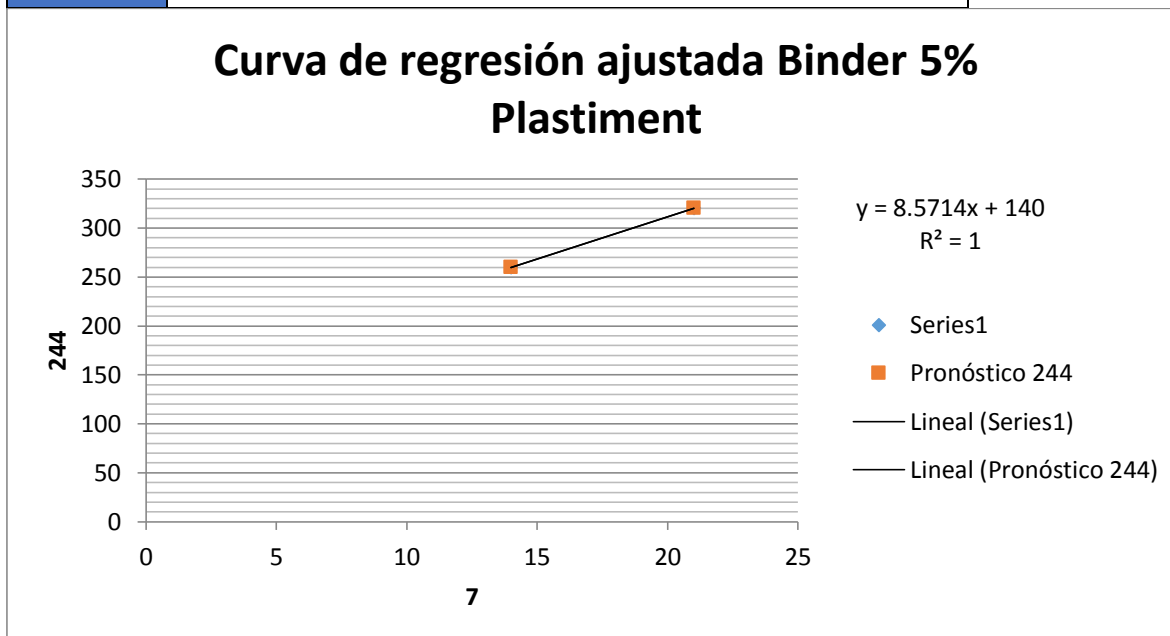
Fuente: Análisis Propio



Cuadro N° 45 U.C.S. Fraguado Relleno con Acelerante Plastiment en Binder 5%

Días curado	UCS Kpa	Días curado	UCS Kpa	Días curado	UCS Kpa
7.00	244.00	154.00	1460.00	294.00	2659.99
14.00	260.00	161.00	1520.00	301.00	2719.99
63.00	680.00	210.00	1939.99	350.00	3139.99
70.00	740.00	217.00	1999.99	357.00	3199.99
77.00	800.00	224.00	2059.99	364.00	3259.99
84.00	860.00	231.00	2119.99	371.00	3319.99
91.00	920.00	238.00	2179.99	378.00	3379.99

	Sugerido por MINSUR cuerpos (200 a 300KPa)
	Sugerido por OSINERGMIN (630KPa)
	Sugerido por MINSUR vetas (70 a 120 KPa)

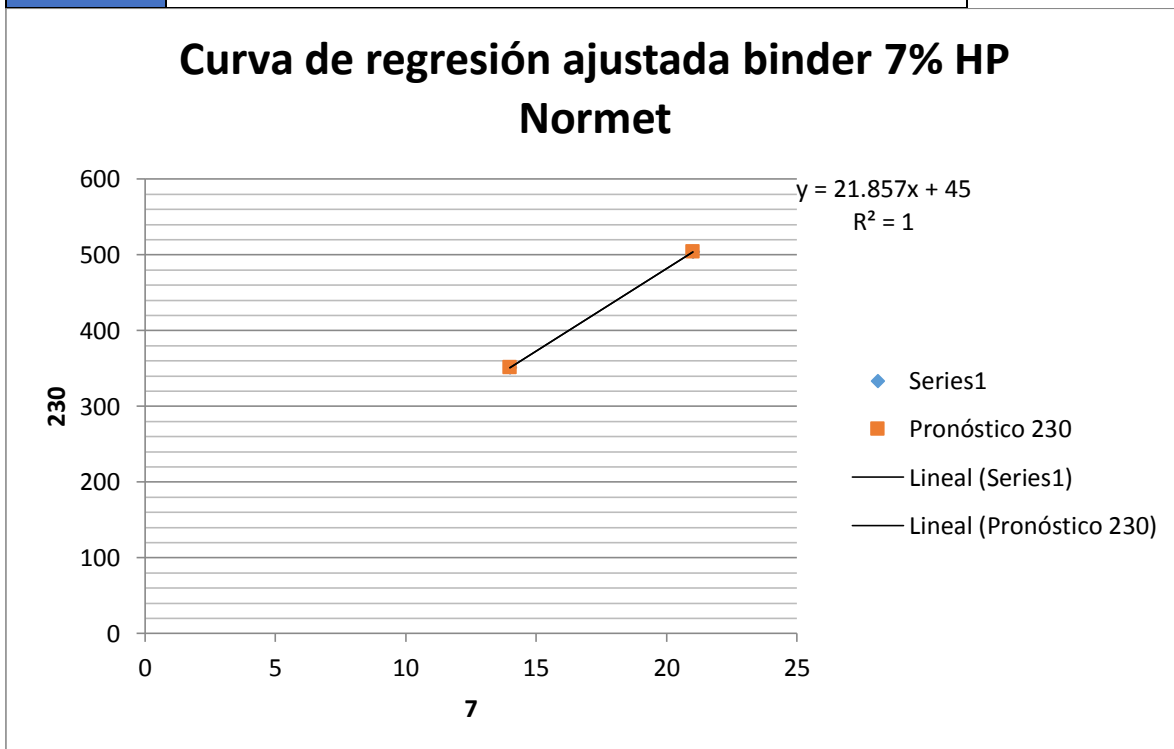


Fuente: Análisis Propio

Cuadro N° 46 U.C.S. Fraguado Relleno con Acelerante HP Normet en Binder 7%

Días curado	UCS Kpa	Días curado	UCS Kpa	Días curado	UCS Kpa
7.00	230.00	154.00	3410.98	294.00	6470.96
14.00	351.00	161.00	3563.98	301.00	6623.96
21.00	504.00	168.00	3716.98	308.00	6776.96
28.00	657.00	175.00	3869.98	315.00	6929.96
35.00	810.00	182.00	4022.97	322.00	7082.95

	Sugerido por MINSUR cuerpos (200 a 300KPa)
	Sugerido por OSINERGMIN (630KPa)
	Sugerido por MINSUR vetas (70 a 120 KPa)

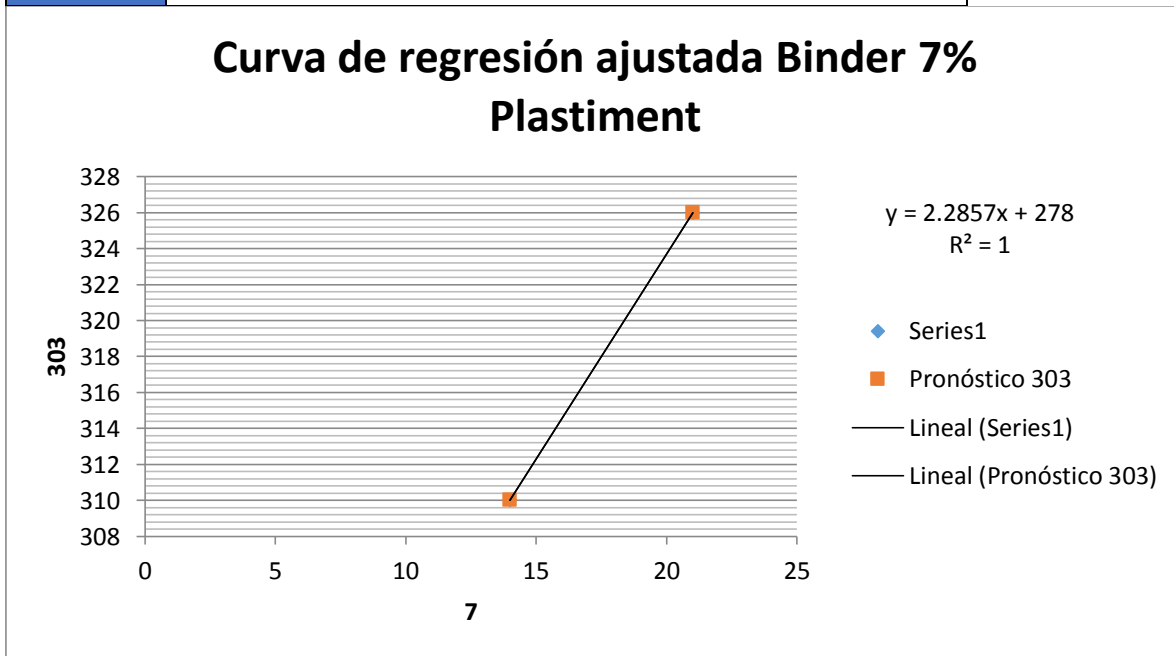


Fuente: Análisis Propio

Cuadro N° 47 U.C.S. Fraguado Relleno con Acelerante Plastiment en Binder 7%

Días curado	UCS Kpa	Días curado	UCS Kpa	Días curado	UCS Kpa
7.00	303.00	154.00	630.00	294.00	950.00
14.00	310.00	161.00	646.00	301.00	966.00
21.00	326.00	168.00	662.00	308.00	982.00
28.00	342.00	175.00	678.00	315.00	998.00
35.00	358.00	182.00	694.00	322.00	1014.00
42.00	374.00	189.00	710.00	329.00	1030.00
49.00	390.00	196.00	726.00	336.00	1046.00
56.00	406.00	203.00	742.00	343.00	1062.00

	Sugerido por MINSUR cuerpos (200 a 300KPa)
	Sugerido por OSINERGMIN (630KPa)
	Sugerido por MINSUR vetas (70 a 120 KPa)

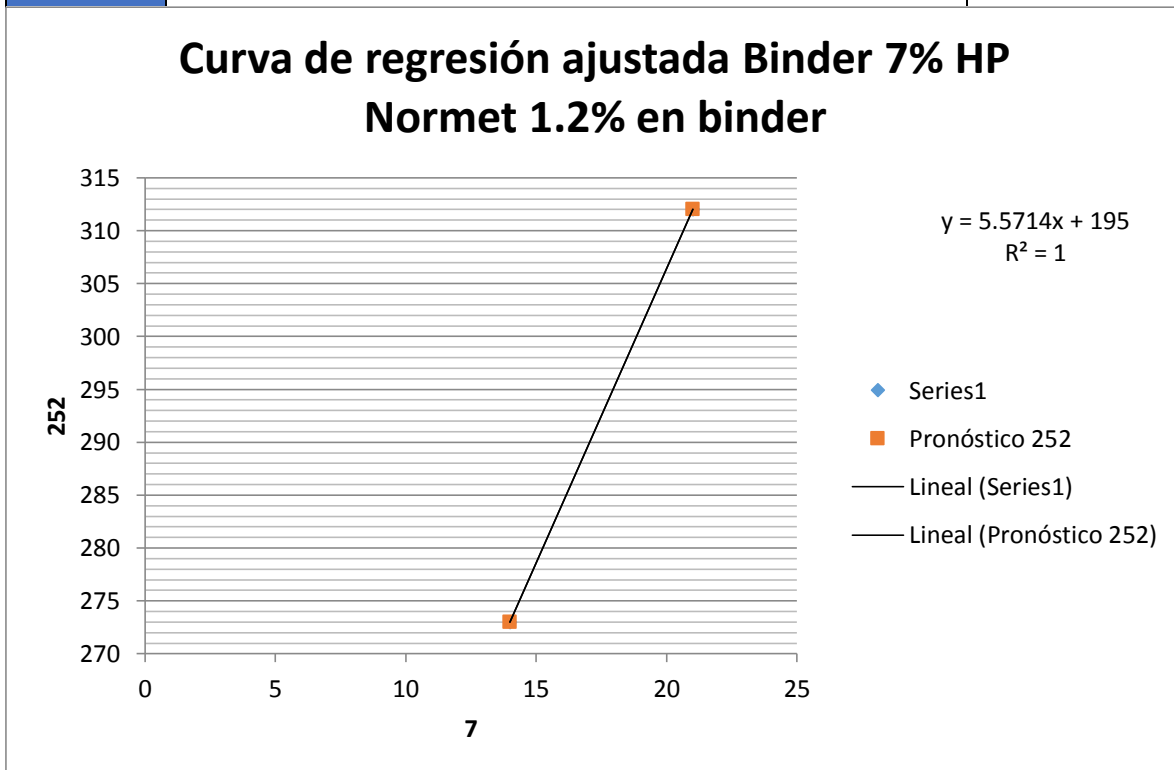


Fuente: Análisis Propio

Cuadro N° 48 U.C.S. Fraguado Relleno con Acelerante HP Normet en Binder 1.2% para Binder 7%

Días curado	UCS Kpa	Días curado	UCS Kpa	Días curado	UCS Kpa
7.00	252.00	154.00	1053.00	294.00	1832.99
14.00	273.00	161.00	1092.00	301.00	1871.99
21.00	312.00	168.00	1131.00	308.00	1910.99
28.00	351.00	175.00	1170.00	315.00	1949.99

	Sugerido por MINSUR cuerpos (200 a 300KPa)
	Sugerido por OSINERGMIN (630KPa)
	Sugerido por MINSUR vetas (70 a 120 KPa)



Fuente: Análisis Propio

### **5.3.- EJECUCIÓN DE PRUEBAS EN CAMPO AL OPTIMIZAR EL CICLO DE MINADO CON REDUCCIÓN DE TIEMPO DE FRAGUADO**

#### **5.3.1.- PRUEBA EN TAJO KIMBERLY**

En el tajeo Kimberly se ha realizado la explotación en cuerpos con un total de 10 paneles, se ha realizado las evaluaciones para determinar estabilidad en los diferentes paneles. En la siguiente fotografía se muestra el proceso de carguio de paneles en Tajeo Kimberly.

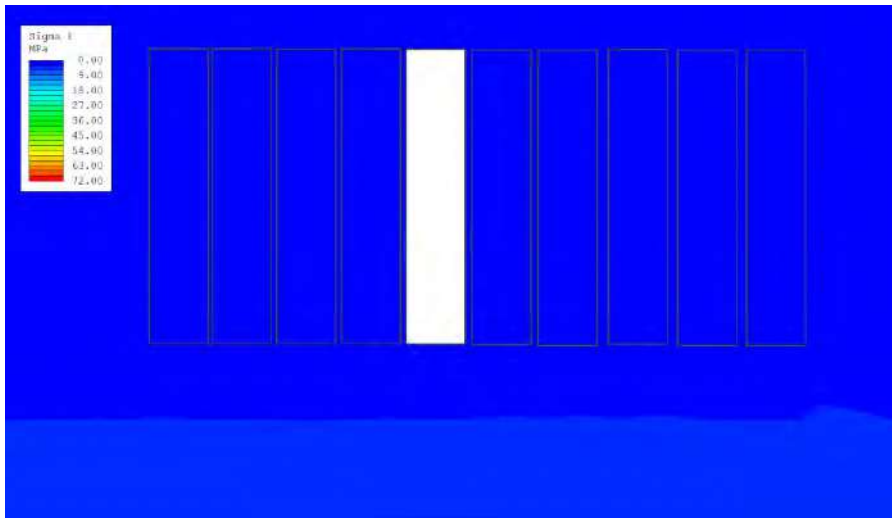


*Fotografía N° 9 Carguío de Explosivos en Tajeo Kimberly*

*Fuente: San Rafael MINSUR*

En el siguiente grafico se muestra el modelamiento en Phase de Tajeo Kimberly con cascaron sin rellenar, se observa que la estabilidad es estable.

*Figura N° 31 Modelamiento estabilidad Tajeo Kimberly con un panel explotado*



*Fuente: San Rafael MINSUR*

En la siguiente fotografía se muestra el cascaron antes de ser rellenado, luego de realizar los diferentes procesos de Perforación y Voladura y Acarreo.



*Fotografía N° 10 Tajo Kimberly antes de rellenado*

*Fuente: San Rafael MINSUR*

En la siguiente fotografía se tiene el modelamiento en Phase 2 del Tajeo Kimberly ya rellenado, se observa que la estabilidad es buena.

*Figura N° 32 Modelamiento estabilidad Tajeo Kimberly con paneles rellenados*



*Fuente: San Rafael MINSUR*

### **5.3.2.- PRUEBA EN TAJO ELIANA**

En el tajeo Eliana la explotación se desarrolla en vetas, con un total de 15 paneles, los paneles son en promedio de ancho de 2 metros, así como se muestra en la fotografía, el tajeo Eliana debe alcanzar un total de 70KPa para poder empezar a trabajar paneles adyacentes.

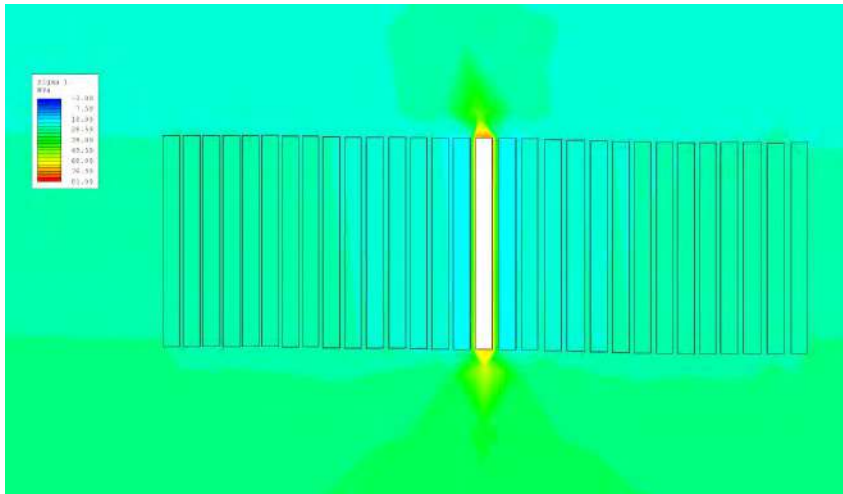


*Fotografía N° 11 Caserones en Veta en Tajeo Eliana*

*Fuente: San Rafael MINSUR*

En la siguiente figura se muestra el modelamiento del Tajeo Eliana con 1 cascaron sin relleno, se observa que el relleno debe ser inmediato ya que se están generando curvas de esfuerzos lo que genera inestabilidad en la mina.

*Figura N° 33 Modelamiento estabilidad Tajeo Eliana con un panel explotado*



*Fuente: San Rafael MINSUR*

La siguiente fotografía muestra la distribución de tuberías para el relleno en vetas en mina San Rafael



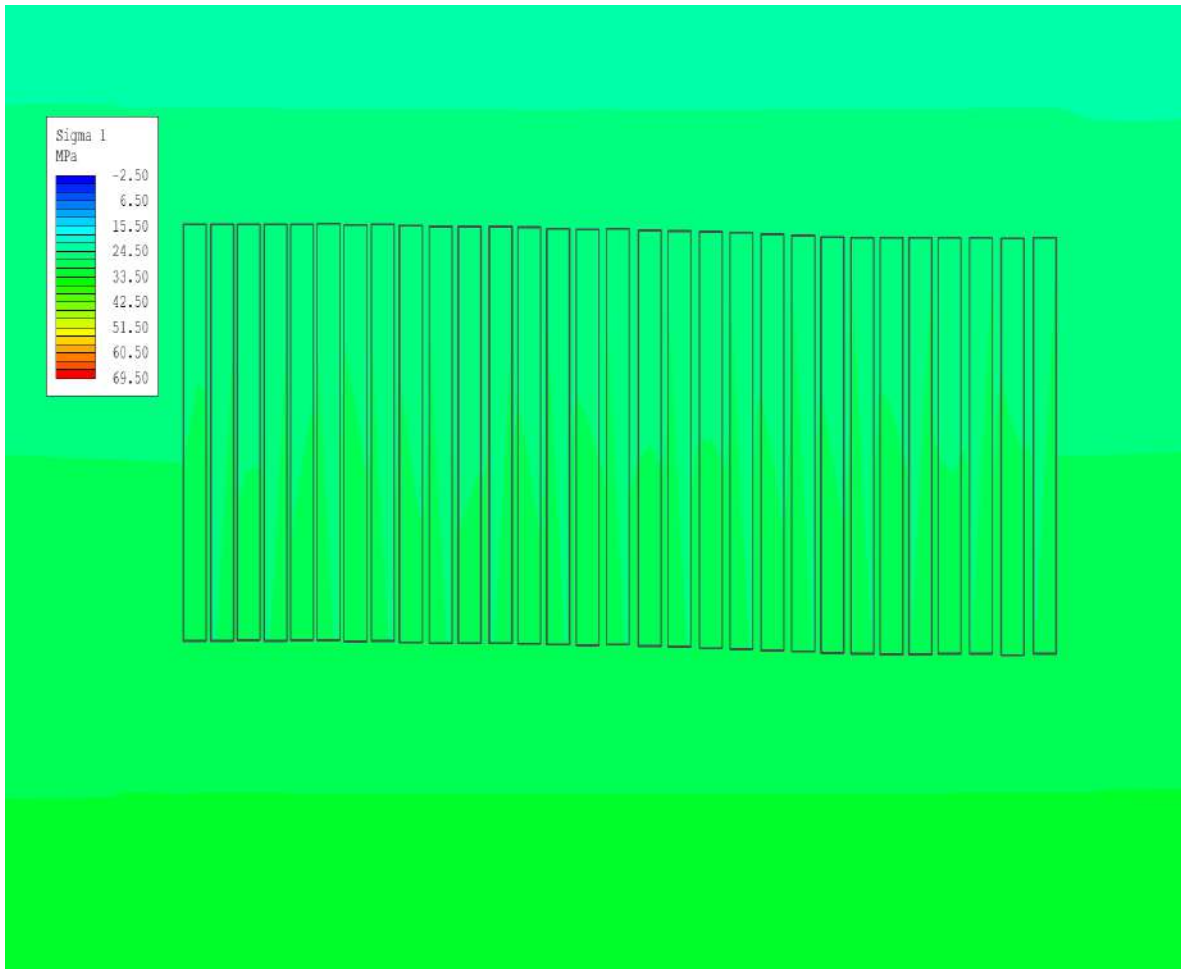
*Fotografía N° 12 Tubería para Instalación de relleno en Veta Eliana*



*Fuente: San Rafael MINSUR*

La siguiente figura muestra el modelamiento del tajeo Eliana con relleno, se observa que tiene una estabilidad buena y no genera curvas de esfuerzos.

*Figura N° 34 Modelamiento estabilidad Tajeo Eliana con un panel rellenados*



*Fuente: San Rafael MINSUR*

#### **5.4.- RESUMEN DE OPTIMIZACION DEL CICLO DEL MINADO CON LOS NUEVOS TIEMPOS DE FRAGUADO Y COSTO DE FRAGUADO**

En los siguiente cuadros se muestra los nuevos tiempos del ciclo de minado al utilizar acelerantes en tajeos en Cuerpos donde se debe alcanzar una resistencia de 200KPa.

Cuadro N° 49 Tiempo de Ciclo de Minado en Relleno con Acelerantes HP Normet para Binder 2% - Cuerpos

Panel	Secuencia	P y V	Acar.	Rell.	Fraguado (Binder 2%) - 200KPa (día)	T. Explo. (día)
001 - C	3	4	4	4	154	24
002 - C	5	4	4	4	154	178
003 - C	2	4	4	4	154	12
004 - C	4	4	4	4	154	166
005 - C	1	4	4	4	154	Inmediato
006 - C	4	4	4	4	154	166
007 - C	2	4	4	4	154	12
008 - C	5	4	4	4	154	178
009 - C	3	4	4	4	154	24
0010 - C	6	4	4	4	154	178
TOTAL						178

Fuente: Análisis Propio

Cuadro N° 50 Tiempo de Ciclo de Minado en Relleno con Acelerantes Plastiment para Binder 2% - Cuerpos

Panel	Secuencia	P y V	Acar.	Rell.	Fraguado (Binder 2%) - 200KPa (día)	T. Explo. (día)
001 - C	3	4	4	4	28	24
002 - C	5	4	4	4	28	52
003 - C	2	4	4	4	28	12
004 - C	4	4	4	4	28	40
005 - C	1	4	4	4	28	Inmediato
006 - C	4	4	4	4	28	40
007 - C	2	4	4	4	28	12
008 - C	5	4	4	4	28	52
009 - C	3	4	4	4	28	24
0010 - C	6	4	4	4	28	52
TOTAL						52

Fuente: Análisis Propio

Cuadro N° 51 Tiempo de Ciclo de Minado en Relleno con Acelerantes HP Normet para Binder 3% - Cuerpos

Panel	Secuencia	P y V	Acar.	Rell.	Fraguado (Binder 2%) - 200KPa (día)	T. Explo. (día)
001 - C	3	4	4	4	34	24
002 - C	5	4	4	4	34	58
003 - C	2	4	4	4	34	12
004 - C	4	4	4	4	34	46
005 - C	1	4	4	4	34	Inmediato
006 - C	4	4	4	4	34	46
007 - C	2	4	4	4	34	12
008 - C	5	4	4	4	34	58
009 - C	3	4	4	4	34	24
0010 - C	6	4	4	4	34	58
TOTAL						58

Fuente: Análisis Propio

Cuadro N° 52 Tiempo de Ciclo de Minado en Relleno con Acelerantes HP Normet en Binder 1.2% para Binder 3% - Cuerpos

Panel	Secuencia	P y V	Acar.	Rell.	Fraguado (Binder 3%) - 200KPa (día)	T. Explo. (día)
001 - C	3	4	4	4	252	24
002 - C	5	4	4	4	252	276
003 - C	2	4	4	4	252	12
004 - C	4	4	4	4	252	264
005 - C	1	4	4	4	252	Inmediato
006 - C	4	4	4	4	252	264
007 - C	2	4	4	4	252	12
008 - C	5	4	4	4	252	276
009 - C	3	4	4	4	252	24
0010 - C	6	4	4	4	252	276
TOTAL						276

Fuente: Análisis Propio

Cuadro N° 53 Tiempo de Ciclo de Minado en Relleno con Acelerantes Plastiment para Binder 3% - Cuerpos

Panel	Secuencia	P y V	Acar.	Rell.	Fraguado (Binder 2%) - 200KPa (día)	T. Explo. (día)
001 - C	3	4	4	4	12	24
002 - C	5	4	4	4	12	36
003 - C	2	4	4	4	12	12
004 - C	4	4	4	4	12	24
005 - C	1	4	4	4	12	Inmediato
006 - C	4	4	4	4	12	24
007 - C	2	4	4	4	12	12
008 - C	5	4	4	4	12	36
009 - C	3	4	4	4	12	24
0010 - C	6	4	4	4	12	36
TOTAL						36

Fuente: Análisis Propio

Cuadro N° 54 Tiempo de Ciclo de Minado en Relleno con Acelerantes HP Normet para Binder 5% - Cuerpos

Panel	Secuencia	P%V	Acar.	Rell.	Fraguado (Binder 2%) - 200KPa (día)	T. Explo. (día)
001 - C	3	4	4	4	9	24
002 - C	5	4	4	4	9	33
003 - C	2	4	4	4	9	12
004 - C	4	4	4	4	9	21
005 - C	1	4	4	4	9	Inmediato
006 - C	4	4	4	4	9	21
007 - C	2	4	4	4	9	12
008 - C	5	4	4	4	9	33
009 - C	3	4	4	4	9	24
0010 - C	6	4	4	4	9	33
TOTAL						33

Fuente: Análisis Propio

Cuadro N° 55 Tiempo de Ciclo de Minado en Relleno con Acelerantes HP Normet en Binder 1.2% para Binder 5% - Cuerpos

Panel	Secuencia	P y V	Acar.	Rell.	Fraguado (Binder 3%) - 200KPa (día)	T. Explo. (día)
001 - C	3	4	4	4	7	24
002 - C	5	4	4	4	7	31
003 - C	2	4	4	4	7	12
004 - C	4	4	4	4	7	19
005 - C	1	4	4	4	7	Inmediato
006 - C	4	4	4	4	7	19
007 - C	2	4	4	4	7	12
008 - C	5	4	4	4	7	31
009 - C	3	4	4	4	7	24
0010 - C	6	4	4	4	7	31
TOTAL						31

Fuente: Análisis Propio

Cuadro N° 56 Tiempo de Ciclo de Minado en Relleno con Acelerantes Plastiment para Binder 5% - Cuerpos

Panel	Secuencia	P y V	Acar.	Rell.	Fraguado (Binder 2%) - 200KPa (día)	T. Explo. (día)
001 - C	3	4	4	4	6	24
002 - C	5	4	4	4	6	30
003 - C	2	4	4	4	6	12
004 - C	4	4	4	4	6	18
005 - C	1	4	4	4	6	Inmediato
006 - C	4	4	4	4	6	18
007 - C	2	4	4	4	6	12
008 - C	5	4	4	4	6	30
009 - C	3	4	4	4	6	24
0010 - C	6	4	4	4	6	30
TOTAL						30

Fuente: Análisis Propio

Cuadro N° 57 Tiempo de Ciclo de Minado en Relleno con Acelerantes HP Normet para Binder 7% - Cuerpos

Panel	Secuencia	PyV	Acar.	Rell.	Fraguado (Binder 2%) - 200KPa (día)	T. Expl. (día)
001 - C	3	4	4	4	6	24
002 - C	5	4	4	4	6	30
003 - C	2	4	4	4	6	12
004 - C	4	4	4	4	6	18
005 - C	1	4	4	4	6	Inmediato
006 - C	4	4	4	4	6	18
007 - C	2	4	4	4	6	12
008 - C	5	4	4	4	6	30
009 - C	3	4	4	4	6	24
0010 - C	6	4	4	4	6	30
TOTAL						30

Fuente: Análisis Propio

Cuadro N° 58 Tiempo de Ciclo de Minado en Relleno con Acelerantes HP Normet en Binder 1.2% para Binder 7% - Cuerpos

Panel	Secuencia	P y V	Acar.	Rell.	Fraguado (Binder 3%) - 200KPa (día)	T. Expl. (día)
001 - C	3	4	4	4	6	24
002 - C	5	4	4	4	6	30
003 - C	2	4	4	4	6	12
004 - C	4	4	4	4	6	18
005 - C	1	4	4	4	6	Inmediato
006 - C	4	4	4	4	6	18
007 - C	2	4	4	4	6	12
008 - C	5	4	4	4	6	30
009 - C	3	4	4	4	6	24
0010 - C	6	4	4	4	6	30
TOTAL						30

Fuente: Análisis Propio

Cuadro N° 59 Tiempo de Ciclo de Minado en Relleno con Acelerantes Plastiment para Binder 7% - Cuerpos

Panel	Secuencia	P y V	Acar.	Rell.	Fraguado (Binder 2%) - 200KPa (día)	T. Explo. (día)
001 - C	3	4	4	4	5	24
002 - C	5	4	4	4	5	29
003 - C	2	4	4	4	5	12
004 - C	4	4	4	4	5	17
005 - C	1	4	4	4	5	Inmediato
006 - C	4	4	4	4	5	17
007 - C	2	4	4	4	5	12
008 - C	5	4	4	4	5	29
009 - C	3	4	4	4	5	24
0010 - C	6	4	4	4	5	29
TOTAL						29

*Fuente: Análisis Propio*

En los siguiente cuadros se muestra los nuevos tiempos del ciclo de minado al utilizar acelerantes en tajeos en Vetass donde se debe alcanzar una resistencia de 70KPa.

Cuadro N° 60 Tiempo de Ciclo de Minado en Relleno con Acelerantes HP Normet para Binder 2% - Vetas

Panel	Secuencia	P y V	Acar.	Rell.	Fraguado (Binder 3%) - 70KPa (día)	T. Explo. (día)
001 - V	8	2	2	2	4	42
002 - V	15	2	2	2	4	46
003 - V	7	2	2	2	4	36
004 - V	14	2	2	2	4	40
005 - V	6	2	2	2	4	30
006 - V	13	2	2	2	4	34
007 - V	5	2	2	2	4	24
008 - V	12	2	2	2	4	28
009 - V	4	2	2	2	4	18
010 - V	11	2	2	2	4	22
011 - V	3	2	2	2	4	12
012 - V	10	2	2	2	4	16
013 - V	2	2	2	2	4	6
014 - V	9	2	2	2	4	10
015 - V	1	2	2	2	4	Inmediato
016 - V	9	2	2	2	4	10
017 - V	2	2	2	2	4	6
018 - V	10	2	2	2	4	16
019 - V	3	2	2	2	4	12
020 - V	11	2	2	2	4	22
021 - V	4	2	2	2	4	18
022 - V	12	2	2	2	4	28
023 - V	5	2	2	2	4	24
024 - V	13	2	2	2	4	34
025 - V	6	2	2	2	4	30
026 - V	14	2	2	2	4	40
027 - V	7	2	2	2	4	36
028 - V	15	2	2	2	4	46
029 - V	8	2	2	2	4	42
030 - V	16	2	2	2	4	46
TOTAL						46

Fuente: Análisis Propio



Cuadro N° 61 Tiempo de Ciclo de Minado en Relleno con Acelerantes Plastiment para Binder 3% - Vetas

Panel	Secuencia	P y V	Acar.	Rell.	Fraguado (Binder 3%) - 70KPa (día)	T. Explo. (día)
001 - V	8	2	2	2	4	42
002 - V	15	2	2	2	4	46
003 - V	7	2	2	2	4	36
004 - V	14	2	2	2	4	40
005 - V	6	2	2	2	4	30
006 - V	13	2	2	2	4	34
007 - V	5	2	2	2	4	24
008 - V	12	2	2	2	4	28
009 - V	4	2	2	2	4	18
010 - V	11	2	2	2	4	22
011 - V	3	2	2	2	4	12
012 - V	10	2	2	2	4	16
013 - V	2	2	2	2	4	6
014 - V	9	2	2	2	4	10
015 - V	1	2	2	2	4	Inmediato
016 - V	9	2	2	2	4	10
017 - V	2	2	2	2	4	6
018 - V	10	2	2	2	4	16
019 - V	3	2	2	2	4	12
020 - V	11	2	2	2	4	22
021 - V	4	2	2	2	4	18
022 - V	12	2	2	2	4	28
023 - V	5	2	2	2	4	24
024 - V	13	2	2	2	4	34
025 - V	6	2	2	2	4	30
026 - V	14	2	2	2	4	40
027 - V	7	2	2	2	4	36
028 - V	15	2	2	2	4	46
029 - V	8	2	2	2	4	42
030 - V	16	2	2	2	4	46
TOTAL						46

Fuente: Análisis Propio

Cuadro N° 62 Tiempo de Ciclo de Minado en Relleno con Acelerantes HP Normet para Binder 3% - Vetas

Panel	Secuencia	P y V	Acar.	Rell.	Fraguado (Binder 3%) - 70KPa (día)	T. Explo. (día)
001 - V	8	2	2	2	5	42
002 - V	15	2	2	2	5	47
003 - V	7	2	2	2	5	36
004 - V	14	2	2	2	5	41
005 - V	6	2	2	2	5	30
006 - V	13	2	2	2	5	35
007 - V	5	2	2	2	5	24
008 - V	12	2	2	2	5	29
009 - V	4	2	2	2	5	18
010 - V	11	2	2	2	5	23
011 - V	3	2	2	2	5	12
012 - V	10	2	2	2	5	17
013 - V	2	2	2	2	5	6
014 - V	9	2	2	2	5	11
015 - V	1	2	2	2	5	Inmediato
016 - V	9	2	2	2	5	11
017 - V	2	2	2	2	5	6
018 - V	10	2	2	2	5	17
019 - V	3	2	2	2	5	12
020 - V	11	2	2	2	5	23
021 - V	4	2	2	2	5	18
022 - V	12	2	2	2	5	29
023 - V	5	2	2	2	5	24
024 - V	13	2	2	2	5	35
025 - V	6	2	2	2	5	30
026 - V	14	2	2	2	5	41
027 - V	7	2	2	2	5	36
028 - V	15	2	2	2	5	47
029 - V	8	2	2	2	5	42
030 - V	16	2	2	2	5	47
TOTAL						47

Fuente: Análisis Propio

Cuadro N° 63 Tiempo de Ciclo de Minado en Relleno con Acelerantes HP Normet en 1.2% en Binder para Binder 3% - Vetas

Panel	Secuencia	P y V	Acar.	Rell.	Fraguado (Binder 3%) - 70KPa (día)	T. Explo. (día)
001 - V	8	2	2	2	4	42
002 - V	15	2	2	2	4	46
003 - V	7	2	2	2	4	36
004 - V	14	2	2	2	4	40
005 - V	6	2	2	2	4	30
006 - V	13	2	2	2	4	34
007 - V	5	2	2	2	4	24
008 - V	12	2	2	2	4	28
009 - V	4	2	2	2	4	18
010 - V	11	2	2	2	4	22
011 - V	3	2	2	2	4	12
012 - V	10	2	2	2	4	16
013 - V	2	2	2	2	4	6
014 - V	9	2	2	2	4	10
015 - V	1	2	2	2	4	Inmediato
016 - V	9	2	2	2	4	10
017 - V	2	2	2	2	4	6
018 - V	10	2	2	2	4	16
019 - V	3	2	2	2	4	12
020 - V	11	2	2	2	4	22
021 - V	4	2	2	2	4	18
022 - V	12	2	2	2	4	28
023 - V	5	2	2	2	4	24
024 - V	13	2	2	2	4	34
025 - V	6	2	2	2	4	30
026 - V	14	2	2	2	4	40
027 - V	7	2	2	2	4	36
028 - V	15	2	2	2	4	46
029 - V	8	2	2	2	4	42
030 - V	16	2	2	2	4	46
TOTAL						46

Fuente: Análisis Propio

Cuadro N° 64 Tiempo de Ciclo de Minado en Relleno con Acelerantes Plastiment para Binder 3% - Vetas

Panel	Secuencia	P y V	Acar.	Rell.	Fraguado (Binder 3%) - 70KPa (día)	T. Explo. (día)
001 - V	8	2	2	2	3	42
002 - V	15	2	2	2	3	45
003 - V	7	2	2	2	3	36
004 - V	14	2	2	2	3	39
005 - V	6	2	2	2	3	30
006 - V	13	2	2	2	3	33
007 - V	5	2	2	2	3	24
008 - V	12	2	2	2	3	27
009 - V	4	2	2	2	3	18
010 - V	11	2	2	2	3	21
011 - V	3	2	2	2	3	12
012 - V	10	2	2	2	3	15
013 - V	2	2	2	2	3	6
014 - V	9	2	2	2	3	9
015 - V	1	2	2	2	3	Inmediato
016 - V	9	2	2	2	3	9
017 - V	2	2	2	2	3	6
018 - V	10	2	2	2	3	15
019 - V	3	2	2	2	3	12
020 - V	11	2	2	2	3	21
021 - V	4	2	2	2	3	18
022 - V	12	2	2	2	3	27
023 - V	5	2	2	2	3	24
024 - V	13	2	2	2	3	33
025 - V	6	2	2	2	3	30
026 - V	14	2	2	2	3	39
027 - V	7	2	2	2	3	36
028 - V	15	2	2	2	3	45
029 - V	8	2	2	2	3	42
030 - V	16	2	2	2	3	45
TOTAL						45

Fuente: Análisis Propio

Cuadro N° 65 Tiempo de Ciclo de Minado en Relleno con Acelerantes HP Normet para Binder 5% - Vetas

Panel	Secuencia	P y V	Acar.	Rell.	Fraguado (Binder 3%) - 70KPa (día)	T. Explo. (día)
001 - V	8	2	2	2	3	42
002 - V	15	2	2	2	3	45
003 - V	7	2	2	2	3	36
004 - V	14	2	2	2	3	39
005 - V	6	2	2	2	3	30
006 - V	13	2	2	2	3	33
007 - V	5	2	2	2	3	24
008 - V	12	2	2	2	3	27
009 - V	4	2	2	2	3	18
010 - V	11	2	2	2	3	21
011 - V	3	2	2	2	3	12
012 - V	10	2	2	2	3	15
013 - V	2	2	2	2	3	6
014 - V	9	2	2	2	3	9
015 - V	1	2	2	2	3	Inmediato
016 - V	9	2	2	2	3	9
017 - V	2	2	2	2	3	6
018 - V	10	2	2	2	3	15
019 - V	3	2	2	2	3	12
020 - V	11	2	2	2	3	21
021 - V	4	2	2	2	3	18
022 - V	12	2	2	2	3	27
023 - V	5	2	2	2	3	24
024 - V	13	2	2	2	3	33
025 - V	6	2	2	2	3	30
026 - V	14	2	2	2	3	39
027 - V	7	2	2	2	3	36
028 - V	15	2	2	2	3	45
029 - V	8	2	2	2	3	42
030 - V	16	2	2	2	3	45
TOTAL						45

Fuente: Análisis Propio

Cuadro N° 66 Tiempo de Ciclo de Minado en Relleno con Acelerantes HP Normet en 1.2% en Binder para Binder 5% - Vetas

Panel	Secuencia	P y V	Acar.	Rell.	Fraguado (Binder 3%) - 70KPa (día)	T. Explo. (día)
001 - V	8	2	2	2	3	42
002 - V	15	2	2	2	3	45
003 - V	7	2	2	2	3	36
004 - V	14	2	2	2	3	39
005 - V	6	2	2	2	3	30
006 - V	13	2	2	2	3	33
007 - V	5	2	2	2	3	24
008 - V	12	2	2	2	3	27
009 - V	4	2	2	2	3	18
010 - V	11	2	2	2	3	21
011 - V	3	2	2	2	3	12
012 - V	10	2	2	2	3	15
013 - V	2	2	2	2	3	6
014 - V	9	2	2	2	3	9
015 - V	1	2	2	2	3	Inmediato
016 - V	9	2	2	2	3	9
017 - V	2	2	2	2	3	6
018 - V	10	2	2	2	3	15
019 - V	3	2	2	2	3	12
020 - V	11	2	2	2	3	21
021 - V	4	2	2	2	3	18
022 - V	12	2	2	2	3	27
023 - V	5	2	2	2	3	24
024 - V	13	2	2	2	3	33
025 - V	6	2	2	2	3	30
026 - V	14	2	2	2	3	39
027 - V	7	2	2	2	3	36
028 - V	15	2	2	2	3	45
029 - V	8	2	2	2	3	42
030 - V	16	2	2	2	3	45
TOTAL						45

Fuente: Análisis Propio

Cuadro N° 67 Tiempo de Ciclo de Minado en Relleno con Acelerantes Plastiment para Binder 3% - Vetas

Panel	Secuencia	P y V	Acar.	Rell.	Fraguado (Binder 3%) - 70KPa (día)	T. Explo. (día)
001 - V	8	2	2	2	2	42
002 - V	15	2	2	2	2	44
003 - V	7	2	2	2	2	36
004 - V	14	2	2	2	2	38
005 - V	6	2	2	2	2	30
006 - V	13	2	2	2	2	32
007 - V	5	2	2	2	2	24
008 - V	12	2	2	2	2	26
009 - V	4	2	2	2	2	18
010 - V	11	2	2	2	2	20
011 - V	3	2	2	2	2	12
012 - V	10	2	2	2	2	14
013 - V	2	2	2	2	2	6
014 - V	9	2	2	2	2	8
015 - V	1	2	2	2	2	Inmediato
016 - V	9	2	2	2	2	8
017 - V	2	2	2	2	2	6
018 - V	10	2	2	2	2	14
019 - V	3	2	2	2	2	12
020 - V	11	2	2	2	2	20
021 - V	4	2	2	2	2	18
022 - V	12	2	2	2	2	26
023 - V	5	2	2	2	2	24
024 - V	13	2	2	2	2	32
025 - V	6	2	2	2	2	30
026 - V	14	2	2	2	2	38
027 - V	7	2	2	2	2	36
028 - V	15	2	2	2	2	44
029 - V	8	2	2	2	2	42
030 - V	16	2	2	2	2	44
TOTAL						44

Fuente: Análisis Propio

Cuadro N° 68 Tiempo de Ciclo de Minado en Relleno con Acelerantes HP Normet para Binder 7% - Vetas

Panel	Secuencia	P y V	Acar.	Rell.	Fraguado (Binder 3%) - 70KPa (día)	T. Expl. (día)
001 - V	8	2	2	2	3	42
002 - V	15	2	2	2	3	45
003 - V	7	2	2	2	3	36
004 - V	14	2	2	2	3	39
005 - V	6	2	2	2	3	30
006 - V	13	2	2	2	3	33
007 - V	5	2	2	2	3	24
008 - V	12	2	2	2	3	27
009 - V	4	2	2	2	3	18
010 - V	11	2	2	2	3	21
011 - V	3	2	2	2	3	12
012 - V	10	2	2	2	3	15
013 - V	2	2	2	2	3	6
014 - V	9	2	2	2	3	9
015 - V	1	2	2	2	3	Inmediato
016 - V	9	2	2	2	3	9
017 - V	2	2	2	2	3	6
018 - V	10	2	2	2	3	15
019 - V	3	2	2	2	3	12
020 - V	11	2	2	2	3	21
021 - V	4	2	2	2	3	18
022 - V	12	2	2	2	3	27
023 - V	5	2	2	2	3	24
024 - V	13	2	2	2	3	33
025 - V	6	2	2	2	3	30
026 - V	14	2	2	2	3	39
027 - V	7	2	2	2	3	36
028 - V	15	2	2	2	3	45
029 - V	8	2	2	2	3	42
030 - V	16	2	2	2	3	45
TOTAL						45

Fuente: Análisis Propio



Cuadro N° 69 Tiempo de Ciclo de Minado en Relleno con Acelerantes HP Normet en 1.2% en Binder para Binder 7% - Vetas

Panel	Secuencia	P y V	Acar.	Rell.	Fraguado (Binder 3%) - 70KPa (día)	T. Explo. (día)
001 - V	8	2	2	2	2	42
002 - V	15	2	2	2	2	44
003 - V	7	2	2	2	2	36
004 - V	14	2	2	2	2	38
005 - V	6	2	2	2	2	30
006 - V	13	2	2	2	2	32
007 - V	5	2	2	2	2	24
008 - V	12	2	2	2	2	26
009 - V	4	2	2	2	2	18
010 - V	11	2	2	2	2	20
011 - V	3	2	2	2	2	12
012 - V	10	2	2	2	2	14
013 - V	2	2	2	2	2	6
014 - V	9	2	2	2	2	8
015 - V	1	2	2	2	2	Inmediato
016 - V	9	2	2	2	2	8
017 - V	2	2	2	2	2	6
018 - V	10	2	2	2	2	14
019 - V	3	2	2	2	2	12
020 - V	11	2	2	2	2	20
021 - V	4	2	2	2	2	18
022 - V	12	2	2	2	2	26
023 - V	5	2	2	2	2	24
024 - V	13	2	2	2	2	32
025 - V	6	2	2	2	2	30
026 - V	14	2	2	2	2	38
027 - V	7	2	2	2	2	36
028 - V	15	2	2	2	2	44
029 - V	8	2	2	2	2	42
030 - V	16	2	2	2	2	44
TOTAL						44

Fuente: Análisis Propio

Cuadro N° 70 Tiempo de Ciclo de Minado en Relleno con Acelerantes Plastiment para Binder 7% - Vetas

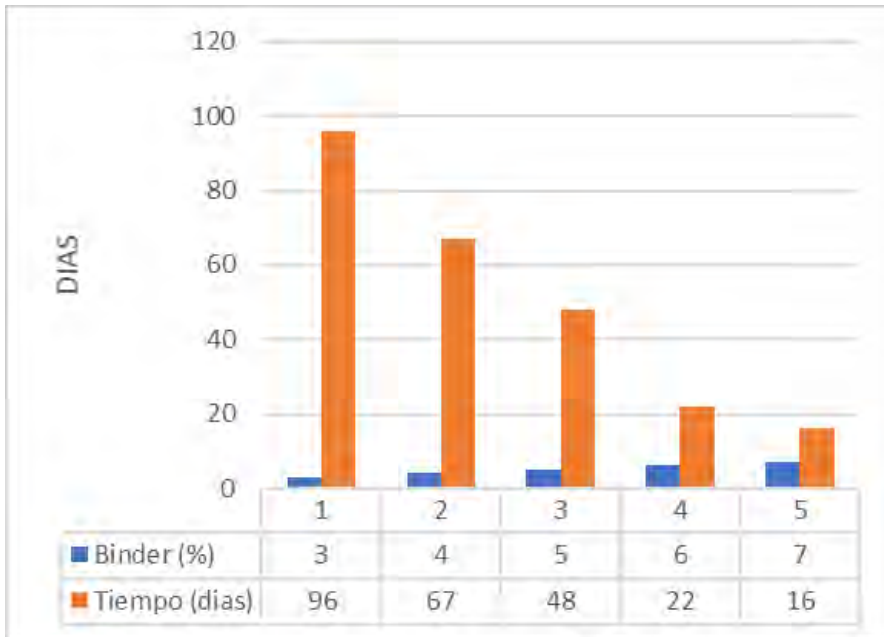
Panel	Secuencia	P y V	Acar.	Rell.	Fraguado (Binder 3%) - 70KPa (día)	T. Explo. (día)
001 - V	8	2	2	2	2	42
002 - V	15	2	2	2	2	44
003 - V	7	2	2	2	2	36
004 - V	14	2	2	2	2	38
005 - V	6	2	2	2	2	30
006 - V	13	2	2	2	2	32
007 - V	5	2	2	2	2	24
008 - V	12	2	2	2	2	26
009 - V	4	2	2	2	2	18
010 - V	11	2	2	2	2	20
011 - V	3	2	2	2	2	12
012 - V	10	2	2	2	2	14
013 - V	2	2	2	2	2	6
014 - V	9	2	2	2	2	8
015 - V	1	2	2	2	2	Inmediato
016 - V	9	2	2	2	2	8
017 - V	2	2	2	2	2	6
018 - V	10	2	2	2	2	14
019 - V	3	2	2	2	2	12
020 - V	11	2	2	2	2	20
021 - V	4	2	2	2	2	18
022 - V	12	2	2	2	2	26
023 - V	5	2	2	2	2	24
024 - V	13	2	2	2	2	32
025 - V	6	2	2	2	2	30
026 - V	14	2	2	2	2	38
027 - V	7	2	2	2	2	36
028 - V	15	2	2	2	2	44
029 - V	8	2	2	2	2	42
030 - V	16	2	2	2	2	44
TOTAL						44

Fuente: Análisis Propio

### 5.5.- ANÁLISIS DE RESULTADOS Y ESCENARIO OPTIMO

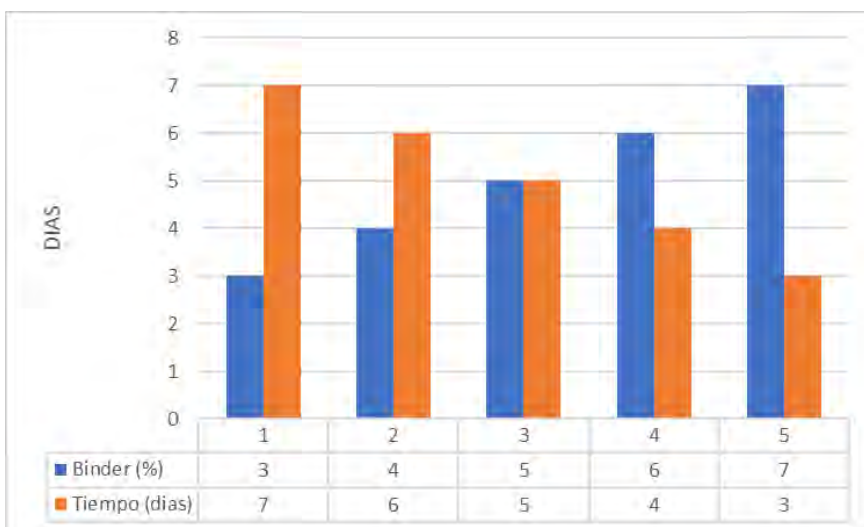
En las siguientes figuras se muestra los resultados del fraguado en tajeo en cuerpo para los diferentes Binders y los rellenos con acelerantes y sin acelerante.

Figura N° 35 Resultados Fraguado Relleno en tajeo en cuerpos – sin acelerantes



Fuente: Análisis Propio

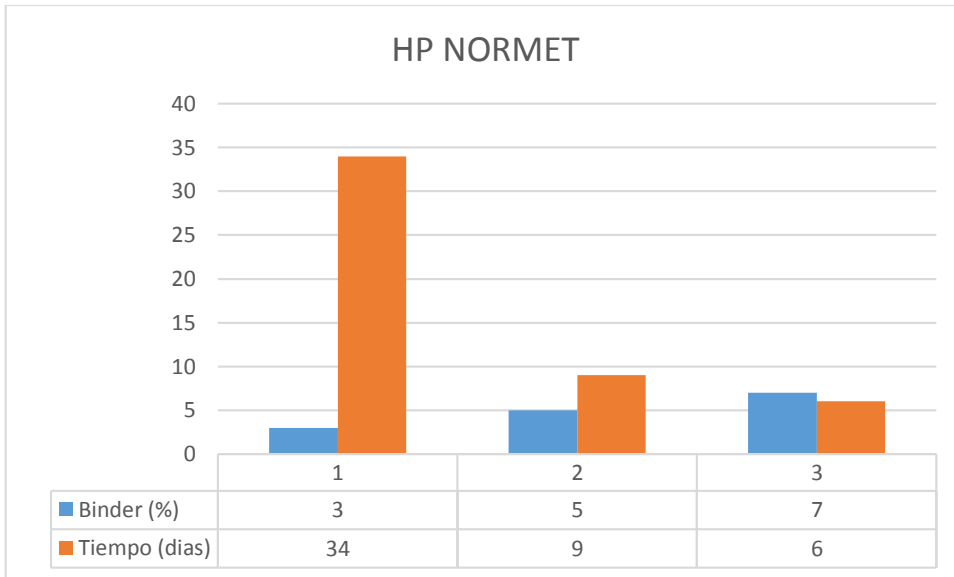
Figura N° 36 Resultados Fraguado Relleno en tajeo en Vetas – sin acelerantes



Fuente: Análisis Propio

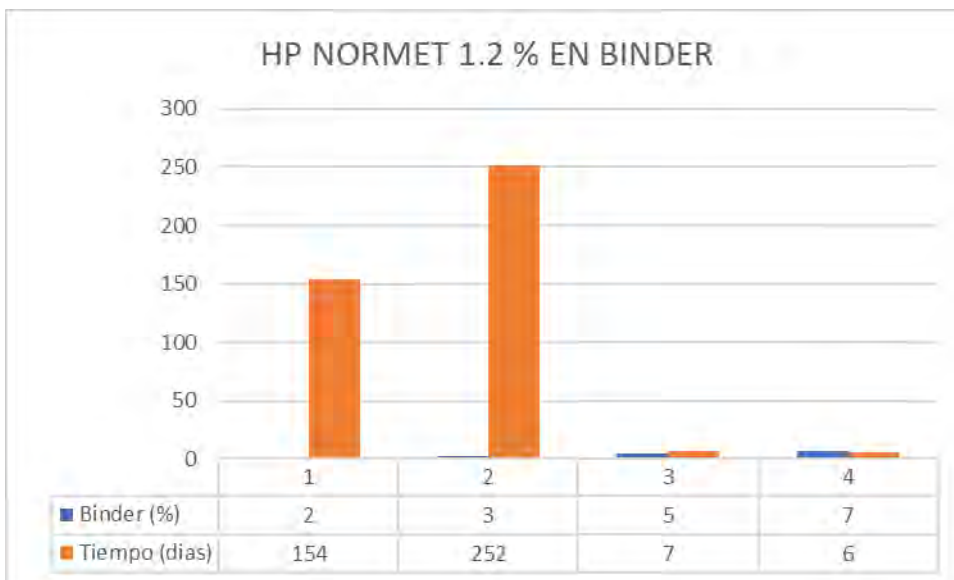
CON ACELERANTES – CUERPOS

Figura N° 37 Resultados Fraguado Relleno en tajeo en Cuerpos – con acelerantes HP Normet



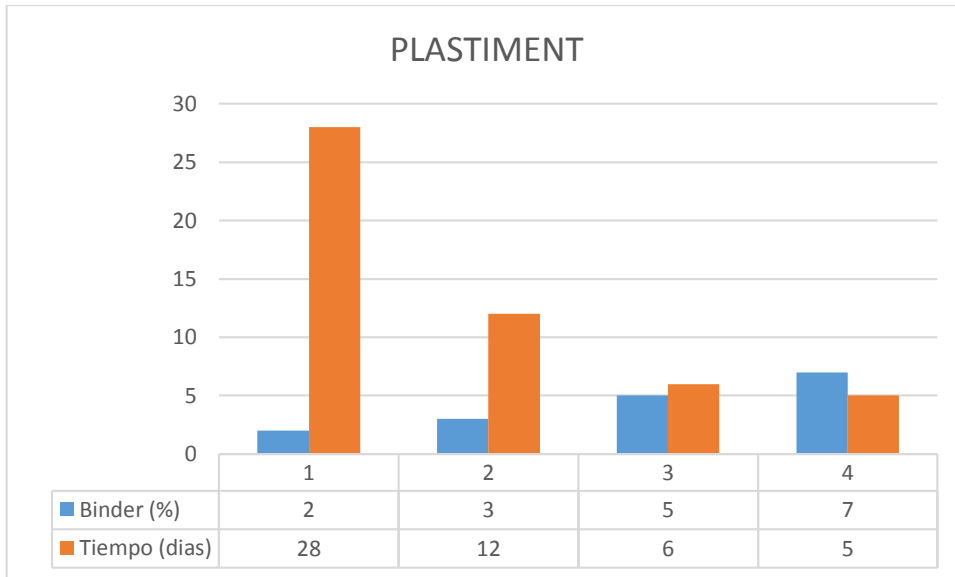
Fuente: Análisis Propio

Figura N° 38 Resultados Fraguado Relleno en tajeo en Cuerpos – con acelerantes HP Normet en 1.2% en Binder



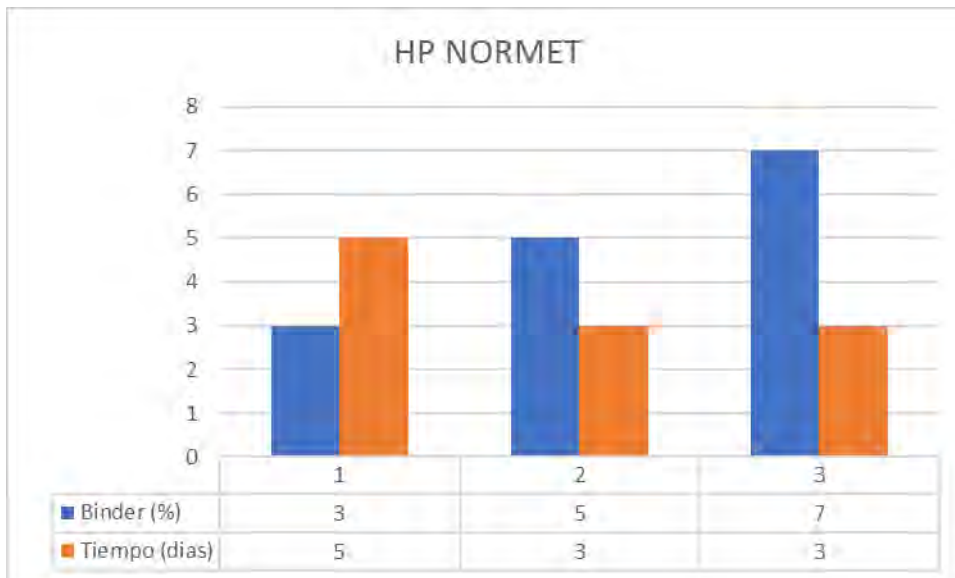
Fuente: Análisis Propio

Figura N° 39 Resultados Fraguado Relleno en tajeo en Cuerpos – con acelerantes HP Normet en 1.2% en Binder



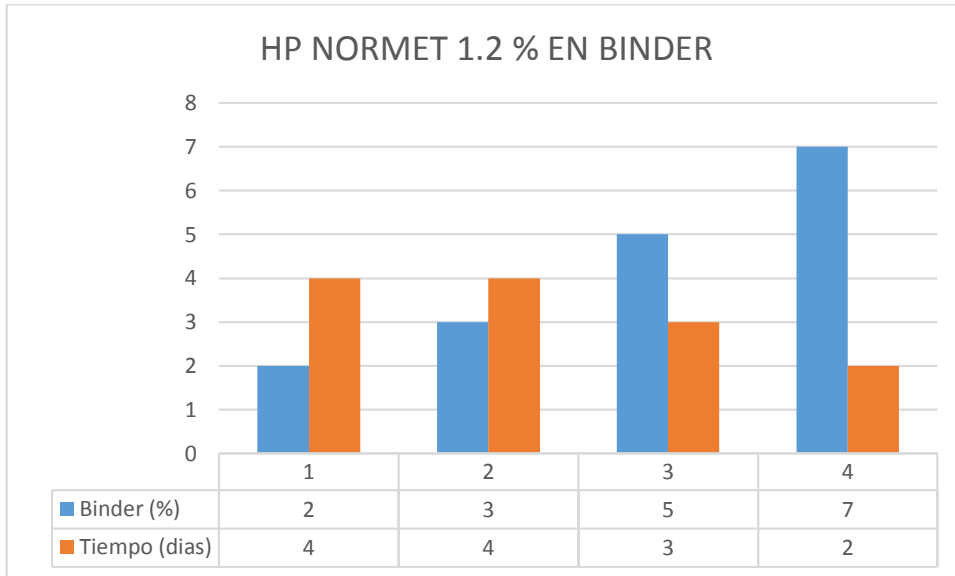
Fuente: Análisis Propio

Figura N° 40 Resultados Fraguado Relleno en tajeo en Vetas – con acelerantes HP Normet



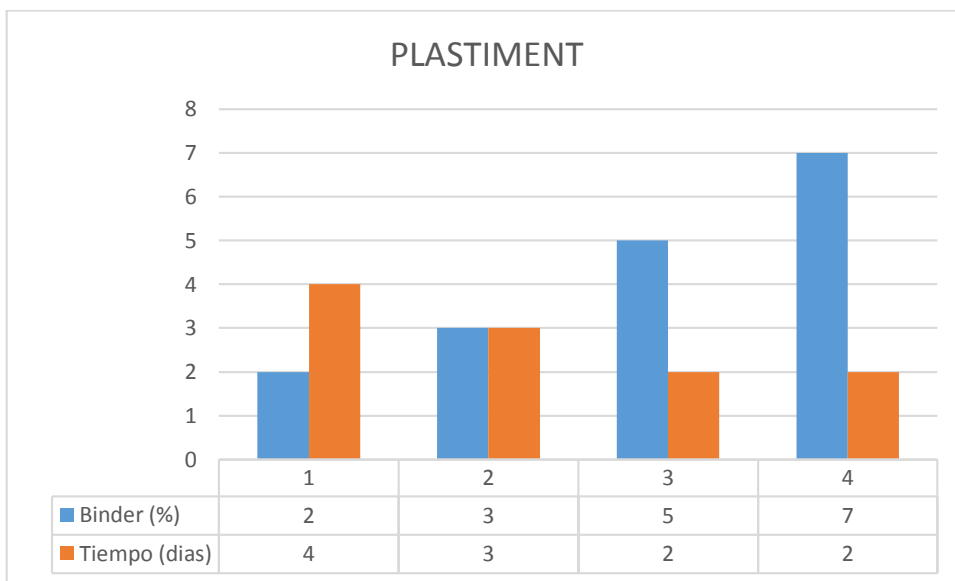
Fuente: Análisis Propio

Figura N° 41 Resultados Fraguado Relleno en tajeo en Vetas – con acelerantes HP Normet 1.2% en Binder



Fuente: Análisis Propio

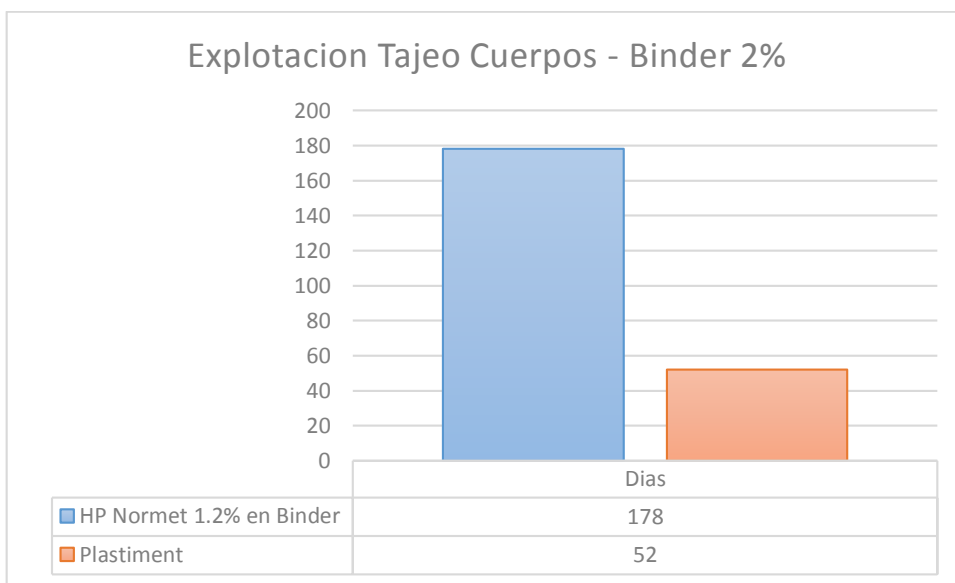
Figura N° 42 Resultados Fraguado Relleno en tajeo en Vetas – con acelerantes Plastiment



Fuente: Análisis Propio

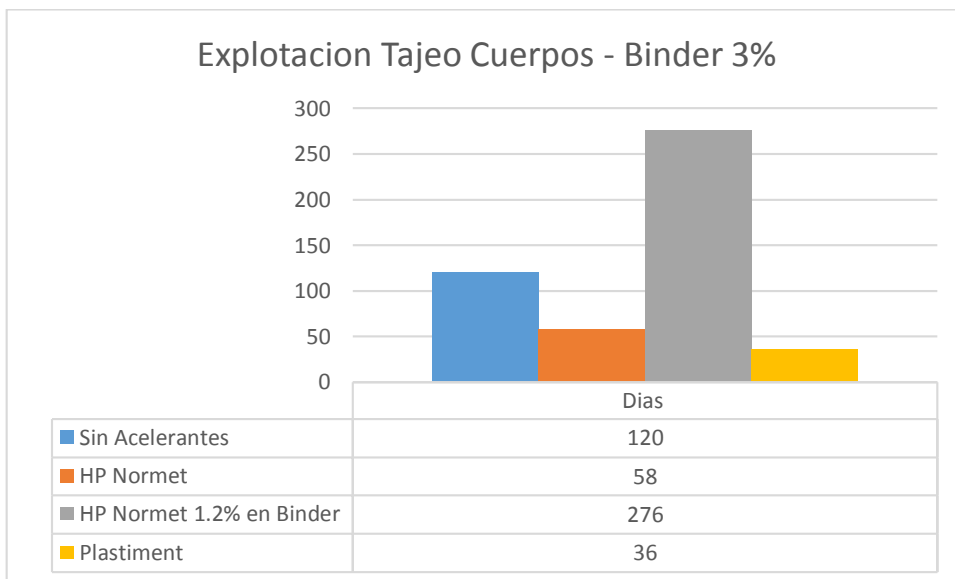
En los siguiente cuadros se muestra los comparativos de tiempos de explotacion de tajeos esta dado por dias y para rellenos en diferentes blinders, se considera rellenos con acelerantes y sin acelerante.

*Figura N° 43 Comparativa Rellenos en Binder 2% - Cuerpos*



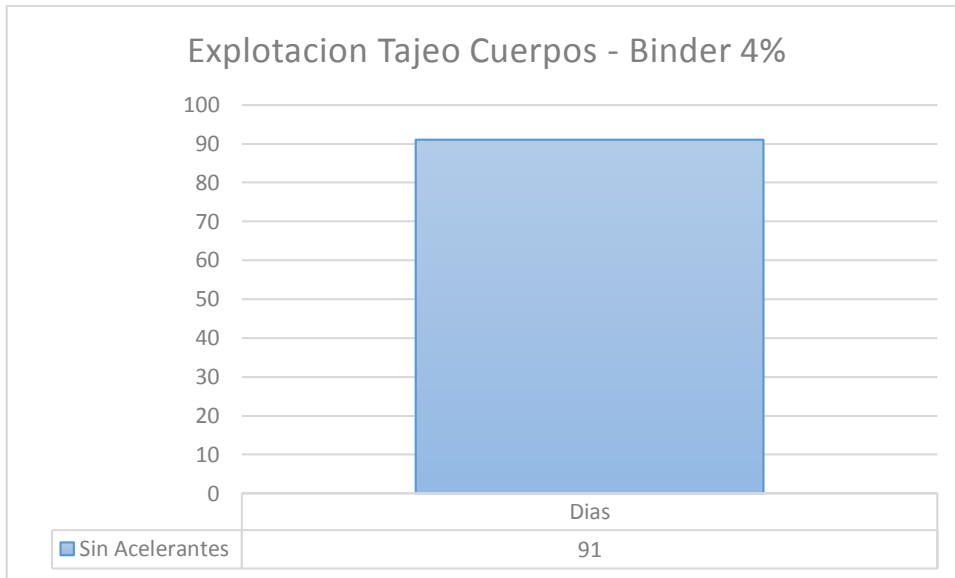
*Fuente: Análisis Propio*

*Figura N° 44 Comparativa Rellenos en Binder 3% - Cuerpos*



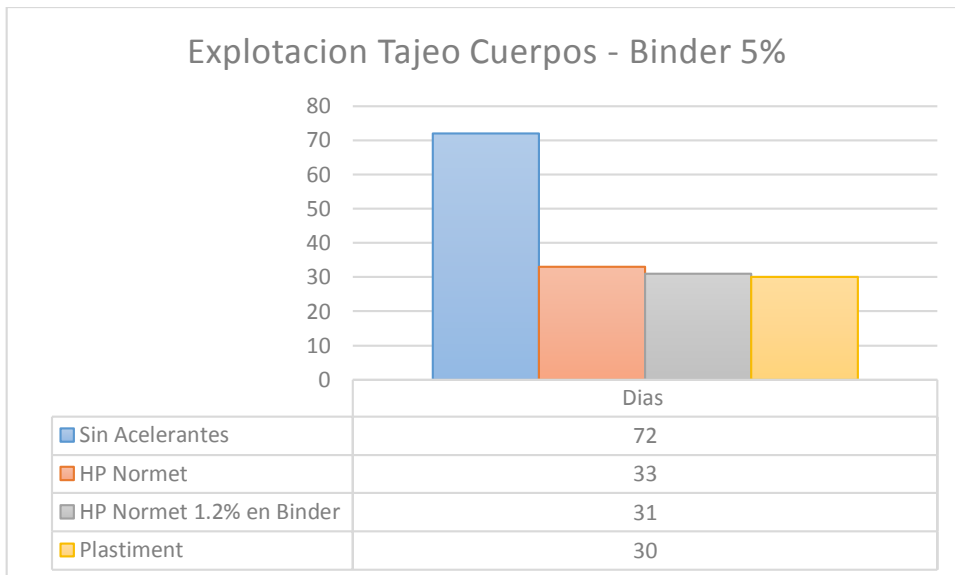
*Fuente: Análisis Propio*

Figura N° 45 Comparativa Rellenos en Binder 4% - Cuerpos



Fuente: Análisis Propio

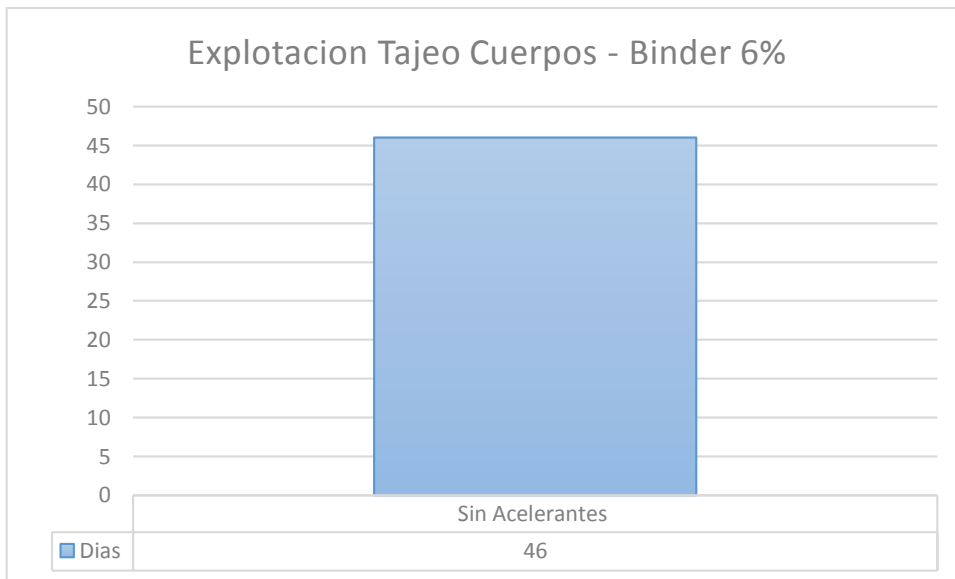
Figura N° 46 Comparativa Rellenos en Binder 5% - Cuerpos



Fuente: Análisis Propio

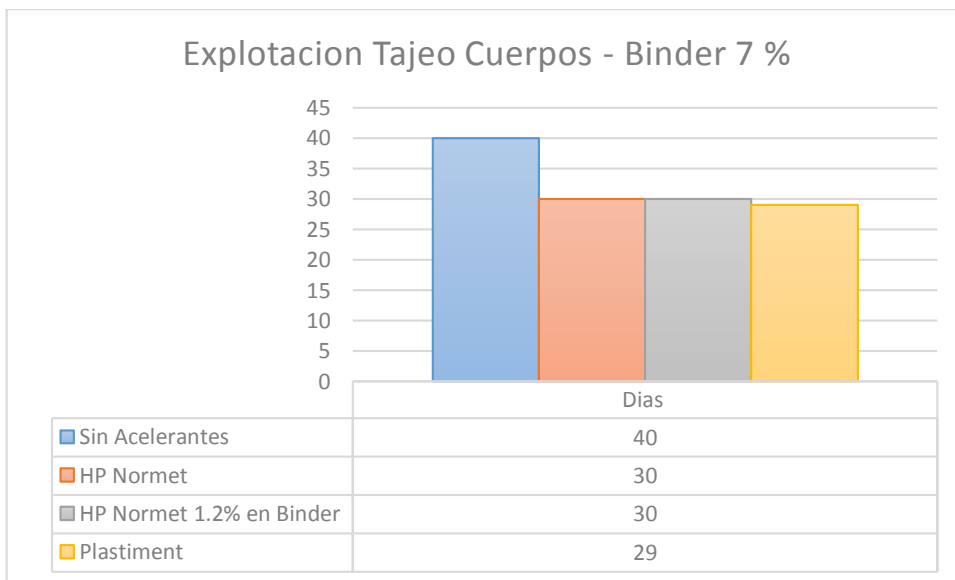


Figura N° 47 Comparativa Rellenos en Binder 6% - Cuerpos



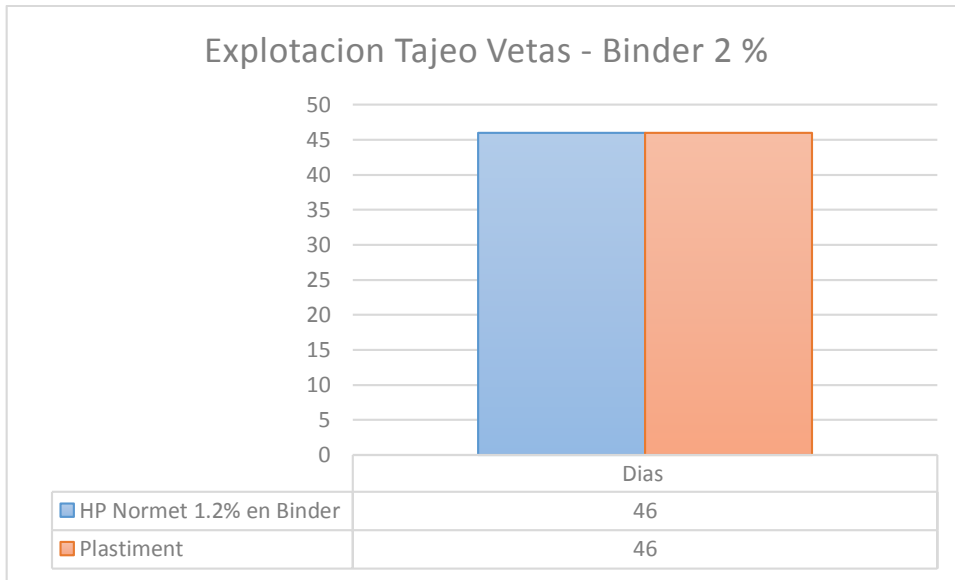
Fuente: Análisis Propio

Figura N° 48 Comparativa Rellenos en Binder 7% - Cuerpos



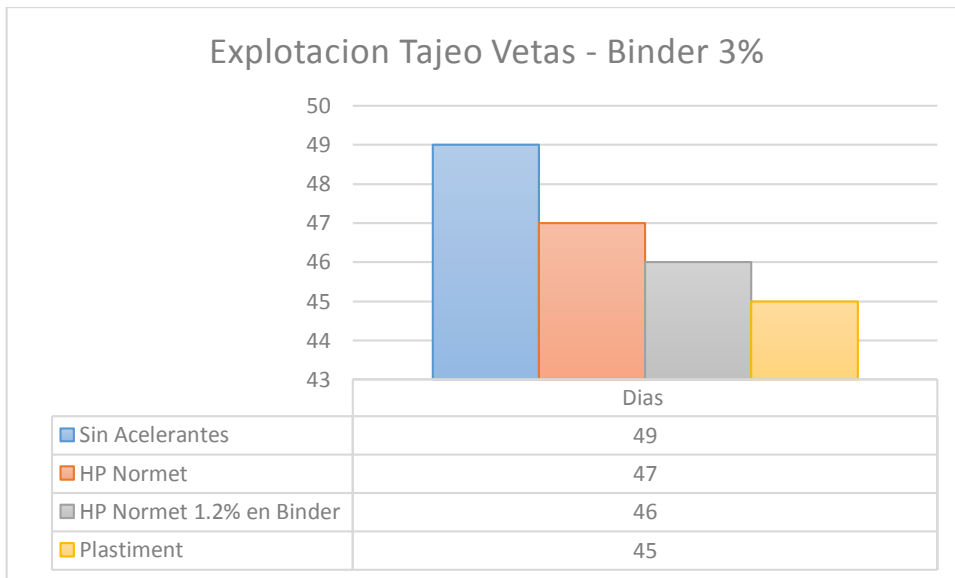
Fuente: Análisis Propio

Figura N° 49 Comparativa Rellenos en Binder 2% - Vetos



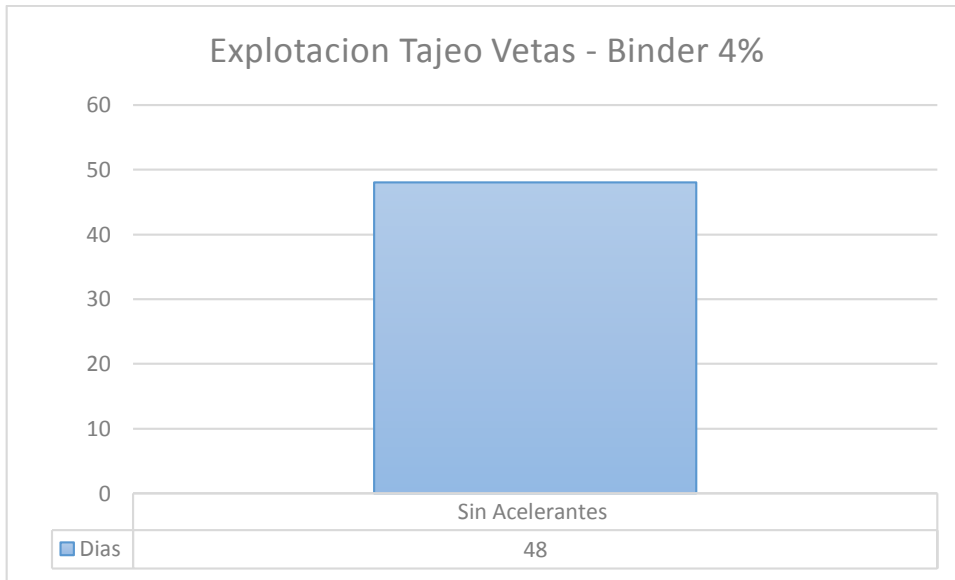
Fuente: Análisis Propio

Figura N° 50 Comparativa Rellenos en Binder 3% - Vetos



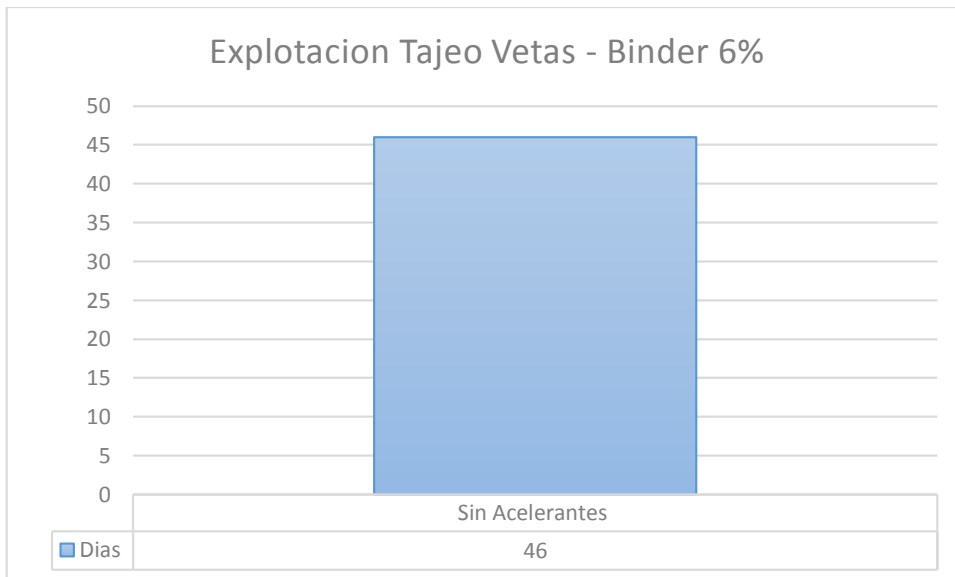
Fuente: Análisis Propio

Figura N° 51 Comparativa Rellenos en Binder 4% - Vetas



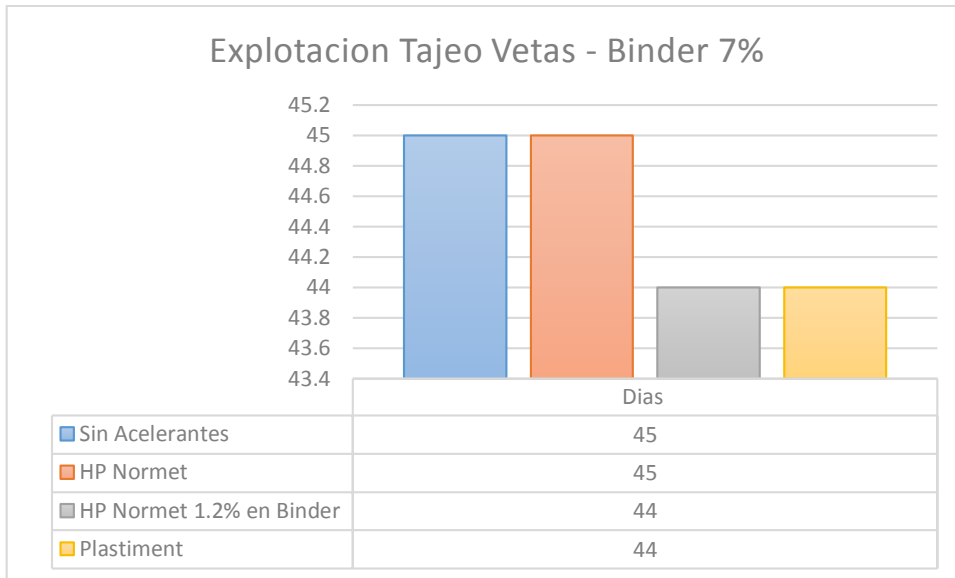
Fuente: Análisis Propio

Figura N° 52 Comparativa Rellenos en Binder 6% - Vetas



Fuente: Análisis Propio

Figura N° 53 Comparativa Rellenos en Binder 7% - Vetas



Fuente: Análisis Propio

## CONCLUSIONES

1. Se concluye que se llega a disminuir el tiempo en el ciclo de minado en tajeo en cuerpos utilizando acelerantes que disminuyen el tiempo de fraguado en el relleno es así que se tiene el siguiente detalle:

- Con HP Normet
  - En binder de 7%, en cuerpos de 40 a 30 días.
  - En binder de 7%, en vetas de 45 a 44 días.
- Con Plastiment
  - En binder de 7%, en cuerpos de 40 a 29 días.
  - En binder de 7%, en vetas de 45 a 44 días.

2. El relleno en pasta tiene como insumos al Relave que se consigue luego de la concentración de mineral además de la Escoria de la planta, todo esto se encuentra en muchos casos con agregados de finos para el Relleno en Pasta que se encuentra en dosificación de 2% a 7% en Binder, el cemento utilizado es Cemento YURA Portland IP.

3. Las propiedades que tiene el relleno en pasta están determinadas en rango Slump de 8" a 10", además que llega a conseguir resistencia de 70 KPa para vetas y 200KPa para cuerpos, además de llegar a tener en el tiempo de fraguado de 7 a 28 una resistencia de 100 KPa a 300KPa, en cuanto a la evaluación de estabilidad, el relleno llega a mantenerse estable que no sobrepasa los 200MPa e incluso están a menos de 100MPa.

4. El tiempo de fraguado del relleno en pasta para el caso de binder de 7% se tiene una reducción si se considera:

- Para cuerpos (200KPa), con HP Normet se reduce de 16 a 6 días y con Plastiment a 5 días.
- Para Vetas (70KPa) con HP Normet se mantiene en 3 días y con Plastiment de 3 a 2 días.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda el uso de Relleno en pasta con acelerantes ya que disminuyen el tiempo de fraguado y por ende se disminuye el tiempo en el ciclo de minado con tajeos tanto en cuerpos como en vetas, se recomienda también seguir realizando más pruebas con nuevos acelerantes que se puedan encontrar en el mercado y así lograr mejores resultados.
2. Se recomienda realizar más pruebas mecánicas a los rellenos con acelerantes para poder determinar tiempos adecuados de percolación y tiempos de Slump sedimentación que nos permitan tener un mejor desarrollo al momento de colocar el relleno en los paneles explotados.
3. Es recomendable seguir realizando pruebas a las probetas del relleno incluso después de los 56 días para así poder tener un valor más preciso del UCS del relleno y poder determinar las diferentes curvas que nos ayudarían a un mejor estudio de la resistencia y estabilidad en el relleno y sobretodo la estabilidad global de los tajeos en la mina.
4. Se recomienda usar en la mayoría de casos el relleno con Binder de 7 % ya que tiene mejores resultados en tiempo de fraguado y no genera demora, además se recomienda realizar la evaluación de estabilidad para encontrar los valores mínimos de UCS para poder acortar el tiempo límite de fraguado y así obtener mejores tiempos en ciclo de minado.
5. Se recomienda el uso de nuevos cementos y realizar un estudio en tecnología del concreto para poder determinar mejores opciones para el caso del relleno en pasta, así también se recomienda revisar los diferentes agregados que se utilizan y también ver opciones tales como el relleno detrítico cementado.

## BIBLIOGRÁFIA.

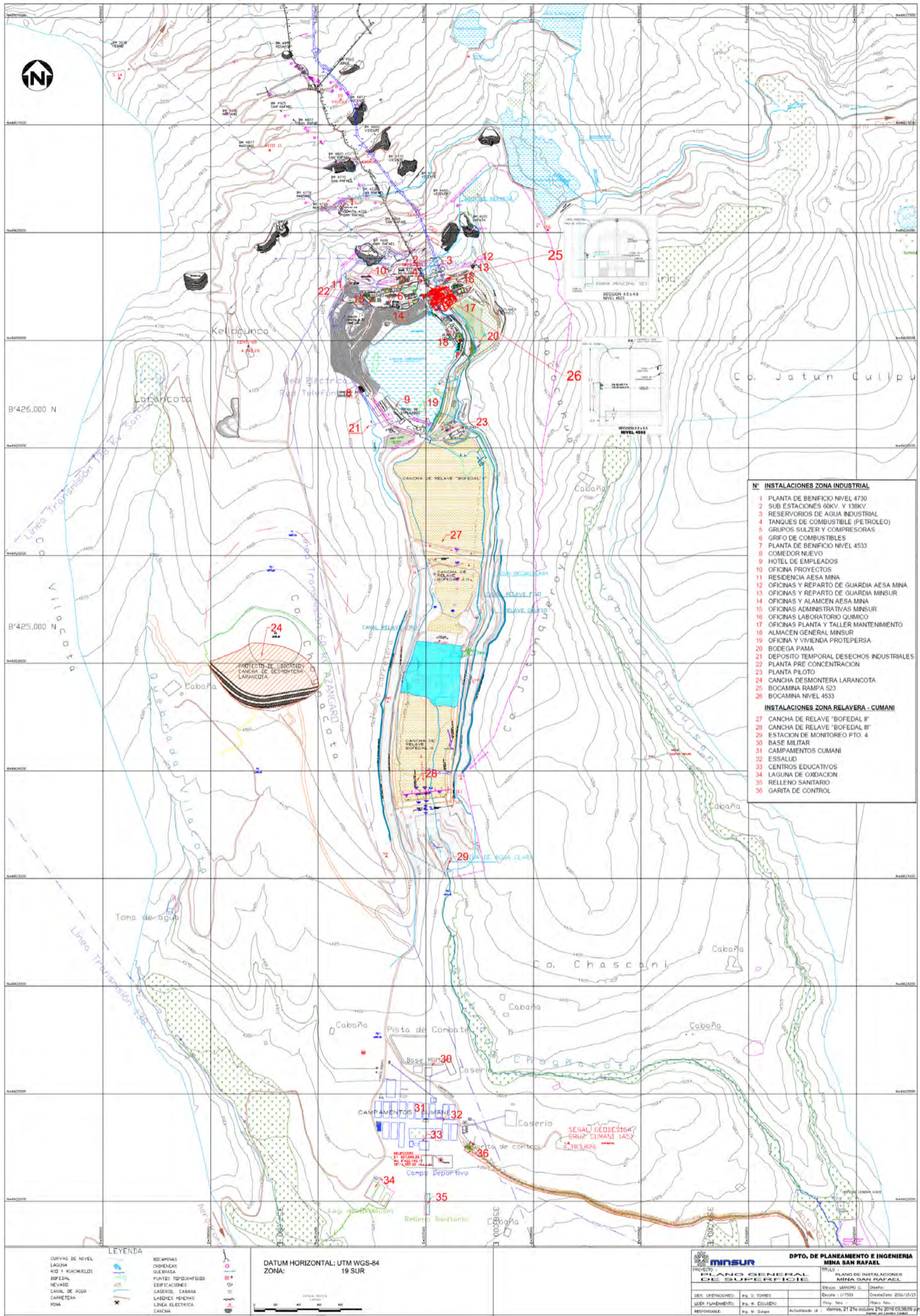
1. X. Feng, N. Zhang, L. Gong, F. Xue and X. Zheng, "Application of a Backfilling Method in Coal Mining to realise an Ecologically Sensitive "Black Gold" Industry," *Energies*, no. 8, pp. 3628-3639, 2015.
2. Y. Potvin, E. Thomas and A. Fourie, "Mine backfilling applications and relevant fill parameters," in *Handbook on mine fill*, Nedlands, Australian Centre for Geomechanics, 2005, pp. 24-25.
3. X. Feng, N. Zhang, L. Gong, F. Xue and X. Zheng, "Application of a Backfilling Method in Coal Mining to realise an Ecologically Sensitive "Black Gold" Industry," *Energies*, no. 8, pp. 3628-3639, 2015.
4. E. Villaescusa and K. Kuganathan, "Backfill for bench stoping operations," *Minefill*, pp. 189-194, 1998.
5. S. Uggalla, "Olympic Dam operation - an overview of underground design and planning," *Tenth Australian tunnelling conference*, pp. 127-132, 1999.
6. Y. Potvin, E. Thomas and A. Fourie, "Mine backfilling applications and relevant fill parameters," in *Handbook on mine fill*, Nedlands, Australian Centre for Geomechanics, 2005, pp. 24-25.
7. G. Baldwin and A. G. Grice, "Engineering the new Olympic Dam backfill system," *MassMin*, pp. 721-734, 2000.
8. M. Fall, M. Benzaazoua and E. Saa, "Mix proportioning of underground cemented tailings backfill," *Tunnelling and underground space technology*, pp. 80-90, 2008.
9. C. Sun, "Cemented rock fill system design and application in Leeville underground mine," *SME annual meeting*, pp. 1-6, 2011.
10. R. Cooke, "Design procedure for hydraulic backfill distribution systems," *The journal of the South African institute of mining and metallurgy*, pp. 97-102, 2001.

11. D. Stone, "The evolution of paste for backfill," in Mine Fill 2014 Proceedings of the 11th International Symposium on Mining with Backfill, Nedlands, Australian Centre for Geomechanics, 2014, pp. 31-38.
12. P. Harvey and M. Bloss, "Cannington mine-30 million ounces of silver per year from 300m cube," pp. 244-255, 2000.
13. J. Lara and E. León, "Design and operational experience of the Cerro Lindo filtered tailings," Paste, pp. 25-38, 2011
14. Equipo docente MI 6072, "Elementos Claves de diseño subterráneo," in Apuntes ramo MI 6072 Diseño Minero, Santiago, 2013.
  1. P. Lunder and R. Pakalnis, "Determination of the strength of hard-rock nubes pillars," Bulletin of the Canadian Institute of Mining and Metallurgy, no. 90, pp. 5-51, 1997.
  2. M. D. Salamon and A. H. Munro, "A study of the strength of coal pillars," Journal African institute mining metallurgy, 1967.
  3. K. E. Mathews, E. Hoek, D. C. Wyllie and S. B. Stewart, "Prediction of stable excavation spans at depths below 1000m in hard rock mines," CANMET Report, no. DSS Serial No. 84 OSQ80-00081, 1981.
  4. Y. Potvyn, "Empirical open stope design in Canada," PhD Thesis, 1988.



## **ANEXOS**

**ANEXO 1 Plano de Superficie**



- N° INSTALACIONES ZONA INDUSTRIAL**
- 1 PLANTA DE BENEFICIO NIVEL 4730
  - 2 SUB ESTACIONES 60KV Y 138KV
  - 3 RESERVORIOS DE AGUA INDUSTRIAL
  - 4 TANQUES DE COMBUSTIBLE (PETROLEO)
  - 5 GRUPOS SULZER Y COMPRESORAS
  - 6 GRIFO DE COMBUSTIBLES
  - 7 PLANTA DE BENEFICIO NIVEL 4533
  - 8 COMEDOR NUEVO
  - 9 HOTEL DE EMPLEADOS
  - 10 OFICINA PROYECTOS
  - 11 RESIDENCIA AESA MINA
  - 12 OFICINAS Y REPARTO DE GUARDIA AESA MINA
  - 13 OFICINAS Y REPARTO DE GUARDIA MINSUR
  - 14 OFICINAS Y ALAMCEN AESA MINA
  - 15 OFICINAS ADMINISTRATIVAS MINSUR
  - 16 OFICINAS LABORATORIO QUIMICO
  - 17 OFICINAS PLANTA Y TALLER MANTENIMIENTO
  - 18 ALMACEN GENERAL MINSUR
  - 19 OFICINA Y VIVIENDA PROTEPERSA
  - 20 BODEGA PAMA
  - 21 DEPOSITO TEMPORAL DESECHOS INDUSTRIALES
  - 22 PLANTA PRE CONCENTRACION
  - 23 PLANTA PILOTO
  - 24 CANCHA DESMONTERA LARANCOTA
  - 25 BOCAMINA RAMPA 523
  - 26 BOCAMINA NIVEL 4533
- INSTALACIONES ZONA RELAVERA - CUMANI**
- 27 CANCHA DE RELAVE "BOFEDAL II"
  - 28 CANCHA DE RELAVE "BOFEDAL III"
  - 29 ESTACION DE MONITOREO PTO. 4
  - 30 BASE MILITAR
  - 31 CAMPAMENTOS CUMANI
  - 32 ESSALUD
  - 33 CENTROS EDUCATIVOS
  - 34 LAGUNA DE OXIDACION
  - 35 RELLENO SANITARIO
  - 36 GARITA DE CONTROL

**LEYENDA**

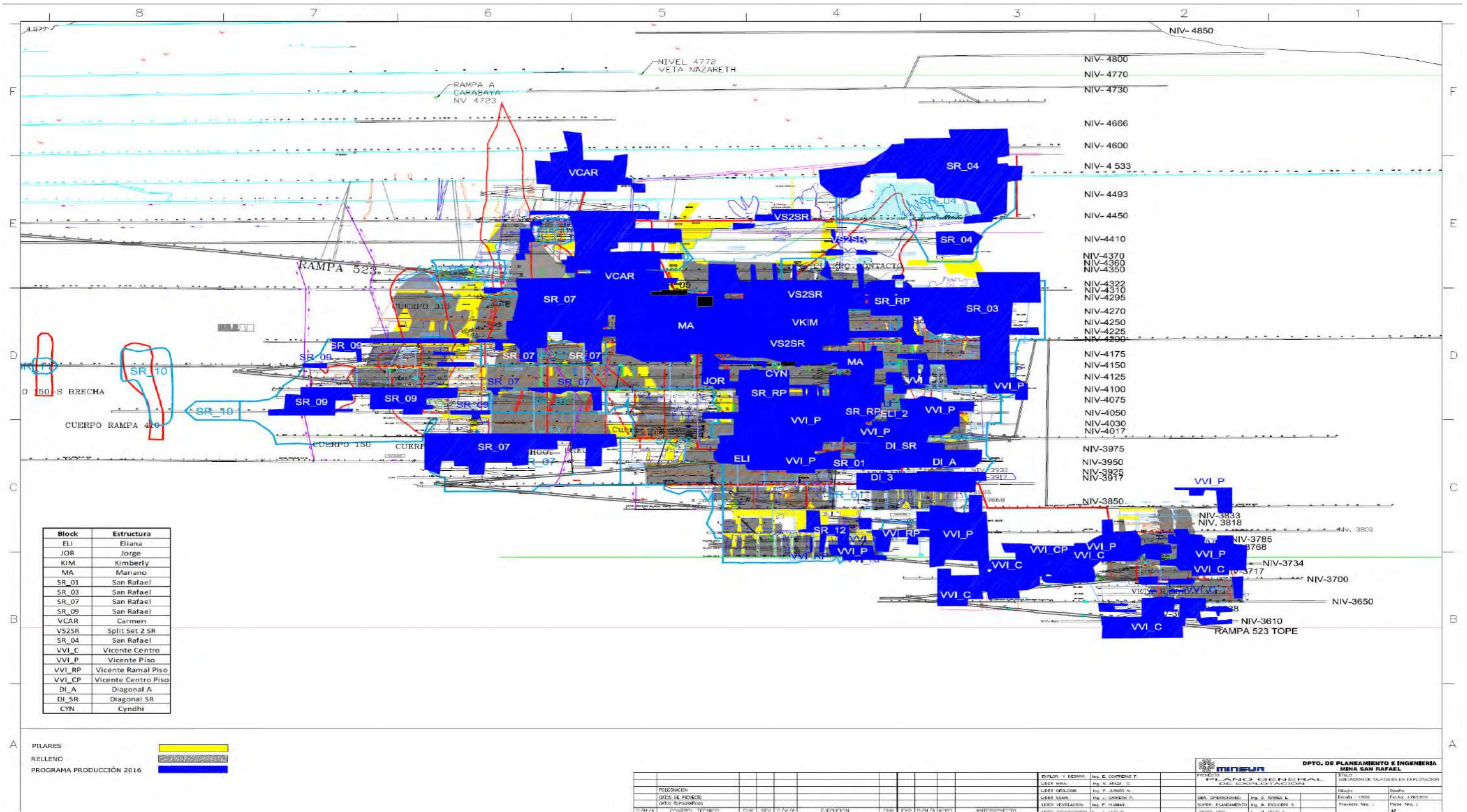
CURVAS DE NIVEL	MINAS	PUENTES
LAGUNA	CHIMENEAS	EDIFICACIONES
WID Y RIACHUELOS	QUEBRASA	CASERIO, CABANA
ROFICIA	PUNTEZ, TROZOS/REDES	LADRES MINERAS
NEVADO	EDIFICACIONES	LINEA ELECTRICA
CANAL DE AGUA	CASERIO, CABANA	CANCHA
CARRETERA	LADRES MINERAS	
RONA	LINEA ELECTRICA	
	CANCHA	

DATUM HORIZONTAL: UTM WGS-84  
 ZONA: 19 SUR

ESCALA: 1:5000

<b>DPTO. DE PLANEAMIENTO E INGENIERIA</b>	
<b>MINA SAN RAFAEL</b>	
PROYECTO: <b>PLANO GENERAL DE SUPERFICIE</b>	TITULO: <b>PLANO DE INSTALACIONES MINA SAN RAFAEL</b>
DES. OPERACIONES: <b>Ing. D. TORRES</b>	ESCALA: <b>1:5000</b>
USO: <b>Plan de Superficie</b>	FECHA: <b>1/1/2009</b>
RESPONSABLE: <b>Ing. M. Sique</b>	ACTUALIZADO: <b>viernes, 21 de octubre de 2010 09:38:00 p.m.</b>

# ANEXO 2 Plano Tajeo Eliana y Kimberly



Block	Estructura
ELI	Eliana
JOR	Jorge
KIM	Kimberly
MA	Mariano
SR_01	San Rafael
SR_03	San Rafael
SR_07	San Rafael
SR_09	San Rafael
VCAR	Carmen
VS2SR	Split Set 2 SR
SR_04	San Rafael
VVI_C	Vicente Centro
VVI_P	Vicente Piso
VVI_RP	Vicente Ramal Piso
VVI_CP	Vicente Centro Piso
DI_A	Diagonal A
DI_SR	Diagonal SR
CYN	Cyndhi

PILARES   
 RELLENO   
 PROGRAMA PRODUCCIÓN 2016

DPTO. DE PLANEAMIENTO E INGENIERIA MENA SAN RAFAEL				PROYECTO: PLANO GENERAL DE EXPLOTACION			
PROYECCION	UTM	PROYECTO	EXPLOTACION	ENCARGADO	Ing. E. CONTRERAS T.	FECHA	Junio 2016
DATOS DE PROYECTO		ENCARGADO	Ing. P. JARAQUE	ENCARGADO	Ing. P. JARAQUE	ESCALA	1:3000
DATOS TOPOGRAFICOS		ENCARGADO	Ing. J. CARBON P.	ENCARGADO	Ing. J. CARBON P.	FECHA	JUNIO 2016
		ENCARGADO	Ing. P. PLANAY	ENCARGADO	Ing. P. PLANAY	PROYECTO No.	Plano No. 1
		ENCARGADO		ENCARGADO			4P

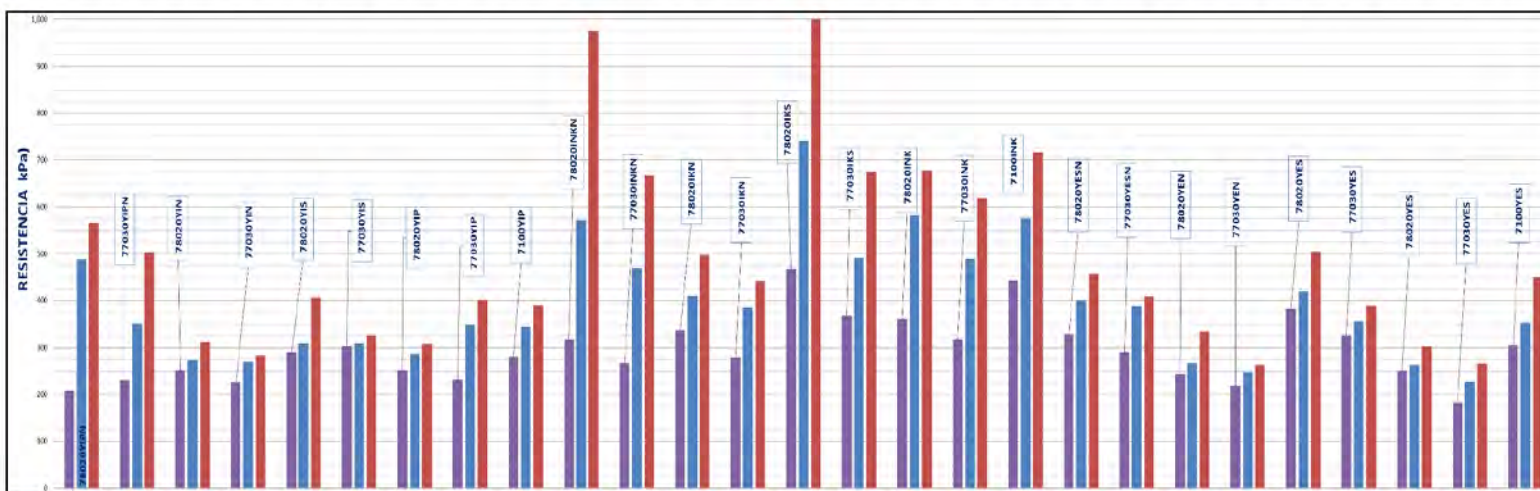
### ANEXO 3 Resultado Resistencia Relleno en Fraguado con Acelerantes



SJC MINERALES

Informe Final – Pruebas de Laboratorio e Industriales de Relleno Cementado  
Mina San Rafael / Minsur – Setiembre 2017

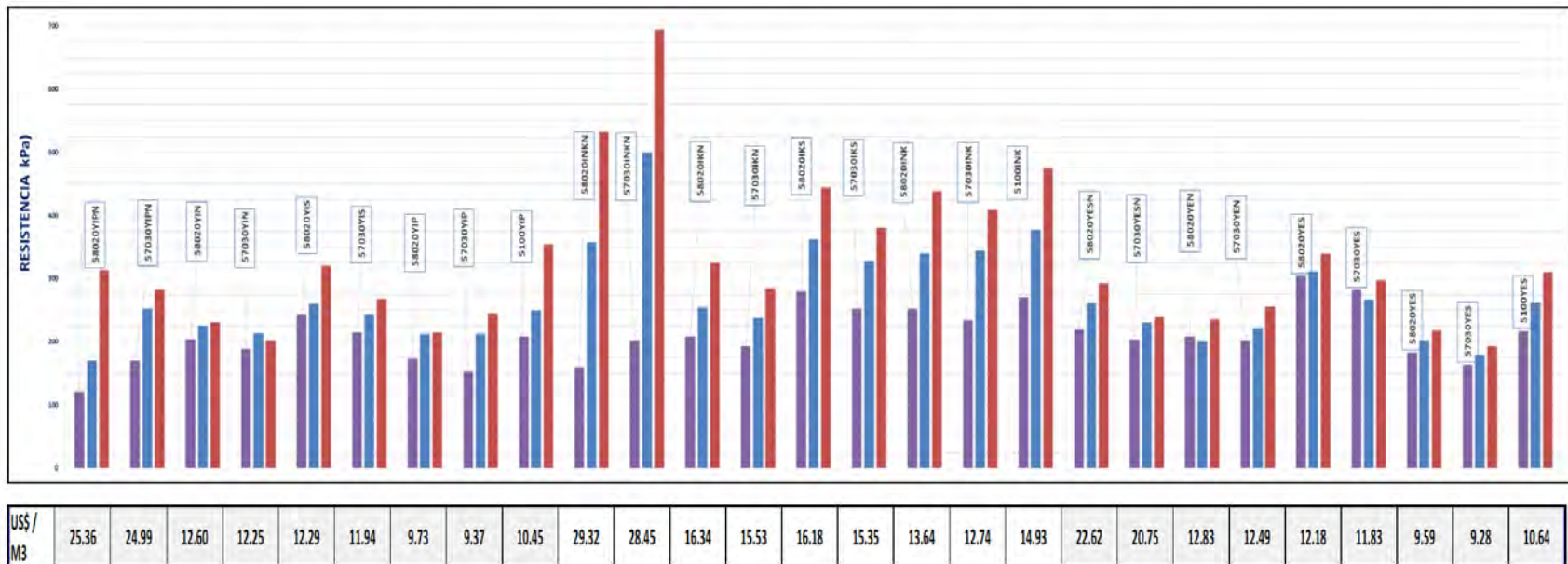
ROTURA DE PROBETAS CONTENIDO DE BINDER 7%																											
CEMENTO YURA IP										INKA I Co							YURA ESPECIAL										
	HIPERPLASTIFICANTE NORMET		HIPERPLASTIFICANTE NORMET 1.2% EN PESO DE BINDER		Plastiment® Mine PE Sika, 3L/M3		SIN ADITIVO			HIPERPLASTIFICANTE NORMET		HIPERPLASTIFICANTE NORMET 1.2% EN PESO DE BINDER		Plastiment® Mine PE Sika, 3L/M3		SIN ADITIVO			HIPERPLASTIFICANTE NORMET		HIPERPLASTIFICANTE NORMET 1.2% EN PESO DE BINDER		Plastiment® Mine PE Sika, 3L/M3		SIN ADITIVO		
MOLDEO	18/07/2017	18/07/2017	13/08/2017	13/08/2017	20/08/2017	20/08/2017	26/07/2017	27/07/2017	27/07/2017	19/07/2017	19/07/2017	13/08/2017	14/08/2017	19/08/2017	19/08/2017	25/07/2017	25/07/2017	26/07/2017	31/07/2017	31/07/2017	12/08/2017	12/08/2017	31/08/2017	31/08/2017	28/07/2017	28/07/2017	30/07/2017
SLUMP	10"	9"	8 1/2"	8 3/4"	8 3/4"	8 3/4"	8 3/4"	9"	9 1/2"	9"	10"	8 1/2"	8 3/4"	9"	8 3/4"	9 1/4"	10"	9"	10"	10"	8 3/4"	8 3/4"	9"	9"	9"	8 1/4"	8 3/4"
CODIGO	78020YIPN	77030YIPN	78020YIN	77030YIN	78020YIS	77030YIS	78020YIP	77030YIP	7100YIP	78020INKN	77030INKN	78020INK	77030INK	78020IKS	77030IKS	78020INK	77030INK	7100INK	78020YESN	77030YESN	78020YEN	77030YEN	78020YES	77030YES	78020YES	77030YES	7100YES
	RESISTENCIA (Kpa)									RESISTENCIA (Kpa)									RESISTENCIA (Kpa)								
7 DIAS	210	230	252	226	290	303	252	231	279	316	267	338	278	469	367	361	316	443	328	290	244	219	383	326	250	183	305
14 DIAS	488	351	273	270	310	310	287	349	345	572	470	409	386	741	491	582	489	576	400	389	267	248	420	355	263	227	352
21 DIAS	565	504	312	282	406	326	308	401	391	976	668	497	442	1012	675	678	618	717	458	408	335	263	505	390	302	266	449



US\$/M3	29.29	28.77	17.45	16.96	16.19	15.71	13.66	12.97	14.28	34.77	33.57	22.53	21.52	21.45	20.45	18.91	17.66	20.70	27.04	25.43	17.71	17.22	16.47	15.56	13.48	12.78	14.56
---------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

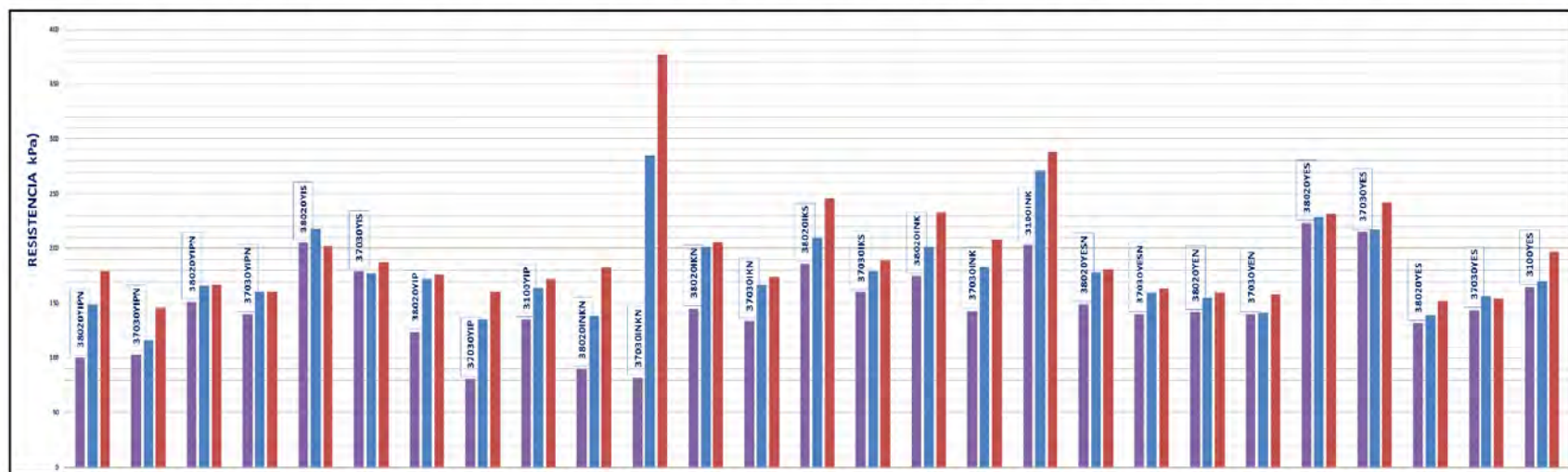


ROTURA DE PROBETAS CONTENIDO DE BINDER 5%																													
CEMENTO YURA IP												INKA I Co						YURA ESPECIAL											
HIPERPLASTIFICANTE NORMET		HIPERPLASTIFICANTE NORMET 1.2% EN PESO DE BINDER		Plastiment® Mine PE Sika, 3l/M3		SIN ADITIVO				HIPERPLASTIFICANTE NORMET		HIPERPLASTIFICANTE NORMET 1.2% EN PESO DE BINDER		Plastiment® Mine PE Sika, 3l/M3		SIN ADITIVO				HIPERPLASTIFICANTE NORMET		HIPERPLASTIFICANTE NORMET 1.2% EN PESO DE BINDER		Plastiment® Mine PE Sika, 3l/M3		SIN ADITIVO			
MOLDEO	18/07/2017	18/07/2017	13/08/2017	13/08/2017	20/08/2017	20/08/2017	26/07/2017	27/07/2017	28/07/2017	19/07/2017	19/07/2017	14/08/2017	14/08/2017	19/08/2017	19/08/2017	25/07/2017	25/07/2017	26/07/2017	31/07/2017	31/07/2017	12/08/2017	12/08/2017	31/08/2017	31/08/2017	28/07/2017	28/07/2017	30/07/2017		
SLUMP	10"	9"	8 3/4"	8 1/2"	9"	9"	9 1/4"	9 1/2"	9 1/4"	10"	10"	8 1/2"	8 3/4"	9"	9"	9 1/2"	9 3/4"	9 3/4"	9 3/4"	9 1/2"	8 1/2"	8 3/4"	9"	9"	8 3/4"	8 1/2"	8 1/2"		
CODIGO	58020YIPN	57030YIPN	58020YIN	57030YIN	58020YIS	57030YIS	58020YIP	57030YIP	5100YIP	58020INKN	57030INKN	58020IKN	57030IKN	58020IKS	57030IKS	58020INK	57030INK	5100INK	58020YESN	57030YESN	58020YEN	57030YEN	58020YES	57030YES	58020YES	57030YES	5100YES		
RESISTENCIA (kPa)																													
7 DIAS	121	170	204	189	244	214	173	153	208	160	202	208	193	280	252	252	234	270	220	203	208	202	304	282	183	164	217		
14 DIAS	170	252	225	213	260	244	212	212	250	358	500	254	238	362	328	340	344	377	261	230	201	222	311	267	202	179	262		
21 DIAS	314	282	231	202	320	268	214	245	354	533	694	325	285	444	381	439	409	474	292	239	235	256	339	297	218	193	310		





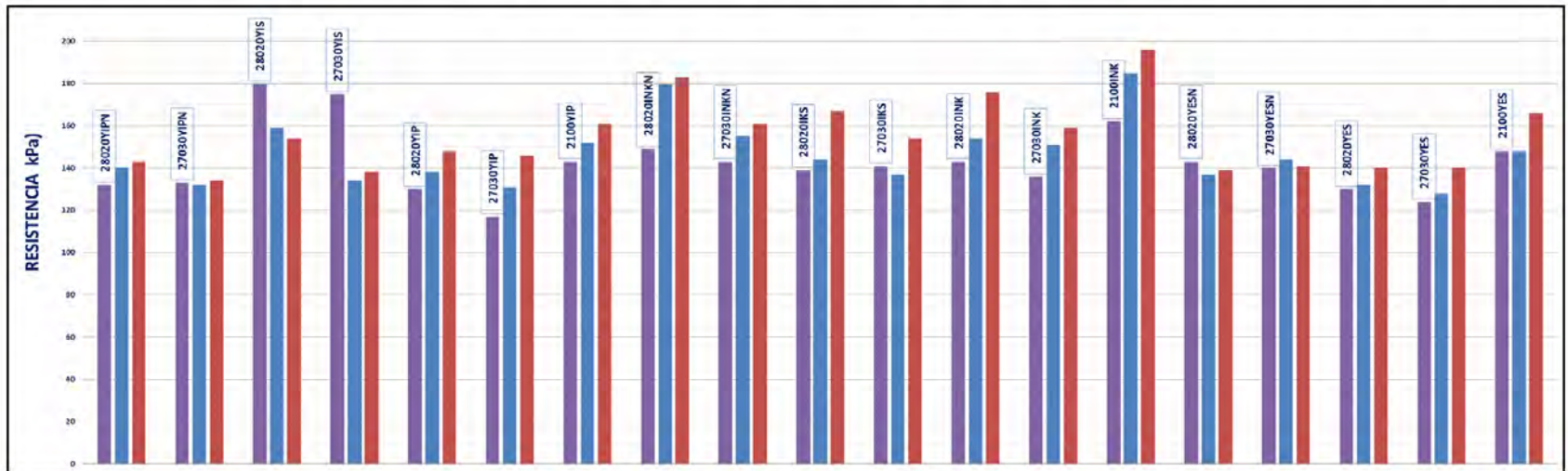
ROTURA DE PROBETAS CONTENIDO DE BINDER 3%																																			
CEMENTO YURA IP												INKA I Co						YURA ESPECIAL																	
HIPERPLASTIFICANTE NORMET			HIPERPLASTIFICANTE NORMET 1.2% EN PESO DE BINDER			Plastiment® Mine PE SIKA, 3L/M3			SIN ADITIVO			HIPERPLASTIFICANTE NORMET			HIPERPLASTIFICANTE NORMET 1.2% EN PESO DE BINDER			Plastiment® Mine PE SIKA, 3L/M3			SIN ADITIVO			HIPERPLASTIFICANTE NORMET			HIPERPLASTIFICANTE NORMET 1.2% EN PESO DE BINDER			Plastiment® Mine PE SIKA, 3L/M3			SIN ADITIVO		
MOLDEO	18/07/2017	18/07/2017	13/08/2017	13/08/2017	20/08/2017	20/08/2017	26/07/2017	27/07/2017	28/07/2017	19/07/2017	19/07/2017	14/08/2017	14/08/2017	19/08/2017	19/08/2017	25/07/2017	25/07/2017	26/07/2017	31/07/2017	31/07/2017	12/08/2017	12/08/2017	31/08/2017	31/08/2017	28/07/2017	30/07/2017	30/07/2017								
SLUMP	9"	10"	8 3/4"	8 3/4"	9"	8 3/4"	9 1/2"	9 3/4"	9 3/4"	10"	10"	8 3/4"	8 3/4"	9"	9"	9 4/4"	9 1/2"	9 1/2"	9 3/4"	9 1/2"	8 3/4"	8 1/2"	9"	9"	9 1/4"	8 3/4"	8 1/4"								
CODIGO	38020YIPN	37030YIPN	38020YIPN	37030YIPN	38020YIS	37030YIS	38020YIP	37030YIP	3100YIP	38020INKN	37030INKN	38020INK	37030INK	38020IKS	37030IKS	38020INK	37030INK	3100INK	38020YESN	37030YESN	38020YEN	37030YEN	38020YES	37030YES	38020YES	37030YES	3100YES								
RESISTENCIA (kPa)																																			
7 DIAS	100	103	151	140	205	179	124	81	135	90	82	145	134	186	160	175	143	203	149	140	142	140	223	215	132	144	165								
14 DIAS	149	116	166	160	218	177	172	135	164	138	285	201	167	210	179	201	183	271	178	159	155	141	229	217	139	156	170								
21 DIAS	179	146	167	160	202	188	176	160	172	182	377	206	174	245	189	233	208	288	181	163	159	158	232	242	152	154	197								



US\$/M3	21.35	21.12	7.65	7.44	8.30	8.09	5.89	5.72	6.28	23.74	23.22	9.90	9.42	10.67	10.17	8.27	7.72	9.04	18.39	16.39	7.80	7.58	8.24	8.20	5.74	5.83	6.56
---------	-------	-------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	------	------	-------	-------	------	------	------	-------	-------	------	------	------	------	------	------	------



ROTURA DE PROBETAS CONTENIDO DE BINDER 2%																						
CEMENTO YURA IP									INKA I Co						YURA ESPECIAL							
HIPERPLASTIFICANTE NORMET 1.2% EN PESO DE BINDER			Plastiment® Mine PE SIKA, 3L/M3			SIN ADITIVO			HIPERPLASTIFICANTE NORMET 1.2% EN PESO DE BINDER			Plastiment® Mine PE SIKA, 3L/M3			SIN ADITIVO			HIPERPLASTIFICANTE NORMET 1.2% EN PESO DE BINDER		SIN ADITIVO		
MOLDEO	11/08/2017	11/08/2017	20/08/2017	20/08/2017	10/08/2017	10/08/2017	10/08/2017	11/08/2017	11/08/2017	19/08/2017	19/08/2017	11/08/2017	11/08/2017	11/08/2017	12/08/2017	12/08/2017	10/08/2017	10/08/2017	10/08/2017			
SLUMP	8 3/4 "	8 1/2 "	8 3/4 "	9 "	8 1/2 "	8 3/4 "	8 1/2 "	8 1/2 "	8 1/4 "	9 "	9 "	9 "	8 3/4 "	8 1/2 "	8 3/4 "	8 3/4 "	8 3/4 "	8 3/4 "	8 1/2 "			
CODIGO	28020YIPN	27030YIPN	28020YIS	27030YIS	28020YIP	27030YIP	2100YIP	28020INKN	27030INKN	28020IKS	27030IKS	28020INK	27030INK	2100INK	28020YESN	27030YESN	28020YES	27030YES	2100YES			
RESISTENCIA (Kpa)									RESISTENCIA (Kpa)						RESISTENCIA (Kpa)							
7 DIAS	132	133	180	175	130	117	143	149	143	139	141	143	136	162	143	140	130	124	148			
14 DIAS	140	132	159	134	138	131	152	180	155	144	137	154	151	185	137	144	132	128	148			
21 DIAS	143	134	154	138	148	146	161	183	161	167	154	176	159	196	139	141	140	140	166			



US\$/M3	5.16	5.04	6.31	6.17	4.03	3.89	4.32	6.75	6.42	7.88	7.54	5.50	5.22	6.22	5.22	5.08	4.03	3.89	4.32
---------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Primera Prueba industrial cemento YURA ESPECIAL								
SALIDA DE PLANTA (RELLENO: NIV. 4185 - 1900 KIMBERLY)								
BINDER	slump (pulg)	Hora	Fecha de moldeo	Rotura 07 días	Rotura 14 días	Rotura 21 días	Rotura 28 días	Cantidad de probetas
6.4%	8 1/2	11:15	07/08/2017	14/08/2017	21/08/2017	28/08/2017	04/09/2017	12
5.2%	8 1/2	15:15	07/08/2017	14/08/2017	21/08/2017	28/08/2017	04/09/2017	12
7.4%	8 1/2	16:05	07/08/2017	14/08/2017	21/08/2017	28/08/2017	04/09/2017	12
<b>36</b>								
LLEGADA AL TAJO (RELLENO: NIV. 4185 - 1900 KIMBERLY)								
BINDER	slump (pulg)	Hora	Fecha de moldeo	Rotura 07 días	Rotura 14 días	Rotura 21 días	Rotura 28 días	Cantidad de probetas
6.4%	9 1/2	14:30	07/08/2017	14/08/2017	21/08/2017	28/08/2017	04/09/2017	12
5.2%	9 1/4	15:55	07/08/2017	14/08/2017	21/08/2017	28/08/2017	04/09/2017	12
7.4%	9 3/4	16:55	07/08/2017	14/08/2017	21/08/2017	28/08/2017	04/09/2017	12
<b>36</b>								
Segunda Prueba industrial cemento YURA ESPECIAL								
SALIDA DE PLANTA (RELLENO: NIV. 4000 - 2050 ELIANA)								
BINDER	slump (pulg)	Hora	Fecha de moldeo	Rotura 07 días	Rotura 14 días	Rotura 21 días	Rotura 28 días	Cantidad de probetas
6.0%	8 1/2	08:45	29/08/2017	05/09/2017	12/09/2017	19/09/2017	26/09/2017	6
6.0%	8	13:30	29/08/2017	05/09/2017	12/09/2017	19/09/2017	26/09/2017	6
6.0%	8 1/2	07:50	31/08/2017	07/09/2017	14/09/2017	21/09/2017	28/09/2017	6
6.0%	8	13:25	31/08/2017	07/09/2017	14/09/2017	21/09/2017	28/09/2017	6
<b>24</b>								
LLEGADA AL TAJO (RELLENO: NIV. 4000 - 2050 ELIANA)								
BINDER	slump (pulg)	Hora	Fecha de moldeo	Rotura 07 días	Rotura 14 días	Rotura 21 días	Rotura 28 días	Cantidad de probetas
6.0%	9 1/4	10:00	29/08/2017	05/09/2017	12/09/2017	19/09/2017	26/09/2017	6
6.0%	8 3/4	14:45	29/08/2017	05/09/2017	12/09/2017	19/09/2017	26/09/2017	6
6.0%	9 1/2	08:55	31/08/2017	07/09/2017	14/09/2017	21/09/2017	28/09/2017	6
6.0%	9	14:40	31/08/2017	07/09/2017	14/09/2017	21/09/2017	28/09/2017	6
<b>24</b>								
<b>Total probetas a ensayar:</b>								<b>120</b>