

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y METALURGICA



“RELLENO CEMENTADO EN U.P. ANDAYCHAGUA”

INFORME DE SUFICIENCIA
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE

INGENIERO DE MINAS

ELABORADO POR
VICTOR ANTONIO SEVERINO VICHARRA

ASESOR
MSc. ING. JOSE CORIMANYA MAURICIO

LIMA – PERU

2013

DEDICATORIA

A Dios, que en su infinita sabiduría convierte las cosas más complejas de la vida en las más simples, haciendo del respirar, el amar o el comer asuntos naturales para nosotros.

A mi pequeño Nilmar, que con su sonrisa ilumina hasta el más gris de los días.

AGRADECIMIENTO

Un especial agradecimiento a la empresa minera Volcan S.A.A. por acogerme desde mis inicios como profesional hasta los días presentes, y ser el lugar donde fui adquiriendo los conocimientos que finalmente hoy se plasman en el presente trabajo.

RESUMEN

El método de explotación empleado en mina Andaychagua, corte y relleno descendente, aunado a las características de las cajas piso y techo, en las cuales se encuentra encajonada la Veta Andaychagua, obligan a la utilización del relleno cementado, como elemento de sostenimiento, que cumpla determinados parámetros y estándares.

El concreto que se utiliza como relleno en mina Andaychagua es muy particular, pues aparte de tener las características de un concreto común este debe ser “bombeable”, para lo cual se le agregó relave con el objeto de ganar pastosidad, siendo precisamente este componente el que hace que este concreto se diferencie en gran medida de otros.

Este concreto es elaborado en la planta de relleno Andaychagua, los agregados utilizados en su elaboración también se obtienen de la propia planta, a partir de desmonte de roca volcánica que se extrae de interior mina. Este relleno cementado es bombeado a interior mina por medio de unas bombas concreteras a través de una red de tuberías especiales para el

transporte del mismo. Este bombeo se realiza hacia abajo, en negativo, lo cual lo hace también bastante particular por contar con la fuerza de la gravedad a favor.

El tajeo que será relleno es preparado con una estructura de fierros, haciendo finalmente que la losa resultante sea una losa de concreto armado.

Las características particulares de este concreto utilizado como relleno y su transporte hacia el tajeo que será relleno, aunado a la poca información con la que se cuenta debido a su singularidad, hacen que llevar un control del mismo (insumos, instalaciones, equipos, control de calidad, transporte, etc.) sea complicado; el objetivo del presente trabajo es brindar una guía clara y objetiva para el control de estos procesos, basada en la experiencia del autor y de colegas en la supervisión del área de relleno cementado en mina Andaychagua, teniendo en cuenta además la escasa bibliografía a la que se puede recurrir.

ABSTRACT

Operating method used in mine Andaychagua, cut and fill downward, combined with the characteristics of the floor and ceiling boxes in which the vein is sandwiched Andaychagua, require the use of cemented backfill, as holding element which fulfills certain parameters and standards.

Concrete that is used as filler in mine Andaychagua is very particular, because apart from having the characteristics of a common concrete this should be "pumpable", to which was added in order tailings win mellowness, it is precisely this component Specifically makes this differs greatly from others.

This concrete is made on the ground Andaychagua filler, aggregates used to make it are also obtained from the plant itself, from volcanic waste rock extracted from inside the mine. This cemented backfill mine is pumped inside through concreteeras bombs through a pipeline network special transport thereof. This pumping is carried downward, in the negative, which makes it also very particular as having the force of gravity in favor.

The tajeo to be filled is prepared with a structure irons, finally making the resulting slab is a slab of reinforced concrete.

The particular characteristics of this concrete used as fill and transport to the tajeo to be completed, together with the little information that is considered due to its uniqueness, make keeping track of it (inputs, facilities, equipment, control quality, transportation, etc..) is complicated, the objective of this work is to provide a clear and objective for the control of these processes, based on the experience of the author and colleagues in monitoring the fill area Andaychagua cemented mine, addition to the scant literature that can be used.

INDICE

INTRODUCCIÓN	15
---------------------------	----

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1 UBICACIÓN.....	16
1.2 ACCESIBILIDAD.....	16
1.3 GEOGRAFÍA.....	17

CAPÍTULO II: GEOLOGÍA

2.1 GEOLOGÍA REGIONAL.....	18
2.1.1 Grupo Excélsior.....	18
2.1.2 Grupo Mitu.....	19
2.1.3 Grupo Pucará.....	19
2.1.4 Grupo Goyllarisquizga.....	19
2.1.5 Grupo Machay.....	20
2.2 GEOLOGÍA LOCAL.....	20
2.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL.....	21
2.4 GEOLOGÍA ECONÓMICA.....	22

CAPÍTULO III: GEOMECÁNICA

3.1 CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES.....	24
3.1.1 Fallas.....	24
3.1.2 Mineral.....	25
3.1.3 Volcánico.....	25
3.1.4 Filita.....	25
3.1.5 Meta-volcánico.....	25
3.1.6 Intrusivo.....	26
3.2 CLASIFICACIÓN DE LA MASA ROCOSA.....	26
3.3 RESISTENCIA DE LA MASA ROCOSA.....	27
3.4 ESFUERZOS IN SITU.....	28

CAPÍTULO IV: MÉTODO DE MINADO

4.1 ASPECTOS GENERALES.....	29
4.2 DESARROLLO DE MINA.....	31
4.2.1 Rampas.....	31
4.2.2 By Pass.....	32
4.2.3 Cruceros.....	32
4.2.4 Accesos.....	32
4.3 OPERACIONES UNITARIAS.....	33
4.3.1 Perforación y voladura.....	33
4.3.2 Sostenimiento.....	33
4.3.3 Limpieza y acarreo.....	33

CAPITULO V: LOSAS DE CONCRETO

5.1 PREPARACIÓN DE UN TAJEO PATA RELLENO.....	35
5.1.1 Marcado y perforación de cáncamos.....	35
5.1.2 Preparación de la barrera.....	36
5.1.2.1 Elementos componentes de una barrera.....	36
5.1.2.2 Proceso de elaboración de una barrera.....	39
5.1.3 Enmallado de fierros.....	50
5.1.3.1 Elementos que componen el enmallado de fierros.....	50
5.1.3.2 Elaboración del enmallado de fierros.....	56
5.2 CONSUMO DE SUMINISTROS Y SERVICIOS.....	65
5.2.1 Suministros.....	65
5.2.2 Servicios.....	67
5.3 CONTROL DE CALIDAD DE LAS LOSAS.....	68

CAPITULO VI: DISEÑO DE CONCRETO

6.1 CONCEPTOS PREVIOS.....	70
6.1.1 Definiciones de propiedades físicas.....	70
6.1.2 Método de cálculo de propiedades físicas.....	72
6.2 INSUMOS DEL CONCRETO.....	73
6.2.1 Cemento.....	73
6.2.2 Piedra chancada.....	73
6.2.3 Confitillo.....	74
6.2.4 Arena gruesa.....	74
6.2.5 Relave.....	75

6.2.6 Aditivo EUCO 537.....	75
6.2.7 Aditivo EUCO WASH OUT.....	76
6.3 DISEÑO DE CONCRETO.....	77
6.4 CONSUMO DE MATERIALES.....	79
CAPITULO VII: BOMBA DE CONCRETO Y TUBERÍAS DE TRANSPORTE	
7.1 BOMBA SCHWING BP 3500 HDR.....	80
7.1.1 Posibilidad de transporte.....	81
7.1.2 Instalación hidráulica.....	81
7.1.3 Información técnica.....	81
7.1.4 Operación en mina Andaychagua.....	82
7.2 TUBERÍAS PARA TRANSPORTE DE CONCRETO.....	86
CONCLUSIONES.....	88
RECOMENDACIONES.....	90
BIBLIOGRAFÍA.....	91

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 4.1: Perforación en horizontal.....	30
FIGURA 4.2: Limpieza con scooptram.....	30
FIGURA 4.3: Tajeo en proceso de relleno.....	31
FIGURA 5.1: Pintado de cáncamos en cajas piso y techo.....	36
FIGURA 5.2: Vista y dimensiones de una longarina.....	37
FIGURA 5.3: Vista y dimensiones de una tabla.....	37
FIGURA 5.4: Vista y dimensiones de un redondo.....	38
FIGURA 5.5: Vista y dimensiones de una plantilla.....	39
FIGURA 5.6: Posicionamiento de las patillas.....	40
FIGURA 5.7: Vista en planta de las patillas.....	40
FIGURA 5.8: Profundidad de las patillas.....	41
FIGURA 5.9: Distribución de los postes en la barrera.....	42
FIGURA 5.10: Disposición de los postes y el enrejado de madera.....	43
FIGURA 5.11: Ubicación del ángulo como refuerzo de los postes.....	44
FIGURA 5.12: Colocado de las plantillas.....	45
FIGURA 5.13: Estructura de la barrera hasta ahora conformada.....	46
FIGURA 5.14: Colocado de alcayata para sujetar cable.....	47
FIGURA 5.15: Cable de acero tensado por los topes.....	48
FIGURA 5.16: Diseño de una barrera terminada.....	49
FIGURA 5.17: Malla soldada tendida.....	51
FIGURA 5.18: Pernos inyectados a las cajas.....	52
FIGURA 5.19: Diseño de las eles.....	53

FIGURA 5.20: Diseño de las zetas.....	54
FIGURA 5.21: Diseño de las omegas.....	55
FIGURA 5.22: Espaciadores.....	55
FIGURA 5.23: Altura de las mallas sobre las cajas.....	56
FIGURA 5.24: Disposición de los pernos (perfil).....	57
FIGURA 5.25: Vista de perfil de la presentación de las eles.....	58
FIGURA 5.26: Vistas de la disposición de los largueros.....	59
FIGURA 5.27: Colocado de los espaciadores.....	60
FIGURA 5.28: Distribución de las zetas (planta).....	61
FIGURA 5.29: Distribución de las omegas.....	62
FIGURA 5.30: Vista de estructura de fierros (perfil).....	63
FIGURA 5.31: Vista de estructura de fierros (planta).....	64
FIGURA 5.32: Costo de principales suministros.....	67
FIGURA 5.33: Costo de principales servicios.....	68
FIGURA 7.1: Bomba Schwing BP 3500 HDR y sus dimensiones.....	82
FIGURA 7.2: Curva de trabajo de bomba en modo pistón.....	84
FIGURA 7.3: Curva de trabajo de bomba en modo vástago.....	85

LISTA DE TABLAS

TABLA 3.1: Clasificación según el RMR.....	26
TABLA 3.2: Calidad de la masa rocosa según RMR.....	27
TABLA 3.3: Propiedades de resistencia de la masa rocosa.....	27
TABLA 5.1: Consumo promedio mensual de fierros por elementos.....	66
TABLA 5.2: Control de resistencias.....	69
TABLA 6.1: Características físicas de la piedra chancada.....	73
TABLA 6.2: Características físicas del confitillo.....	74
TABLA 6.3: Características físicas de la arena gruesa.....	74
TABLA 6.4: Características físicas del relave.....	75
TABLA 6.5: Propiedades del aditivo Euco 537.....	76
TABLA 6.6: Diseño piedra chancada – confitillo (160 kg/cm ²).....	77
TABLA 6.7: Diseño piedra chancada – arena gruesa (160 kg/cm ²).....	78
TABLA 6.8: Diseño del soft (90 kg/cm ²).....	78
TABLA 6.9: Diseño del mortero (90 kg/cm ²).....	78
TABLA 6.10: Consumo de materiales – 2013.....	79
TABLA 7.1: Datos técnicos Bomba Schwing BP 3500 HDR.....	82

INTRODUCCIÓN

El método de explotación de mina Andaychagua, corte y relleno descendente, obliga la utilización de un elemento de sostenimiento de la magnitud como son las losas de concreto armado, que denominamos relleno cementado.

En el presente informe se desarrollarán, de manera detallada, los diferentes aspectos que abarca este particular método de sostenimiento que incluyen desde los preparativos previos a desarrollarse en los tajeos en interior mina hasta las operaciones que se realizan en la planta de concreto. También se detallarán los suministros y los servicios necesarios para la construcción de las losas de concreto armado, los costos de este método y su influencia en el coste total de mina.

El proceso descrito en el presente informe aplica sólo para las condiciones muy particulares de mina Andaychagua.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 UBICACIÓN

La mina Andaychagua forma parte de la Unidad Económica Administrativa Yauli, de Volcan Compañía Minera S.A.A., y se ubica en el anexo San José de Chaquipampa, en el distrito de Huay-Huay, provincia de Yauli, departamento Junín.

1.2 ACCESIBILIDAD

El acceso desde Lima es a través de la Carretera Central, cerca de la localidad de Pachachaca, aproximadamente en el Km 156, existe un desvío partiendo un ramal hacia el distrito de Yauli, que cruza previamente las unidades de Mahr Tunel, Carahuacra y San Cristóbal, antes de llegar a la Mina Andaychagua. Desde el desvío en la Carretera Central hasta la Mina Andaychagua se realiza un recorrido de 45 Km.

1.3 GEOGRAFÍA

Andaychagua se encuentra geográficamente en el flanco Este de la Cordillera Occidental de los Andes Centrales del Perú, a una altitud aproximada de 4.500 m.s.n.m. Sus coordenadas geográficas son: 76°05' de Longitud Oeste y 11°43' de Latitud Sur.

CAPÍTULO II

GEOLOGÍA

2.1 GEOLOGÍA REGIONAL

El distrito minero de Andaychagua está al sur-este del Domo de Yauli, el cual está constituido por una serie de anticlinales y sinclinales, conformado por varias unidades estratigráficas reconocidas desde el Paleozoico Inferior hasta el Cretáceo.

Estratigráficamente en el área de Andaychagua, ocurren las siguientes unidades litológicas:

2.1.1 Grupo Excélsior

Este nombre fue propuesto por Mc Laughlin (1925) por la mina Excélsior de Cerro de Pasco. Estas rocas conforman el núcleo del Anticlinal de Chumpe, en cuyo flanco Este se encuentran las vetas de Andaychagua. Las rocas presentes son: lutitas, pizarras, esquistos, volcánicos, calizas y filitas.

2.1.2 Grupo Mitu

En 1924 Mc Laughlin propone este nombre debido a una secuencia detrítica de color rojo que aflora en la localidad de Mitu en la zona de Ambo, yace discordante sobre el Grupo Excélsior, presentando dos facies: en la zona inferior, una sedimentaria detrítica de color rojiza de ambiente continental, y en la zona superior, una volcánica denominada Volcánicos Catalina, conformado por derrames y brechas andesíticas, aglomerados y tufos de composición dacítica y rocas riolíticas con laminaciones fluidales.

2.1.3 Grupo Pucará

Mc. Laughlin, en 1924, sugirió inicialmente el nombre de Calizas Pucará, pero fue Jenks (1951) quien posteriormente le designaría el nombre de Grupo Pucara, el cual yace discordantemente sobre los Volcánicos Catalina. Este grupo está conformado por secuencias de calizas monótonas de color gris clara a gris oscuras, margas con areniscas calcáreas, lutitas y niveles de calizas dolomíticas de la formación Condorsinga del Grupo Pucará.

2.1.4 Grupo Goyllarisquizga

Denominado inicialmente por Mc Laughlin como Areniscas Goyllarisquizga Jatunhuasi, y sería Jenks, en 1951 quien le dio el nombre de formación y Wilson, J. (1963) lo elevó a la categoría de grupo. Sobreyace a las calizas de la Formación Condorsinga, consiste en areniscas cuarcíticas de color brumo amarillento con intercalaciones de lutitas y limonitas.

2.1.5 Grupo Machay

Las calizas del Grupo Machay descansan concordantemente sobre las rocas del Grupo Goyllarisquizga. Por su litología se podría afirmar que esta pertenece a las Formaciones Chulec y Pariatambo, ya que está conformada por calizas, calizas dolomíticas, margas, y lutitas grises oscuras.

2.2 GEOLOGÍA LOCAL

En la Veta Andaychagua, se han identificado cuatro tipos litológicos, que en orden de importancia en cuanto a su presencia son: la andesita, que es el principal tipo de roca, localmente pertenece a los Volcánicos Catalina; la filita que pertenece al Grupo Excelsior; el metavolcánico y el intrusivo gabro.

La andesita del Volcánico Catalina tiene coloración gris clara a gris verdosa, de grano fino, fuera de la influencia de la veta se presenta en forma masiva; en el contacto con la veta presenta mayormente alteración del tipo sericita-caolinita-clorita, tiene aspecto brechoso y un fuerte fracturamiento con relleno de panizo, hay presencia considerable de agua.

La filita es de coloración gris clara a gris oscura, de grano fino y de foliación delgada que coincide con la orientación de la veta, presenta aspecto terso y brillante en la superficie de fractura. En el contacto con la veta presenta alteración argílica y clorítica. Los meta-volcánicos tienen una coloración gris clara, presentan flujos irregulares de cuarzo lechoso y calcita, observándose venillas y diseminados de pirita.

La roca intrusiva es de composición básica, clasificada como un gabro de color gris verdoso oscuro, de grano grueso y masivo, el cual ha sido desplazado por la falla Andaychagua. En el contacto con la veta, la roca presenta alteración argílica.

La Veta Andaychagua consiste de una brecha volcánica de color gris oscuro, de composición heterogénea: clastos de gabro, dacita y filita envueltos en material arcilloso arenoso plástico. En conjunto, estos materiales son disgregables al golpe con el martillo, se presenta mojado, con características de baja resistencia.

2.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Los rasgos geo-estructurales más importantes del área son el plegamiento y el fracturamiento (fallamiento).

En relación al plegamiento, el domo de Yauli tiene una gran importancia tanto en la estratigrafía como en la tectónica, la cual está conformada por una serie de anticlinales y sinclinales producto del tectonismo. En el área de estudio se reconocen el anticlinal Chumpe, uno de los más importantes del Domo de Yauli, ubicado al Oeste de la Mina Andaychagua, y el Anticlinal Ultimátum ubicado al Este, haciendo esto que la mina esté dentro del sinclinal Andaychagua, formado en medio de los anticlinales señalados.

En relación al fallamiento, en el anticlinal Chumpe, tanto interiormente como alrededor, presenta dos sistemas de fracturamiento, uno paralelo al eje del

anticlinal y otro perpendicular al mismo. Las fuerzas de compresión que dieron origen al anticlinal produjeron sobre-escurrimientos y fallas inversas, al cesar éstas, las fuerzas tensionales dieron lugar a la formación de fracturas longitudinales paralelas al eje del anticlinal, que después fueron emplazamientos de diques. Posteriormente se formó un conjunto de sistema de fracturas perpendiculares al eje y de cizallamiento oblicuo, que se distribuyen a ambos lados del intrusivo Chumpe.

2.4 GEOLOGÍA ECONÓMICA

La mina Andaychagua presenta un sistema de vetas que se encuentran al Sur-Este del intrusivo Chumpe y en el flanco Este del anticlinal del mismo nombre. La veta de mayor importancia es la denominada Andaychagua de casi 5 Km de longitud, de los cuales 3 Km han sido mineralizados, la estructura tiene un rumbo promedio de N30°E y un buzamiento de 72° a 90° NW y en algunos casos buza al SE y se bifurca en varios ramales cuando hace contacto con las filitas. Su potencia varía de 1,8 m a 7,5 m, llegando hasta 18 m en la unión con otra veta denominada Prosperidad. Es un depósito hidrotermal de alcance hipo a epitermal, donde la mineralización está asociada con los halos de alteración hidrotermales.

La mineralización se presenta rellenando fracturas que atraviesan los volcánicos, las filitas y los intrusivos. El yacimiento es principalmente de plomo, zinc y plata, la mineralogía está constituida por esfalerita, marmatita, tetraédrita, galena, galena argentífera como minerales principales, la pirita,

rodocrosita, cuarzo, arsenopirita, calcita, siderita, hematita y magnetita como minerales de ganga.

CAPÍTULO III

GEOMECÁNICA

3.1 CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES

La masa rocosa tiene como característica litológica más importante que tanto al piso como al techo presenta rocas volcánicas que se ubican en la parte superior y, debajo de estas las filitas. Los meta-volcánicos se ubican dentro de las filitas y las rocas intrusivas en la parte central de la Veta Andaychagua.

Las principales características estructurales de las discontinuidades son:

3.1.1 Fallas

Las fallas se ubican en todo el entorno de la Veta Andaychagua, corriendo en forma paralela a esta, también la cortan de forma perpendicular o diagonal. Las fallas están rellenas de materiales de arcilla, panizo, brechas y materiales oxidados; y tienen espesores de (5 a 50) cm.

3.1.2 Mineral

El mineral presenta un espaciamiento entre 6 cm a 20 cm, persistencia de 3 m a 10 m, apertura variable menor a 1 mm, la rugosidad de las paredes es ligera a lisa, el relleno es suave con presencia de arcilla y calcita de espesores de hasta 5 mm.

3.1.3 Volcánico

El material volcánico tiene como principales características un espaciamiento que por lo general está entre 20 cm a 60 cm, persistencia de 3 m a 10 m, una apertura variable menor a 1 mm con paredes ligeramente rugosas, el relleno es suave con presencia de arcilla, calcita y pirita en algunos casos, con espesores de hasta 2 mm.

3.1.4 Filita

La filita tiene como características estructurales un espaciamiento en el rango de 6 cm a 20 cm, la persistencia varía hasta 20 m, apertura menor de 1 mm a cerrada, presenta por lo general superficies lisas y en algunos casos ligera rugosidad, el relleno es suave con presencia de arcilla de espesores menores a 1 mm.

3.1.5 Meta-volcánico

El meta-volcánico presenta un espaciamiento que por lo general está

entre 6 cm a 20 cm, persistencia de 3 m a 10 m, apertura variable menor a 1 mm, la rugosidad de las paredes es ligera a lisa en algunos casos, el relleno es suave con presencia de arcilla y calcita, con espesores de hasta 2 mm.

3.1.6 Intrusivo

Sus características estructurales son un espaciamiento que varía entre 20 cm a 60 cm, persistencia de 3 m a 10 m, apertura menor a 1 mm, ligera rugosidad en las paredes, el relleno es suave con presencia de arcilla y espesores menores a 1 mm.

3.2 CLASIFICACIÓN DE LA MASA ROCOSA

El criterio a utilizar para clasificar geomecánicamente a la masa rocosa es el de Bieniawski (RMR – Valoración del Macizo Rocoso).

La tabla adjunta muestra los criterios de clasificación de la masa rocosa de acuerdo al RMR.

TABLA 3.1: CLASIFICACIÓN SEGÚN EL RMR

Tipo de roca	Rango RMR	Calidad según RMR
II	> 60	Buena
III A	51 - 60	Regular A
III B	41 - 50	Regular B
IV A	31 - 40	Mala A
IV B	21 - 30	Mala B
V	< 21	Muy Mala

Fuente: Informe Geomecánico Andaychagua DCR.

En base a esta clasificación se realiza la evaluación de los diversos tipos de rocas presentes en la masa rocosa de mina Andaychagua, arrojando los siguientes resultados.

La siguiente tabla muestra la Clasificación de la masa rocosa en mina Andaychagua según el RMR.

TABLA 3.2: CALIDAD DE LA MASA ROCOSA SEGÚN RMR

Litología	Rango RMR	RMR Promedio	Calidad
Mineral	26 - 41	33	Mala A
Volcánico	44 - 64	57	Regular A
Filitas negras	30 - 45	35	Mala A
Filitas silicificadas	43 - 58	49	Regular B
Metavolcánico	26 - 57	42	Regular B
Intrusivo	52 - 64	57	Regular A

Fuente: Informe Geomecánico Andaychagua DCR.

3.3 RESISTENCIA DE LA MASA ROCOSA

Para el cálculo de los parámetros de resistencia de la masa rocosa se utilizó el criterio de falla de Hoek & Brown.

TABLA 3.3: PROPIEDADES DE RESISTENCIA DE LA MASA ROCOSA

Litología	GSI*	σ_c Mpa	γ (KN/m ³)	"m _i "	m _{mr}	s _{mr}	E _{mr} Mpa	ν
Volcánico	57	100	2,8	20	2,933	0,0048	10597	0,25
Intrusivo	57	100	2,8	20	2,933	0,0048	10597	0,25
Metavolcánico	42	50	2,8	20	1,501	0,0006	2022	0,27
Filita	35	30	2,8	15	0,824	0,0002	976	0,28
Mineral	33	20	3,5	10	0,502	0,0002	348	0,3
Volcánico (falsa caja)	30	15	2,8	10	0,439	0,0001	221	0,3
Filita (falsa caja)	25	10	2,7	7	0,246	0,0001	116	0,3

Fuente: Informe Geomecánico Andaychagua DCR.

3.4 ESFUERZOS IN SITU

Para la estimación del esfuerzo vertical in-situ se ha utilizado el criterio de carga litostática de Hoek & Brown, considerando profundidades máximas de (550 a 750) m. Según este criterio, el esfuerzo vertical in-situ resulta aproximadamente de (15 a 21) MPa. La constante “k” (relación de los esfuerzos horizontal a vertical) para determinar el esfuerzo in-situ horizontal fue tomada como $k = 0,7$; a partir de las consideraciones dadas en los estudios previos. Con $k = 0,7$ se obtienen esfuerzos in-situ horizontales de (11 a 15) MPa. Por otro lado, utilizando el criterio de Sheorey (1994), los esfuerzos in-situ horizontales estarían en el rango de (7,5 a 10) MPa.

CAPÍTULO IV

MÉTODO DE MINADO

4.1 ASPECTOS GENERALES

El método de minado utilizado en mina Andaychagua es el Corte y Relleno Descendente con losas de concreto armado. En este método de explotación las losas de concreto funcionan como un techo debajo del cual se continúa la explotación.

El minado se realiza debajo de las losas de concreto por el método de frontoneo, que consiste en extraer el mineral por medio de perforación horizontal en frentes de aproximadamente 4,5 m de altura y ancho correspondiente a la potencia de la veta. Se perforan taladros de 10' de profundidad, por cada disparo se rompe un aproximado de 150 t de mineral, cuya limpieza se realiza con scooptram y volquetes tal y como se ve en los gráficos. La mala calidad de la roca encajonante obliga la utilización de este método, sólo en ciertos sectores de la mina donde las cajas son roca volcánica se utiliza el método de Corte y Relleno Ascendente.

Los gráficos siguientes muestran la perforación en horizontal del método de frontoneo así como la limpieza del material roto.

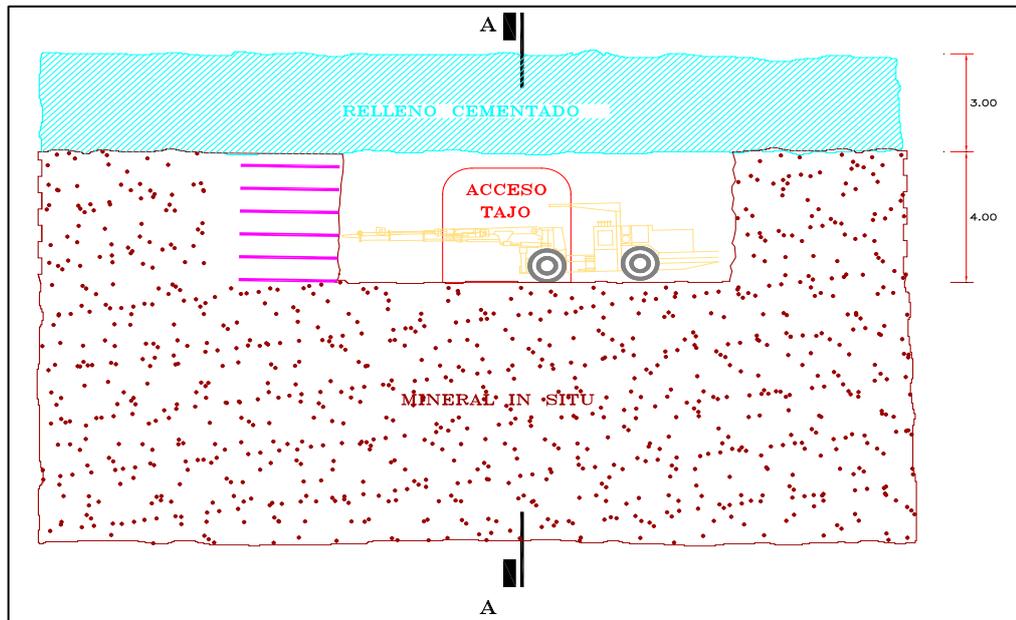


FIGURA 4.1: PERFORACIÓN EN HORIZONTAL

Fuente: Archivos departamento Geomecánica Mina Andaychagua.

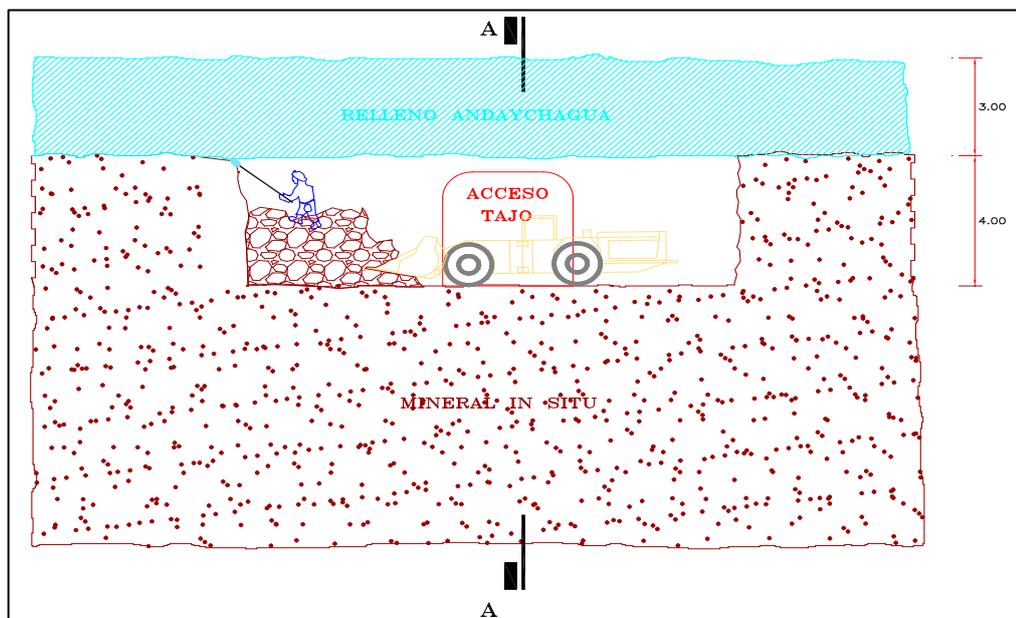


FIGURA 4.2: LIMPIEZA CON SCOOPTRAM

Fuente: Archivos departamento Geomecánica Mina Andaychagua.

Conforme se avanza con los disparos en horizontal el tajeo se va sosteniendo con shotcrete y pernos de acuerdo al LMA (Límite Máximo de Avance) correspondiente al tipo de roca.

Luego de concluir con la extracción del mineral sobre el piso del tajeo se construye la losa de concreto, y este ciclo se repite en forma descendente.

Para el relleno el tajeo se divide en paños y estos se rellenan en forma individual y continuada.

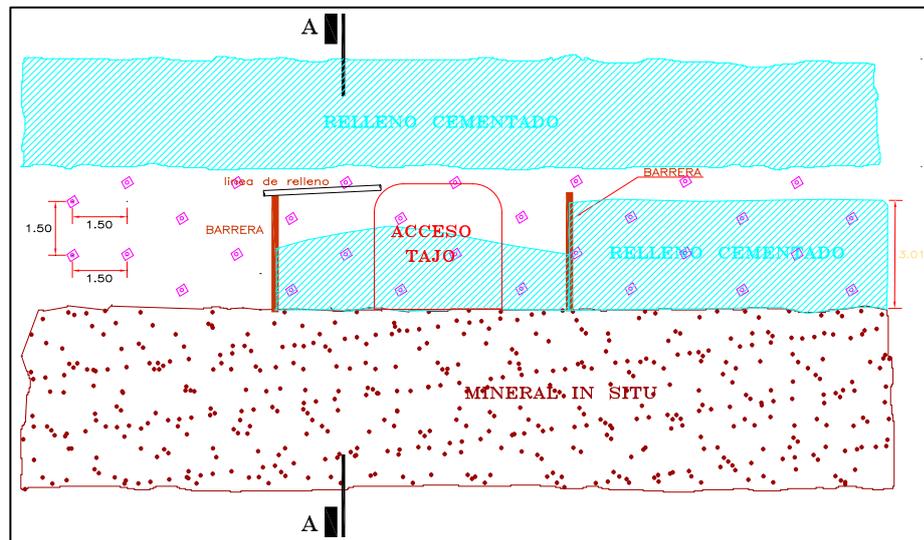


FIGURA 4.3: TAJEO EN PROCESO DE RELLENO

Fuente: Archivos departamento Geomecánica Mina Andaychagua.

4.2 DESARROLLO DE MINA

4.2.1 Rampas

Constituyen la principal vía de acceso, tienen una sección aproximada de 4,5 m x 4,5 m y gradiente de 12 %. Por lo general se elaboran en la parte central de cada tajeo y se sostienen con pernos helicoidales de siete pies.

4.2.2 By Pass

Constituyen los niveles principales de la mina, se construyen en forma paralela a la veta y están separados 50 m entre sí, tienen una sección aproximada de 4,5 m x 4,5 m. Se sostienen con pernos helicoidales de siete pies y en determinadas zonas, y de acuerdo a evaluación geomecánica, también se puede reforzar el sostenimiento con shotcrete.

4.2.3 Cruceros

Son excavaciones que sirven de acceso hacia la veta, se construyen a partir de los by pass y en forma perpendicular a estos, tienen una sección aproximada de 3,5 m x 3,5 m. Se sostienen con pernos split set de siete pies y ocasionalmente también con shotcrete si se requiere.

4.2.4 Accesos

Son excavaciones que sirven de acceso hacia la veta a partir de las rampas, tienen una sección aproximada de 3,5 m x 3,5 m, se sostienen con pernos split set y shotcrete de dos pulgadas.

Mediante los accesos y los cruceros se dará la extracción del mineral de los tajeos, ya que ocasionalmente estos también pueden ser usados como zona de carguío hacia los volquetes, los cuales haciendo uso de las rampas salen hacia superficie.

4.3 OPERACIONES UNITARIAS

4.3.1 Perforación y voladura

La perforación es horizontal con taladros de diez pies y una malla de corte quemado con taladros de pre corte.

Los explosivos usados son dinamitas de 60 %, fulminante número seis, guías de seguridad, conectores simples y cordón de encendido. Cuando se tiene presencia de agua se reemplaza la dinamita por gelatina.

4.3.2 Sostenimiento

El sostenimiento de los tajeos es con shotcrete de dos a cuatro pulgadas y posteriormente se colocan los pernos hydrabolt. En ciertas zonas de mayor criticidad se aplicarán sostenimientos más pesados de acuerdo a la evaluación y recomendación del departamento de geomecánica.

4.3.3 Limpieza y acarreo

Para la limpieza de mineral de los tajeos se utilizan los scoops diesel de seis yardas cúbicas que cargan el mineral directamente a los volquetes, los cuales transportan el mineral hacia superficie a una cancha especialmente acondicionada.

CAPÍTULO V

LOSAS DE CONCRETO

Las losas son bloques tabulares de concreto armado diseñadas y construidas para brindar un techo seguro cuando se explote el piso inferior inmediato. Estas estructuras resultan del vaciado del relleno cementado (concreto) dentro de los tajeos. Las losas llevan un sistema de refuerzo de fierro el cual le da rigidez y evita que pueda agrietarse debido a los esfuerzos de flexión. El relleno cementado debe alcanzar teóricamente a los 28 días una resistencia a la compresión de 160 kg/cm^2 , ya que esta es la resistencia estimada hasta la actualidad para mantener una buena estabilidad de la loza, pero en la práctica se alcanza una resistencia promedio de 210 kg/cm^2 .

Un tajeo que ha culminado su explotación por un determinado acceso ingresa a una etapa de preparación previa al relleno. El tajeo es dividido longitudinalmente en una serie de 'paños' de aproximadamente 12 m de largo cada uno, estos paños serán rellenos con concreto, uno por uno,

siguiendo una determinada secuencia, formando lo que conocemos como losas.

5.1 PREPARACIÓN DE UN TAJEO PARA RELLENO

Las labores de preparación de un tajeo previas al relleno se pueden agrupar en: perforación de cáncamos, elaboración de la barrera y la construcción del enmallado de fierros.

5.1.1 Marcado y perforación de cáncamos

Culminada la explotación del tajeo, tanto en la caja piso como en la caja techo se deberán marcar con pintura unos puntos que indicaran que ahí el jumbo debe perforar un taladro. Estos taladros se perforarán con un diámetro de dos pulgadas y obedecen la siguiente disposición:

- Se deben marcar los taladros con una distancia de separación entre ellos de 1,2 m en una misma fila.
- Si el ancho promedio del paño es menor a 6 m se marcara solo una fila de taladros.
- Si el ancho promedio del paño es mayor a 6 m se marcaran dos filas de taladros.
- La distancia del nivel del piso hacia la fila de taladros será de 15 cm; de haber dos filas, la distancia entre fila y fila también será de 15 cm.

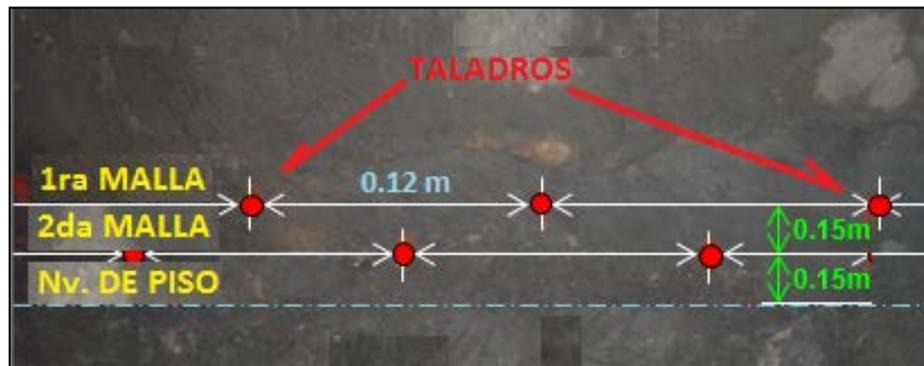


FIGURA 5.1: PINTADO DE CANCAMOS EN CAJAS PISO Y TECHO

Fuente: Elaboración propia.

5.1.2 Preparación de la barrera

Las barreras son estructuras compuestas básicamente de madera que sirven para dividir el tajeo en paños y, efectuar el relleno del mismo paño por paño, tienen una altura aproximada de 3,6 m y su ancho es el ancho de la sección del tajeo. Esta estructura es la encargada de retener el concreto mientras se está efectuando el relleno de un paño.

5.1.2.1 Elementos componentes de una barrera

Una barrera está compuesta por longarinas, marchavantes, redondos, tablas de 5" y 7".

a) Longarinas de 8" x 8" x 12'

Son unos tablonces de madera de eucalipto de sección transversal cuadrada y que son utilizados a manera de postes.

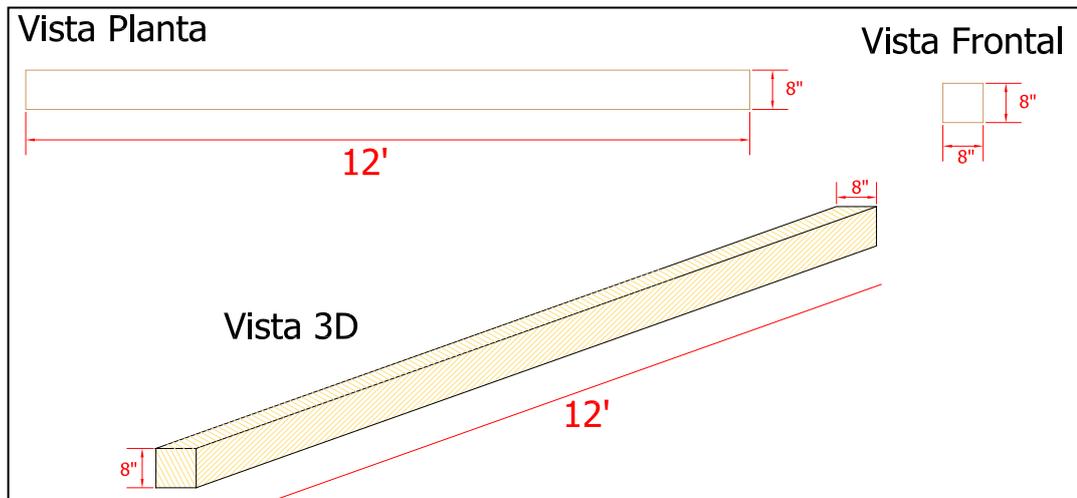


FIGURA 5.2: VISTAS Y DIMENSIONES DE UNA LONGARINA

Fuente: Elaboración propia.

b) Tablas de 2" x 6" x 7'

Son tablas de madera de eucalipto con las dimensiones ahí especificadas y que se utilizan para armar el enrejado, se colocan perpendicularmente a las longarinas en un número aproximado de 16 por plano, su diseño es como se aprecia en el gráfico.

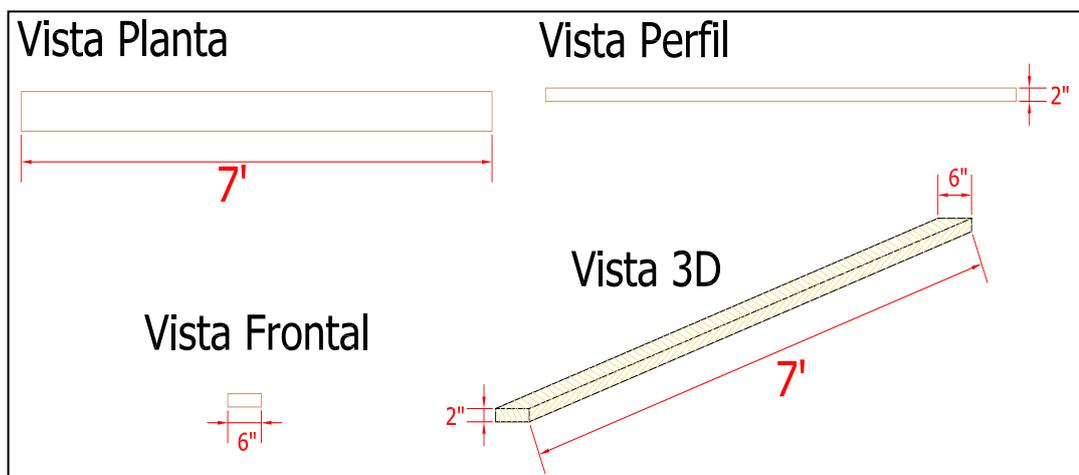


FIGURA 5.3: VISTAS Y DIMENSIONES DE UNA TABLA

Fuente: Elaboración propia.

c) Redondos de 8" x 10'

Son unos troncos de madera de eucalipto a partir de los cuales se elaboran tanto los "ángulos" como también los "topes" que son elementos que serán usados en la preparación de la barrera (más adelante se detalla este proceso), la geometría de un redondo se ilustra en el siguiente gráfico.

Los ángulos se utilizan para sostener a los postes y trabajan contra el empuje que generará el volumen de concreto sobre la barrera.

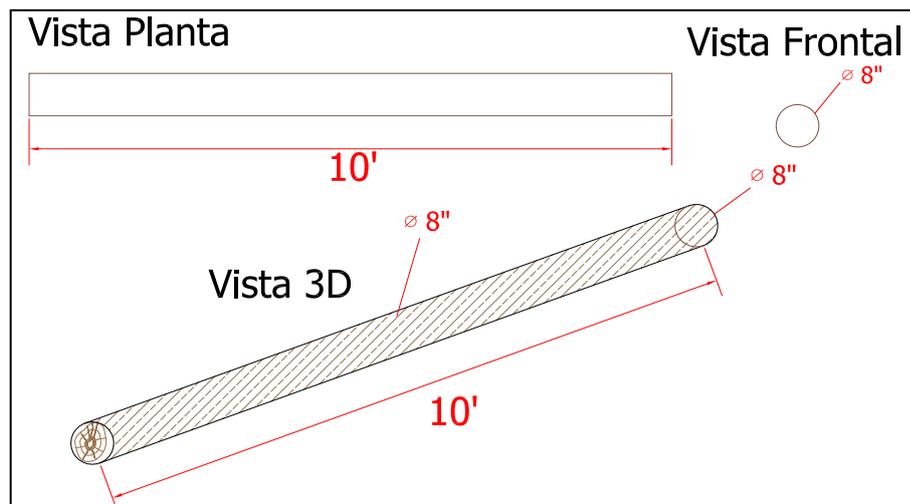


FIGURA 5.4: VISTAS Y DIMENSIONES DE UN REDONDO

Fuente: Elaboración propia.

d) Plantillas de 2" x 6" x 7'

Son unas tablas de madera de eucalipto que se colocan encima de los ángulos y unidos a la longarina y completan la altura del tajeo, su diseño se observa a continuación.

En la figura se observan las dimensiones y vistas de una plantilla.

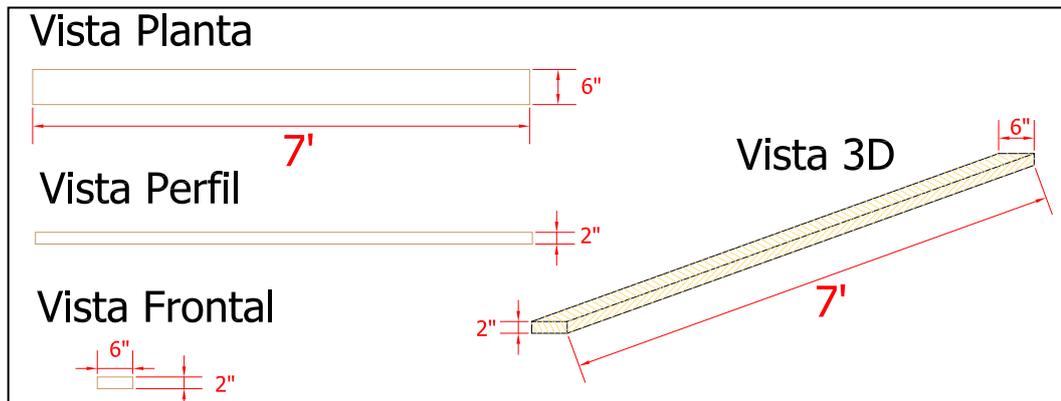


FIGURA 5.5: DISEÑO DE UNA PLANTILLA

Fuente: Elaboración propia.

5.1.2.2 Proceso de elaboración de una barrera

a) Elaboración de las patillas

Lo primero que se hace es construir las “patillas” que son unos hoyos donde se pararan las longarinas, estas patillas se encuentran en línea recta separadas siete pies de centro a centro, estas cavidades tienen una profundidad aproximada de 60 cm y un diámetro de 40 cm. Dependiendo de la dureza del terreno estas pueden ser elaboradas manualmente por medio de una barretilla y, en los casos de mayor dureza se utiliza una “patilladora” para picar el terreno. El número de patillas por barrera dependerá del ancho de esta, que es variable a lo largo del tajeo.

Las patillas son orificios que se hacen en el suelo a fin de servir de base para colocar las longarinas.



FIGURA 5.6: POSICIONAMIENTO DE LAS PATILLAS

Fuente: Elaboración propia.

El siguiente gráfico muestra un esquema de la vista en planta de la alineación que deben tener las patillas.

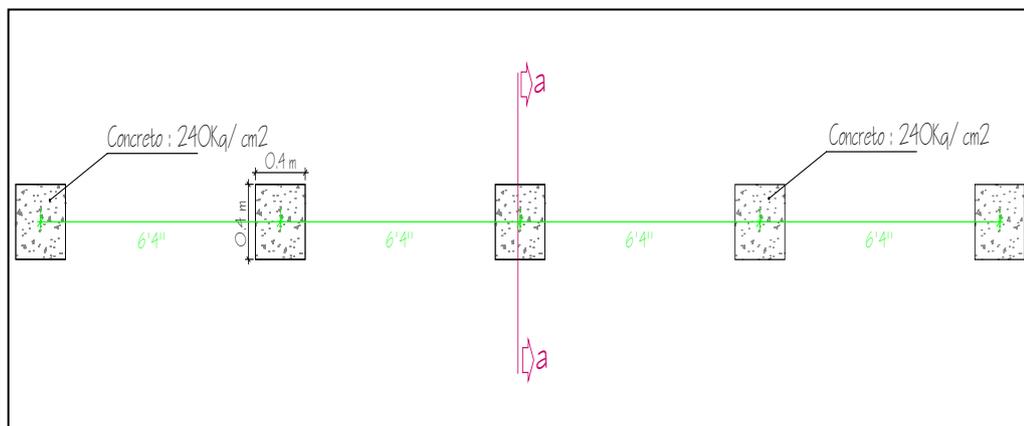


FIGURA 5.7: VISTA EN PLANTA DE LAS PATILLAS

Fuente: Elaboración propia.

La profundidad de las patillas depende de la dureza del terreno, siendo de 60 cm para terrenos suaves y de 50 cm para terrenos duros, como lo muestra el siguiente gráfico.

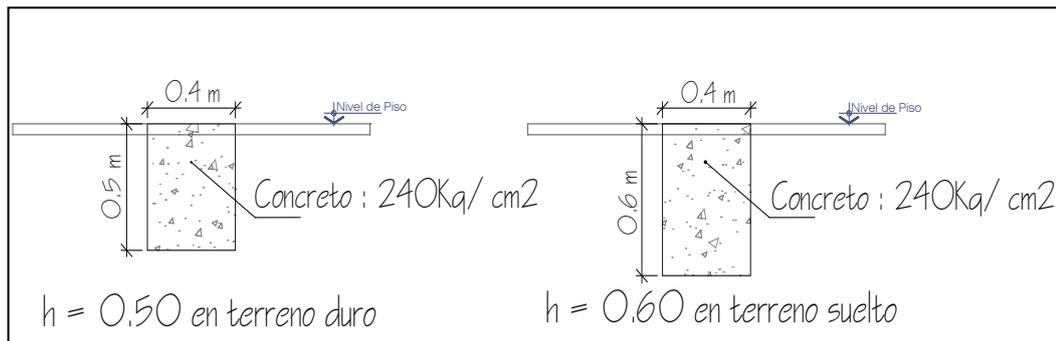


FIGURA 5.8: PROFUNDIDAD DE LAS PATILLAS

Fuente: Elaboración propia.

b) Posicionamiento de los postes (longarinas)

Una vez construidas las patillas se procede a colocar los “postes”, que son las longarinas de 8” x 8” x 12’, sobre estas en posición perpendicular al terreno, rellenándose con concreto de 240 kg/cm² el espacio sobrante entre el poste y la patilla.

El colocado de los postes es netamente manual y se debe verificar que se mantenga una correcta verticalidad.

Por lo general una barrera está conformada por cinco postes, aunque esto va depender del ancho de la barrera, los cuales están separados una distancia de 6’ 4” medida de eje a eje de los postes.

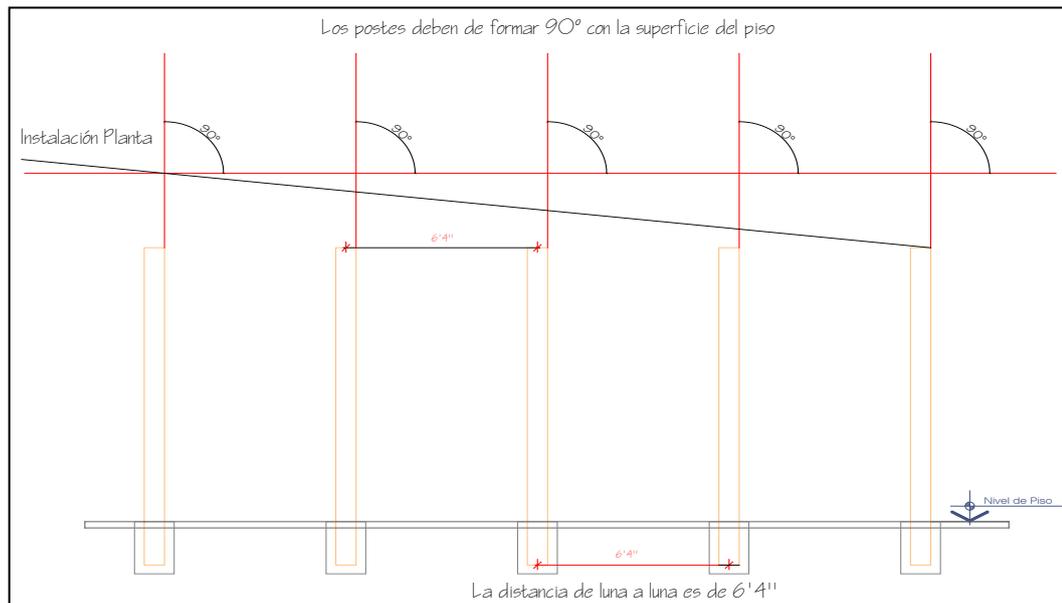


FIGURA 5.9: DISTRIBUCIÓN DE LOS POSTES EN LA BARRERA
Fuente: Elaboración propia.

c) Colocado del enrejado de madera

Culminado el colocado de los postes se prosigue con el enrejado, que consiste en colocar 16 tablas de madera de 2" x 6" x 7' entre poste y poste, estas se aseguran en forma perpendicular a los postes, mediante clavos de 5" y 7", y dejando un espacio de 3" entre ambos, así mismo el traslape entre dos tablas no debe ser mayor que el ancho de la longarina, es decir 8".

La figura siguiente muestra una vista frontal de cómo se vería la barrera una vez culminado la colocación del enrejado.

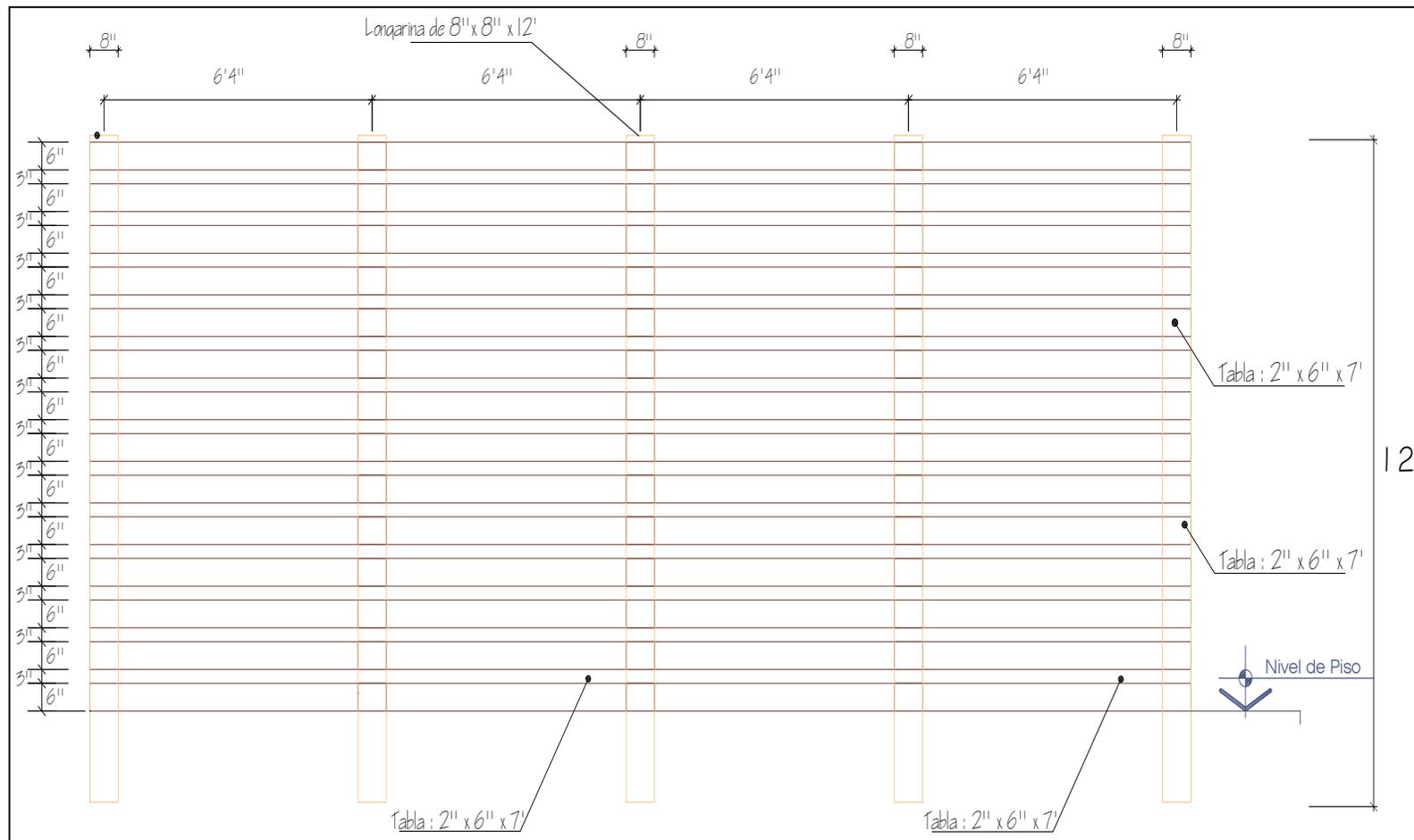


FIGURA 5.10: DISPOSICION DE LOS POSTES Y EL ENREJADO DE MADERA
 Fuente: Elaboración propia.

d) Posicionamiento de los ángulos

Luego se procede con la elaboración de las patillas para los “ángulos”, las cuales deben ser de aproximadamente 40 cm dependiendo esto de las características del terreno.

Los “ángulos” son redondos de madera de eucalipto que se deben colocar apoyados en el punto medio de los postes y haciendo 45° con estos, como se muestra en el gráfico.

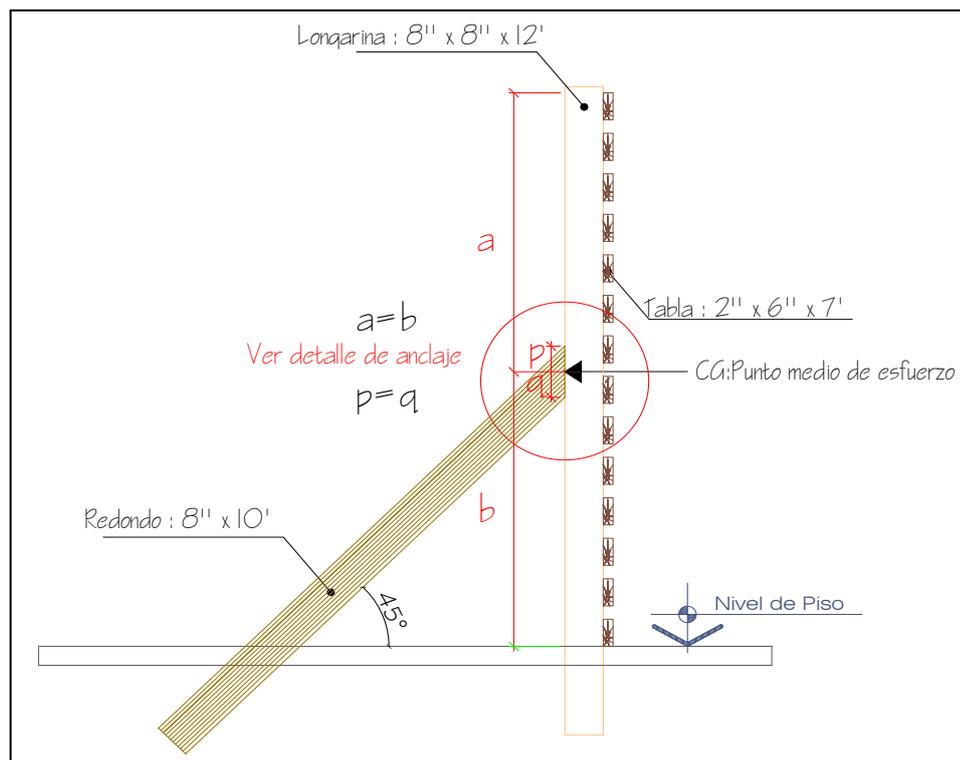


FIGURA 5.11: UBICACIÓN DEL ÁNGULO COMO REFUERZO DE LOS POSTES
Fuente: Elaboración propia.

Los ángulos también se cementan a sus patillas y su función es la de brindar un soporte contra el empuje producto del concreto en estado fresco.

e) Colocado de plantillas

Posteriormente se colocan las plantillas, tablas de 2" x 6" x 7', en la parte superior de los ángulos y pegadas a las longarinas, su objetivo es evitar que producto del empuje del concreto fresco, los ángulos puedan deslizarse hacia arriba.

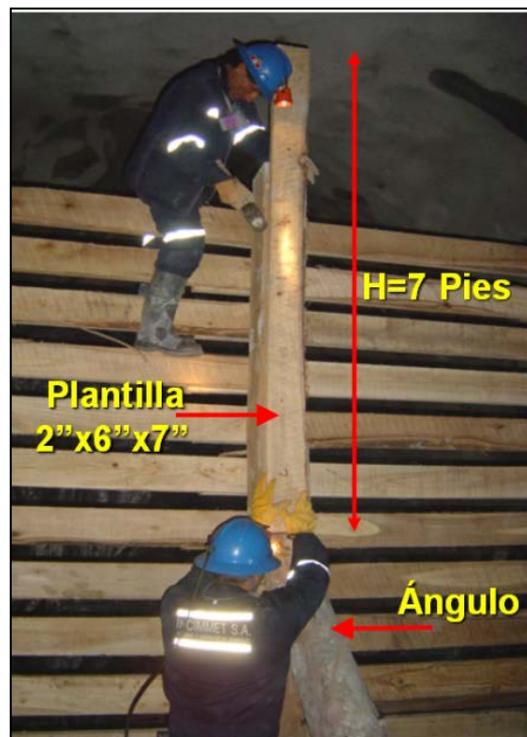


FIGURA 5.12: COLOCADO DE PLANTILLAS

Fuente: Elaboración propia.

El diagrama siguiente muestra la barrera con sus plantillas ya colocadas (en color verde), donde también se observa cómo va quedando la estructura hasta ahora conformada.

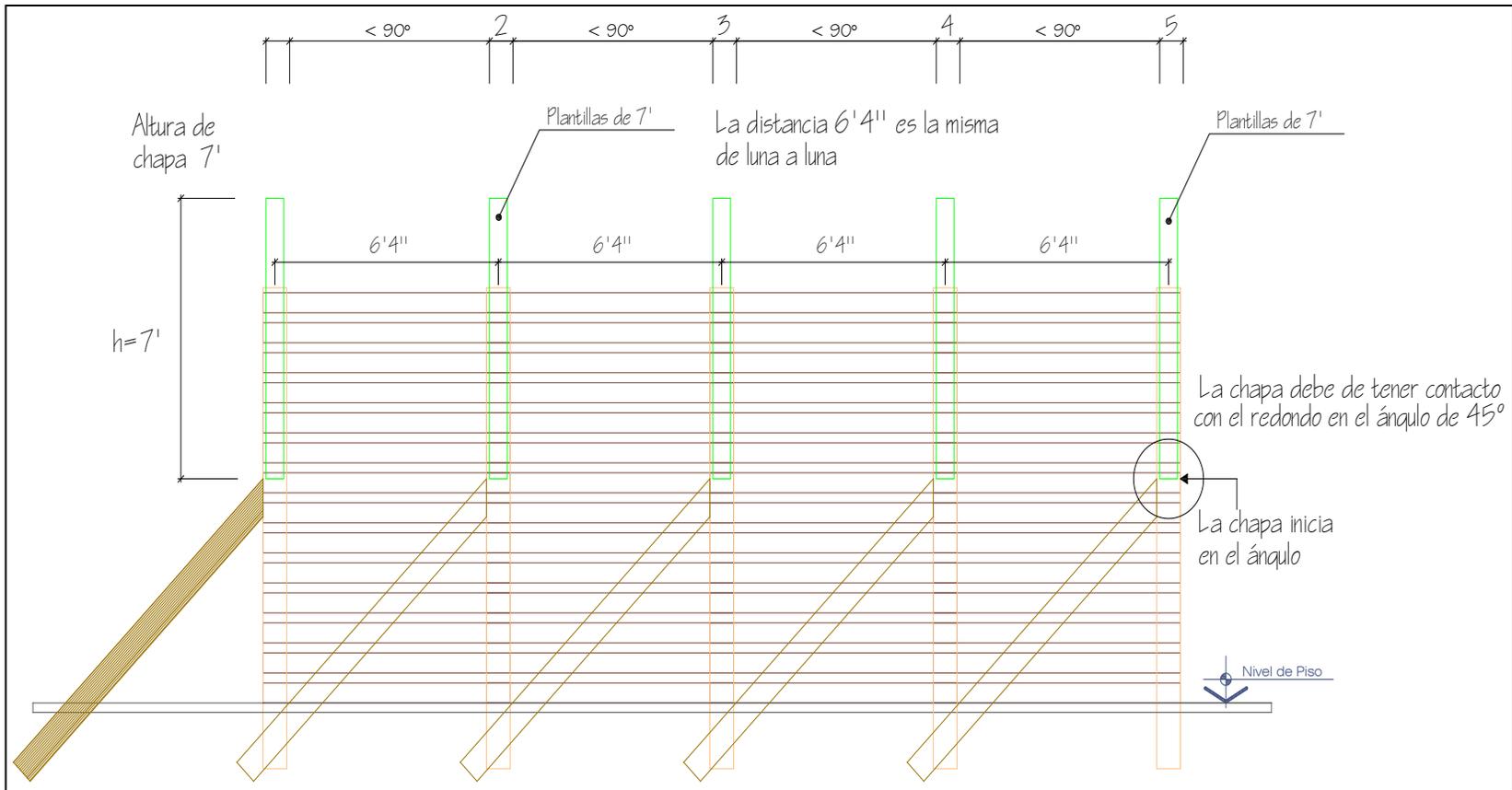


FIGURA 5.13: ESTRUCTURA DE LA BARRERA HASTA AHORA CONFORMADA
Fuente: Elaboración propia.

f) Perforación de cáncamos para las alcayatas

Los cáncamos son de 1,5 m de profundidad y 2" de diámetro y se perforan a una altura aproximada de la mitad de la barrera. Luego de perforados los cáncamos (a ambos lados de la barrera) se colocan las alcayatas, que son unas varillas de fierro corrugado de 1" de diámetro, las que también son aseguradas con una lechada de cemento para garantizar su adherencia a las cajas.

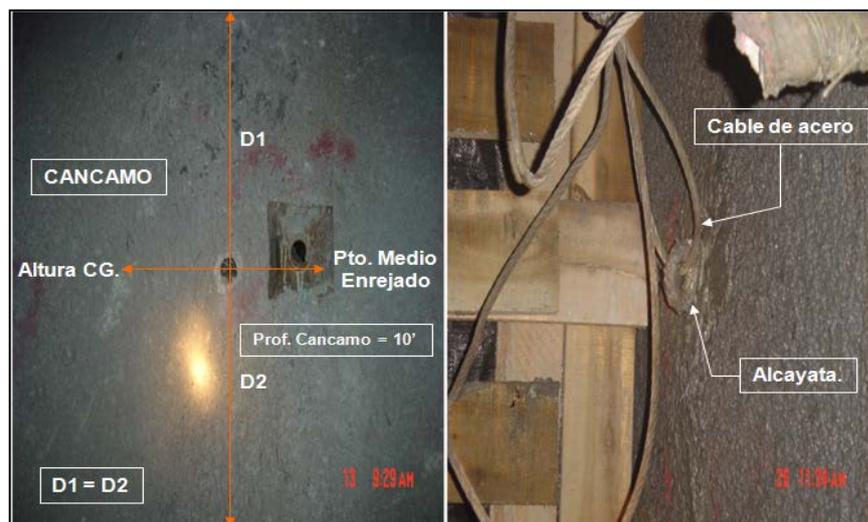


FIGURA 5.14: COLOCADO DE ALCAYATA PARA SUJETAR CABLE

Fuente: Elaboración propia.

g) Colocado del cable de acero y de topes

Para asegurar los postes contra el suelo de la labor se cruza un cable acerado (Cable AC ½" ALMA AC 6 x 9 TORSION DERECHA) a lo largo de todo el ancho de la barrera y sujetado de cada poste. El cable de acero se amarra en las argollas de las alcayatas, luego se procede a colocar los topes

(redondos de eucalipto de 6" de diámetro) a presión con el objetivo de tensar el cable.

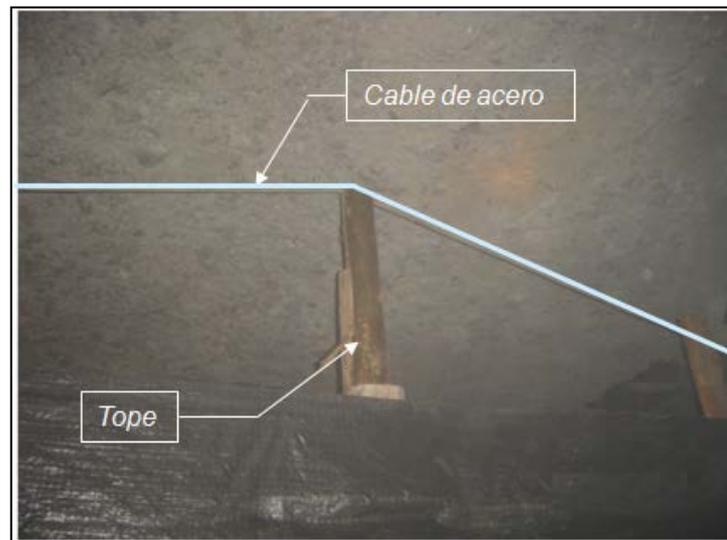


FIGURA 5.15: CABLE DE ACERO TENSADO POR LOS TOPES

Fuente: Elaboración propia.

h) Colocado de la tela arpillera

Luego se procede a colocar la tela arpillera con el propósito de hermetizar la barrera, teniendo cuidado de cubrirla en su totalidad para evitar que el relleno escape. Con el colocado de la tela arpillera termina el proceso de elaboración de la barrera, quedando la misma como se muestra en la gráfica de la página siguiente.

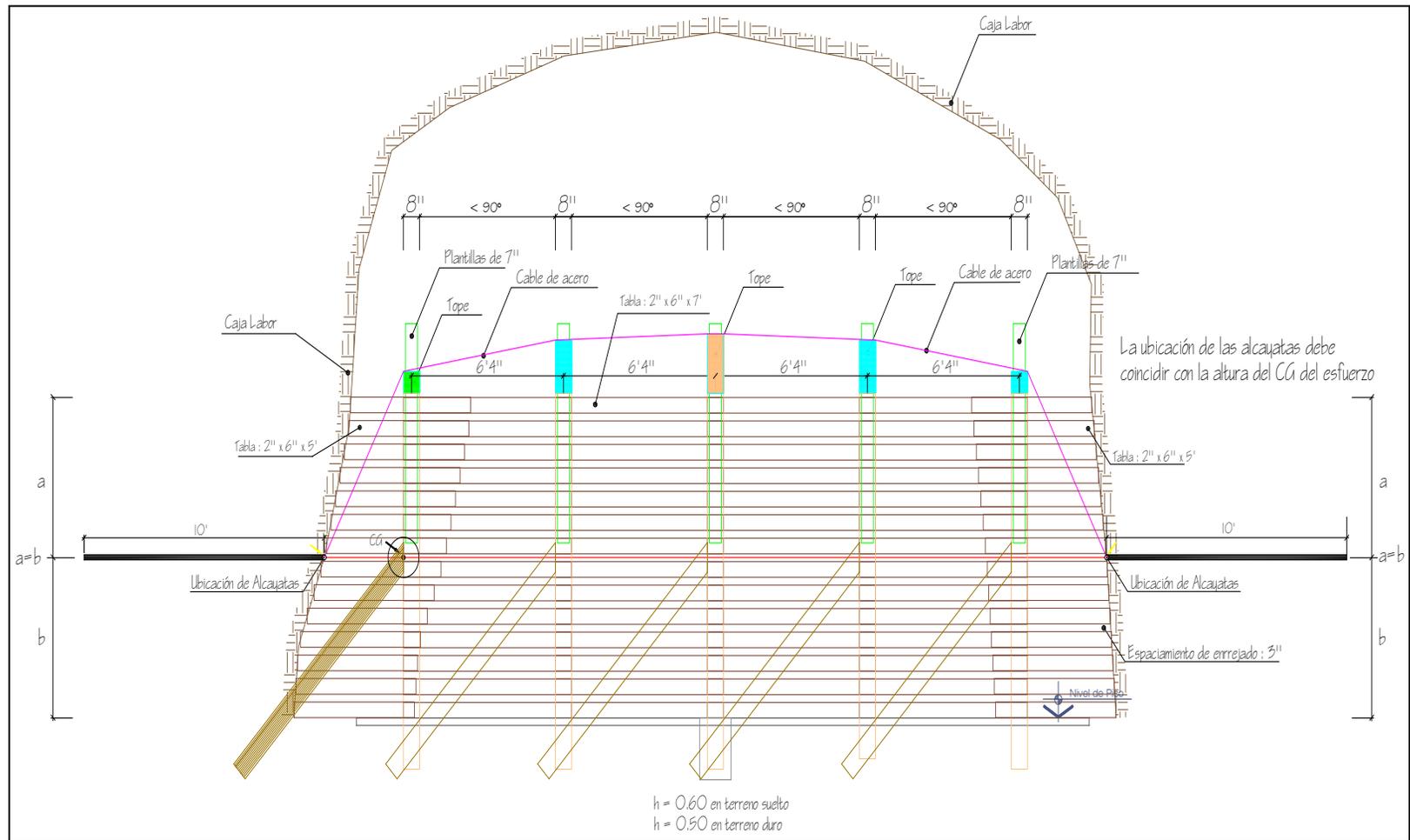


FIGURA 5.16: DISEÑO DE UNA BARRERA TERMINADA
Fuente: Elaboración propia.

5.1.3 Enmallado de Fierros

Son estructuras compuestas básicamente de madera que sirven para retener el concreto cuando se está rellenando un paño, a la vez estas estructuras sirven para dividir un tajo en paños.

5.1.3.1 Elementos que componen el enmallado de fierros

El enmallado de fierros está conformado por la malla soldada, pernos inyectados, eles, largueros, zetas y omegas.

a) Malla soldada

Son rollos de malla electro-soldada de 4" x 4", cada rollo tiene un ancho de 2 m y largo de 6 m. Estas mallas se estiran y se tienden a lo largo de todo el piso del paño.

El objetivo de la malla es proporcionar resistencia a la tracción en la superficie de la loza que quedará expuesta cuando se mine por debajo y así evitar su fisuramiento; también evita la caída de 'lajas' de concreto, que pueden producirse en aquellos tajeos con preponderante presencia de agua que lava el cemento de la mezcla.

La malla soldada se tiende de la caja piso a la caja techo sobre el suelo y dejando un traslape de 30 cm.

Diagrama de mallas tendidas a lo largo de un tajeo donde se puede observar el traslape entre ellas.

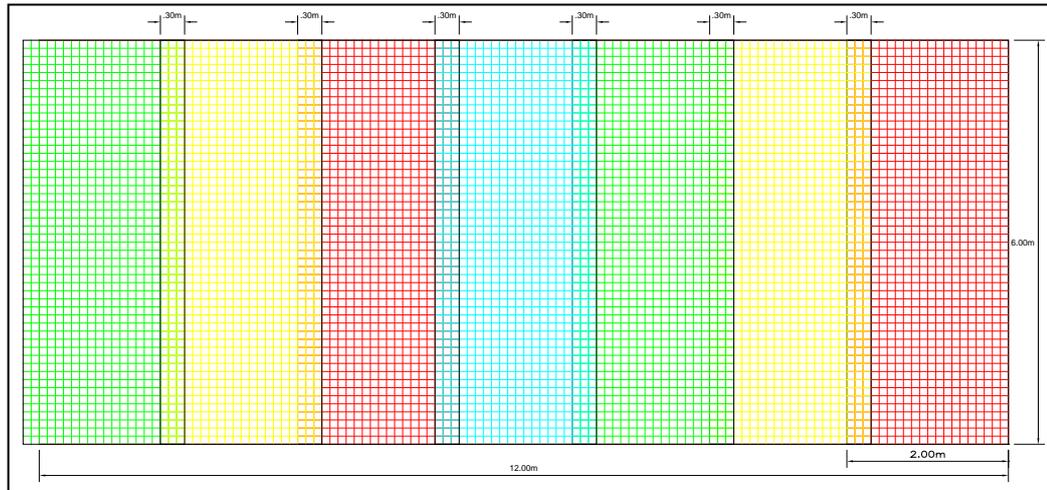


FIGURA 5.17: MALLA SOLDADA TENDIDA

Fuente: Elaboración propia.

b) Pernos inyectados

Son varillas de fierro corrugado de 1" de diámetro y 4,5 m de longitud que son anclados hasta 3 m dentro de las cajas quedando libre 1,5 m para el amarre con otros elementos del enmallado de fierros como se verá más adelante.

Estos pernos se inyectarán en los cáncamos, previamente marcados y perforados que están espaciados 1,2 m, por medio de una lechada de cemento ingresada con aire a presión. La finalidad de estos pernos inyectados es anclar la losa a las cajas dándole una mayor resistencia al corte en el contacto losa con pared, así mismo soporta todo el peso de la losa.

Los taladros para los pernos se perforan a 15 cm del suelo y con un diámetro de 2", tal y como lo muestra la siguiente figura.

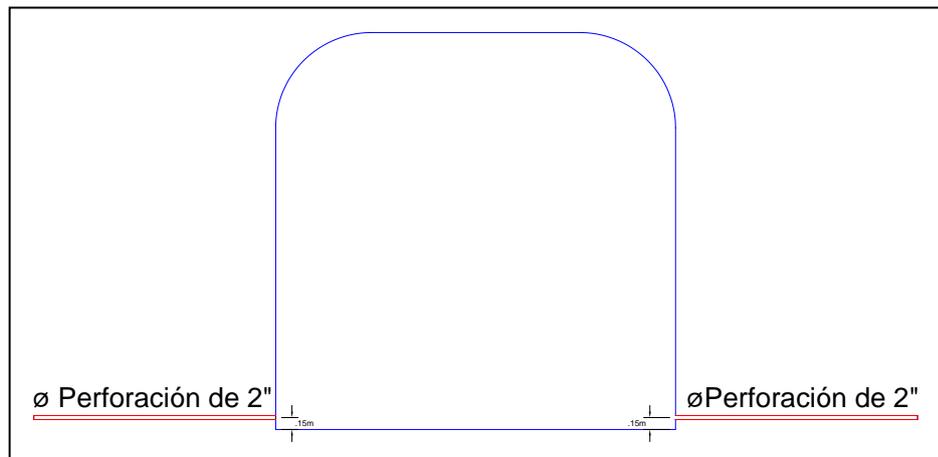


FIGURA 5.18: PERNOS INYECTADOS A LAS CAJAS

Fuente: Elaboración propia.

c) Eles

Son varillas de fierro corrugado de 1" de diámetro en forma de "ele". Las eles son de siete medidas, en todas ellas el lado menor mide un metro y el lado mayor varía desde los dos a los ocho metros (2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 m). Las eles se colocan a lo largo del ancho del tajeo, alternando con los pernos inyectados, de tal manera que estén distanciados 40 cm.

El hecho que existan siete tamaños de eles obedece a que están tienen que adaptarse a los anchos variables de un tajeo.

d) Largueros

Son varillas de fierro corrugado de $\frac{3}{4}$ " de diámetro que se colocan a lo largo del paño, en forma perpendicular a los pernos inyectados y a las eles, separados entre sí una distancia de 60 cm.

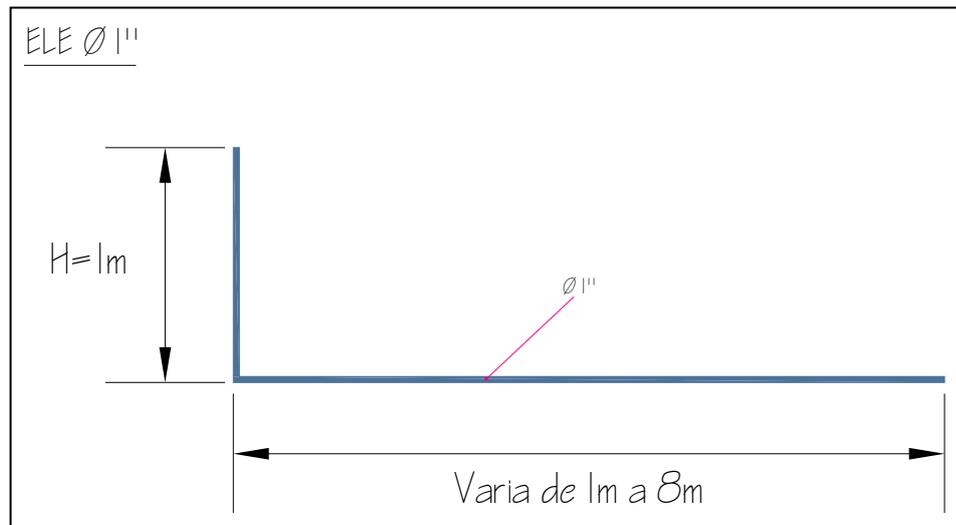


FIGURA 5.19: DISEÑO DE LAS ELES

Fuente: Elaboración propia

e) Zetas

Son varillas de fierro corrugado de $\frac{3}{4}$ " de diámetro y de 3 m de longitud, doblado en forma de "zeta" a 50 y 75 cm de sus extremos. Las zetas son instaladas verticalmente y tienen un espaciamiento, visto en planta, de 1,2 m x 1,2 m (medida en transversal por longitudinal). La función de las zetas es la de mantener a la losa de concreto como un solo cuerpo, en caso de que se formen las "juntas frías" producto de paradas intempestivas ocurridas durante el proceso de relleno de un paño.

En la siguiente figura se muestra las dimensiones y geometría de una zeta.

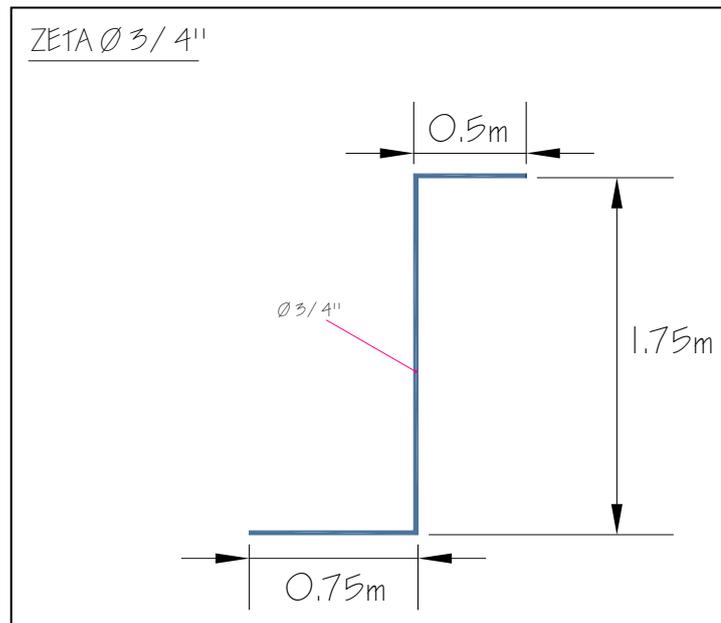


FIGURA 5.20: DISEÑO DE LAS ZETAS
Fuente: Elaboración propia.

f) Omegas

Son varillas de fierro corrugado de $\frac{3}{4}$ " de diámetro y 1,5 m de longitud, dobladas en forma de "Ω" y que permiten la sujeción de la malla electrosoldada con el nivel de enfierrado. También cumple la función de amarrar los dos niveles de enfierrado en el caso de potencias de vetas mayores a 6 m.

En el enmallado de fierros la distancia entre dos omegas de la misma fila es 2 m y la distancia entre omegas de filas diferentes es de 1,2 m.

Tanto las zetas como las omegas cumplen funciones específicas dentro del armado de la estructura de fierros que se detallarán más adelante.

Las omegas se doblan en frío hasta que adoptan la forma que se muestra en la figura.

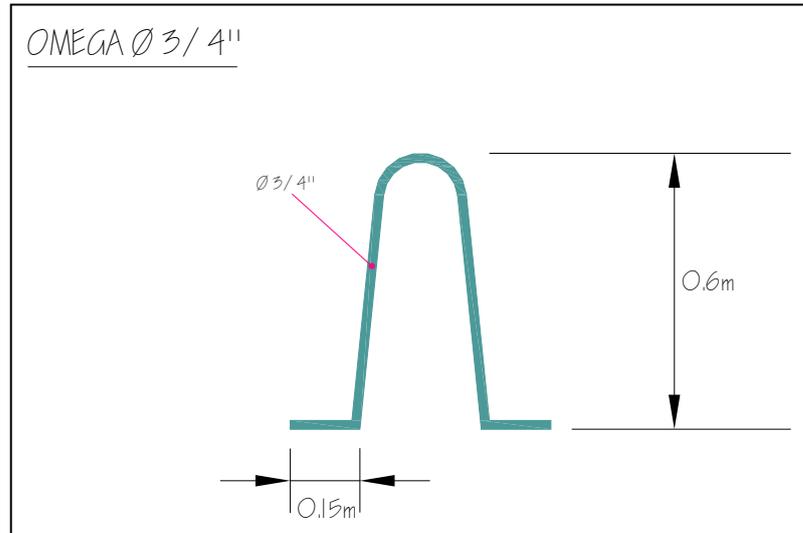


FIGURA 5.21: DISEÑO DE LAS OMEGAS

Fuente: Elaboración propia.

g) Espaciadores (adoquines)

Son cilindros de concreto, de una mezcla pobre, cuya función es la de mantener el estándar de separación de 15 cm entre la malla electro-soldada y el enfierrado.

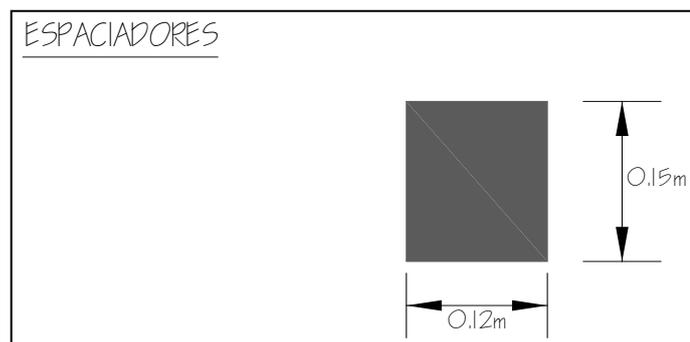


FIGURA 5.22: ESPACIADORES

Fuente: Elaboración propia.

5.1.3.2 Elaboración del enmallado de fierros

La construcción del enmallado de fierros se puede realizar prácticamente en paralelo a la construcción de la barrera.

a) Tendido de malla electro-soldada

Se procede a colocar las mallas electro-soldadas, las cuales deben tener un traslape entre malla y malla de aproximadamente 30 cm y deben abarcar una altura de 60 cm en las cajas.



FIGURA 5.23: ALTURA DE LAS MALLAS SOBRE LAS CAJAS
Fuente: Elaboración propia.

b) Colocación de los pernos inyectados

Se insertan los pernos inyectados en los cáncamos, rellenando el espacio sobrante con lechada de cemento que se introduce con aire comprimido dentro de los taladros. Los pernos inyectados se introducen tres metros en las cajas, quedando 1,5 m libres para el traslape entre pernos.

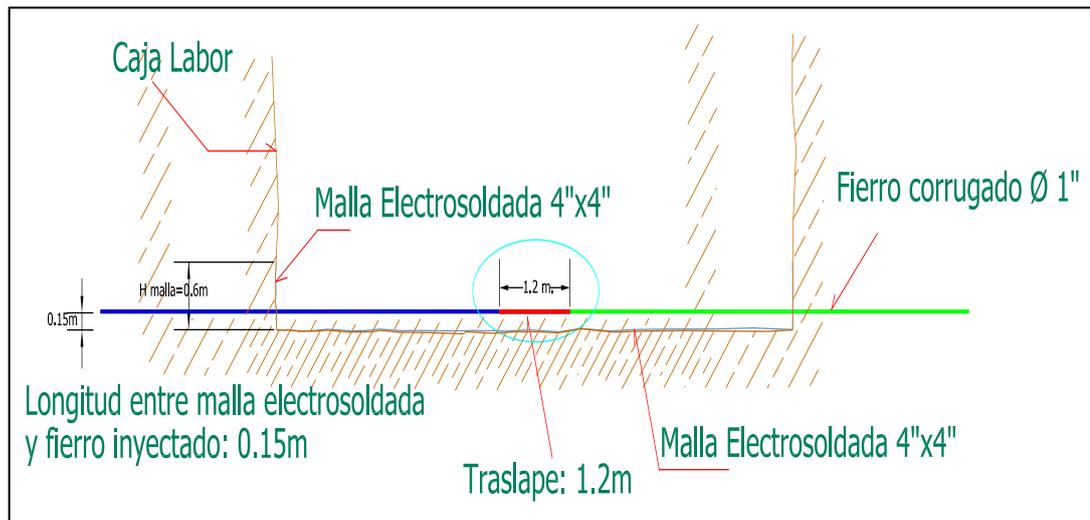


FIGURA 5.24: DISPOSICIÓN DE LOS PERNOS (PERFIL)

Fuente: Elaboración propia.

c) Tendido de las “eles”

La construcción de la malla continua con el tendido de las ‘eles’. Las eles se colocan entre dos pernos inyectados de tal manera que la distancia entre perno y ele sea de 40 cm, y la distancia entre ele y ele sea también de 40 cm. Entre las eles que se colocan para el lado de la caja piso y la caja techo existe un traslape, que por lo general es de 1,2 m aunque esto se ajusta a las condiciones del terreno.

En el gráfico adjunto se observan dos eles colocadas en caja piso y techo, así como el traslape entre ellas.

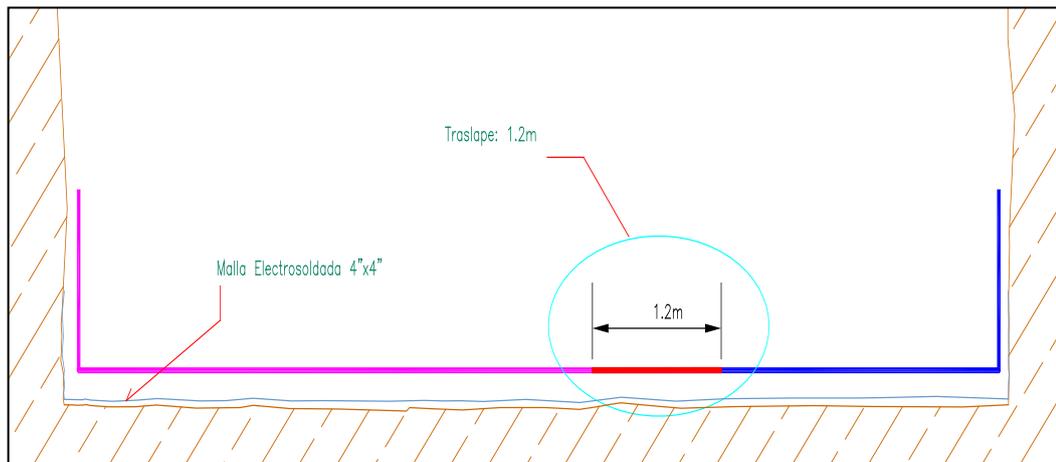


FIGURA 5.25: VISTA DE PERFIL DE LA PRESENTACIÓN DE LAS ELES

Fuente: Elaboración propia.

d) Tendido de largueros

Se prosigue con el tendido de los largueros, que se colocan a lo largo del paño y en forma perpendicular a los pernos y las eses, están separados 60 cm entre larguero y larguero, formando una celda rectangular de 40 cm por 60 cm.

Los largueros se sujetan al resto de la estructura también por medio de alambre número 16.

Con el tendido de los largueros se culmina la construcción de la malla propiamente dicha y lo siguiente es colocar los 'elementos' en el enmallado de fierros.

Si es que el ancho del tajeo fuera en promedio mayor a seis metros debería elaborarse una doble malla y el proceso hasta aquí descrito debería repetirse, y luego continuar con el procedimiento como sigue.

La figura siguiente muestra las vistas de planta y perfil que adoptarán los largueros en el tajeo.

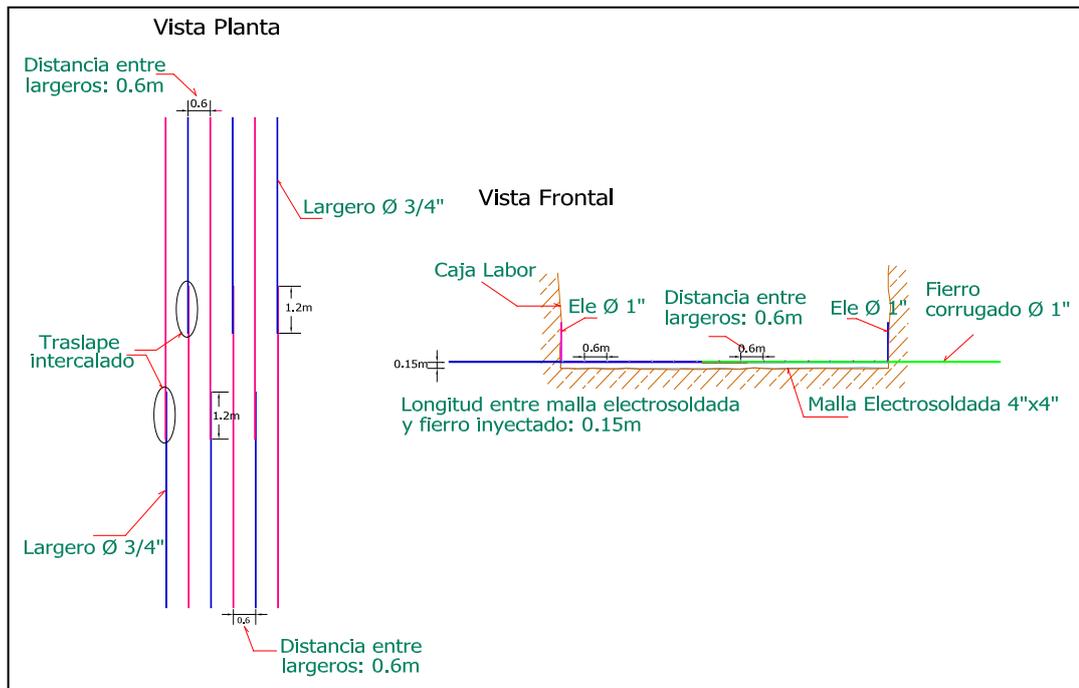


FIGURA 5.26: VISTAS DE LA DISPOSICIÓN DE LOS LARGUEROS

Fuente: Elaboración propia.

e) Colocado de los espaciadores

Los espaciadores, también llamados adoquines, se colocan entre la malla y el nivel del piso, y de existir malla doble también se colocan entre la primera y la segunda malla, con el objetivo de mantener una separación de 15 cm .

El adoquín funciona manteniendo la distancia de 15 cm entre mallas y entre malla y suelo.

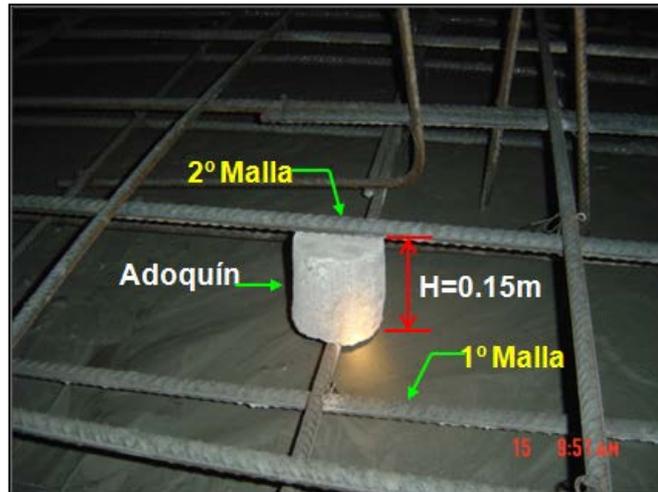


FIGURA 5.27: COLOCADO DE LOS ESPACIADORES
Fuente: Elaboración propia.

f) Colocado de las zetas

Las zetas se colocan en posición vertical en los puntos de intersección de los largueros con los pernos inyectados, es decir mantienen una distancia de separación de 1,2 m.

Desde una vista en planta las zetas se ubicarán en las esquinas de un cuadrado de 1,2 m, conservando esta característica a lo largo de toda la estructura. Dentro de la estructura las zetas funcionan como una especie de 'grampa' que sujeta la losa contra posibles fisuras que puedan surgir dentro de ella. Diversos motivos pueden generar una parada intempestiva del proceso de relleno generando lo que se conoce como "juntas frías", es entonces donde las zetas unen estas falsas losas para que la estructura se comporte como un solo cuerpo.

En la figura se observa la distribución de las zetas dentro del enrejado desde una vista en planta.

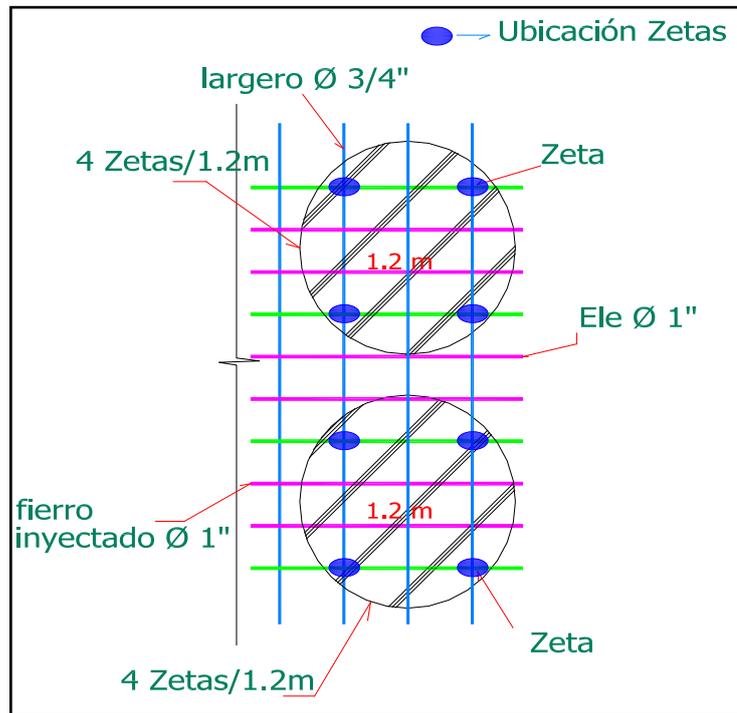


FIGURA 5.28: DISTRIBUCIÓN DE LAS ZETAS (PLANTA)

Fuente: Elaboración propia.

g) Colocado de omegas

Las omegas van distanciadas 2 m y colocadas en medio de las filas donde se encuentran las zetas.

Los gráficos siguientes son una foto de interior mina que muestra el colocado de las omegas (izquierda) y la otra es una vista en planta donde se observa la disposición de las omegas en el enmallado.

El gráfico a la izquierda muestra en puntos azules y rojos la ubicación de las zetas y omegas respectivamente en el enmallado de fierros. a la derecha se muestra la distancia existente entre omegas.

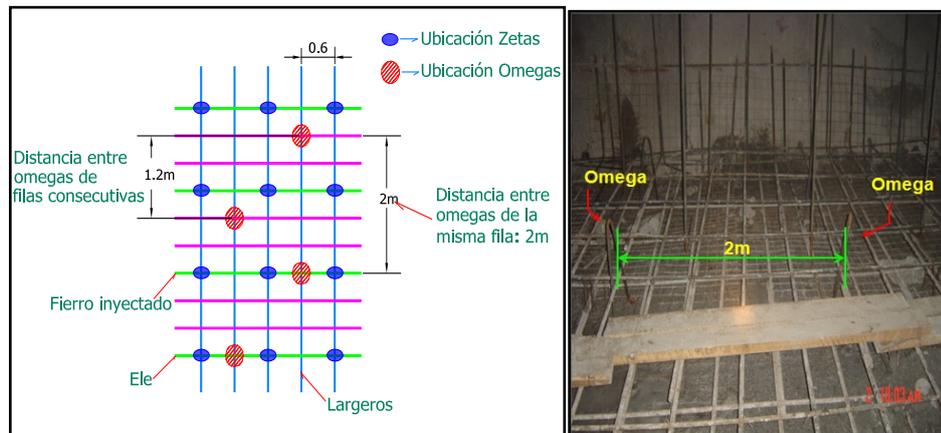


FIGURA 5.29: DISTRIBUCIÓN DE LAS OMEGAS

Fuente: Elaboración propia.

Con el colocado de las omegas culmina el proceso de elaboración del enmallado de fierros.

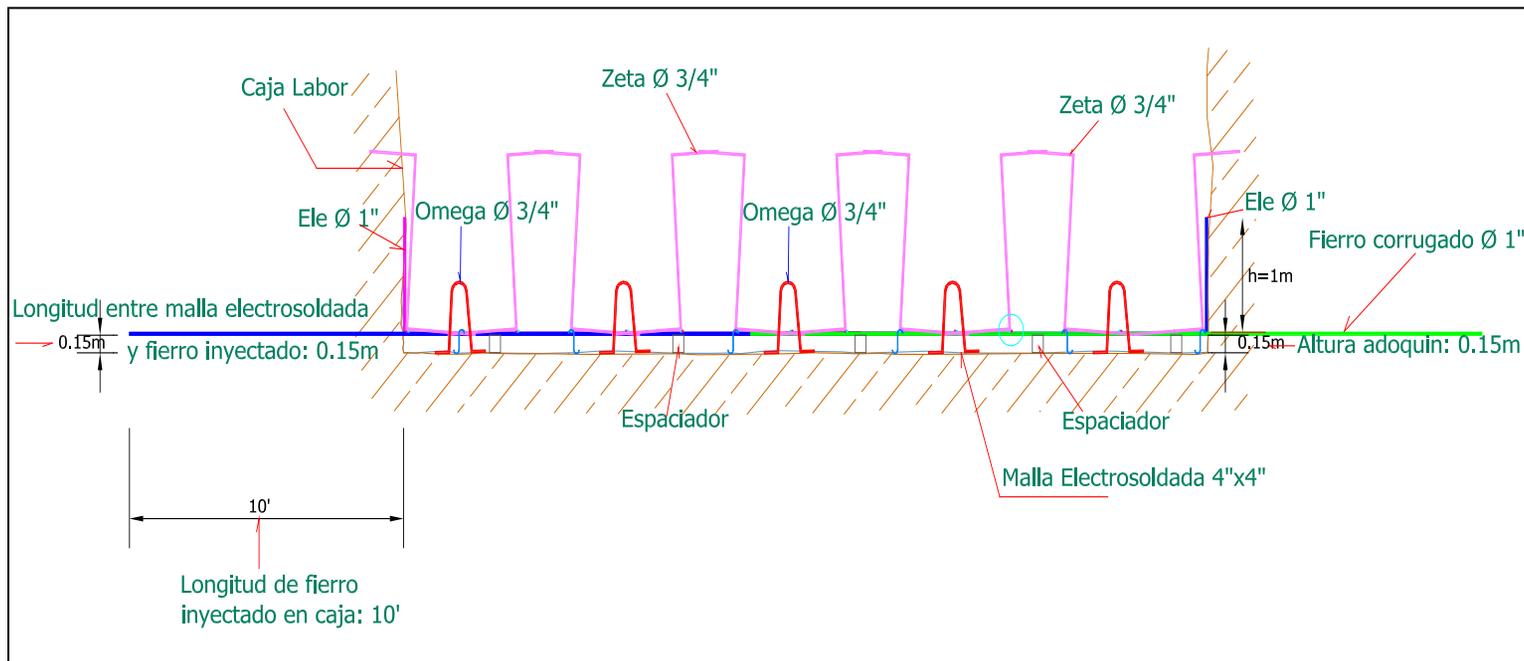


FIGURA 5.30: VISTA DE ESTRUCTURA DE FIERROS (PERFIL)

Fuente: Elaboración propia.

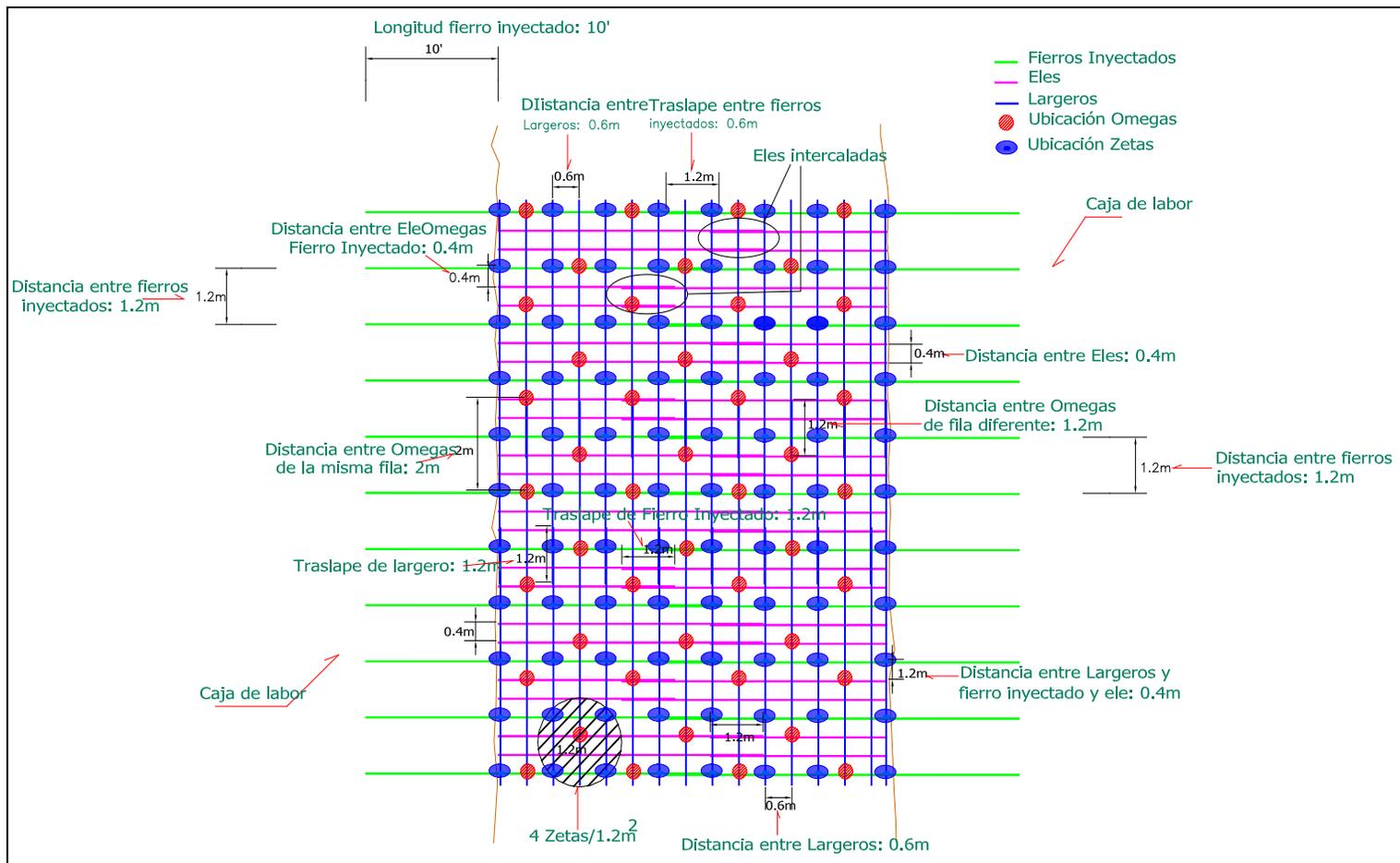


FIGURA 5.31: VISTA DE ESTRUCTURA DE FIERROS (PLANTA)

Fuente: Elaboración propia.

5.2 CONSUMO DE SUMINISTROS Y SERVICIOS

5.2.1 Suministros

En condiciones normales, mensualmente se prepara y se rellena un promedio de 35 a 40 paños en mina Andaychagua, estos tiene un ancho promedio de 6,26 m y un largo de 12 m.

Las losas de concreto armado representan un alto costo sobre el total de mina, aproximadamente 33% de los US\$/t de mina (según data recopilada del año 2012), y de los costos propiamente del relleno cementado, hablando de los materiales utilizados en la preparación del concreto en sí como de la preparación del tajeo para el relleno, los índices más altos corresponden al cemento (6,33 US\$/t), barras de fierro corrugado de 1" y ¾" de diámetro (1,60 US\$/t), arena gruesa (0,92 US\$/t) y los aditivos EUCO 537 y EUCO WASH OUT (0,75 US\$/t).

a) Cemento

El cemento representa el costo más alto en las actividades del relleno cementado, 114 US\$/t de cemento; a un ritmo de consumo de 0,3 t/m³ de concreto. El cemento utilizado es un cemento tipo I portland a granel, que es transportado a las instalaciones de planta relleno por medio de bombonas de 30 t cada una.

b) Barras de fierro corrugado de 1" y ¾" de diámetro

El fierro se consume en un promedio de 108 t/mes (70 t de fierro corrugado de 1" y 38 t de fierro corrugado de ¾") distribuidos entre todos los elementos que constituirán la losa como ya se vio previamente. El consumo de fierros detallado por elementos se aprecia en la siguiente tabla.

TABLA 5.1: CONSUMO PROMEDIO MENSUAL DE FIERRO POR ELEMENTOS

Elemento	Dimensión	Consumo (un)	Consumo (t)	% Peso
Omegas	Ø 3/4" x 1,5 m	1.164	3,9	3,6%
Zetas	Ø 3/4" x 3,0 m	2.043	13,7	12,7%
Inyectados	Ø 1" x 4,5 m	774	13,84	12,9%
Largueros + traslape	Ø 3/4" x 9,0 m	998	20,07	18,7%
Eles + traslape	Ø 1" x (2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8) m	1.694	55,56	51,7%
Cáncamos	Ø 1" x 1,5 m	74	0,44	0,4%

Fuente: Elaboración propia.

c) Arena

La arena gruesa que se trae de las canteras es el siguiente suministro en cuanto a importancia (por su costo), su consumo promedio mensual es de 4.500 m³/mes y tiene un costo de 22 US\$/m³.

d) Aditivos

Los aditivos utilizados en la preparación del concreto son el Euco 537 y el Euco Wash Out, su consumo por diseño es de 3 l/m³ y 0,3 l/m³ respectivamente. Su consumo promedio mensual es de 38.800 kg para el

Euco 537 y 3.700 kg para el Euco Wash Out, y su costo es de 1,16 US\$/kg y 2,02 US\$/kg en ese mismo orden.

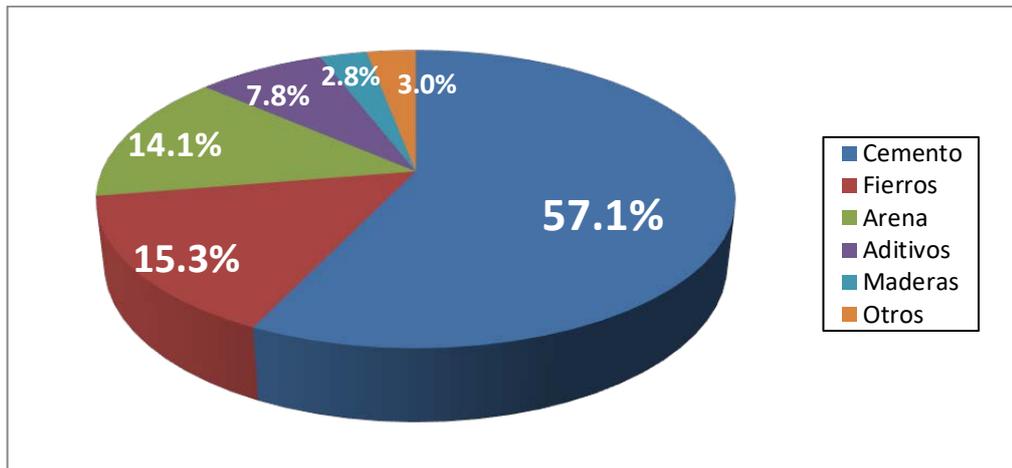


FIGURA 5.32: COSTO DE PRINCIPALES SUMINISTROS

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2 Servicios

En cuanto a los servicios que involucra el relleno cementado, los más representativos, en cuanto al costo, son: la instalación de línea de tuberías, el enmallado de fierros, el preparado de paños para relleno, el servicio de cargador frontal y el transporte de cemento a granel.

Todos estos servicios los brindan terceros y su influencia sobre el costo total de servicios en promedio es como se muestra en la figura adjunta.

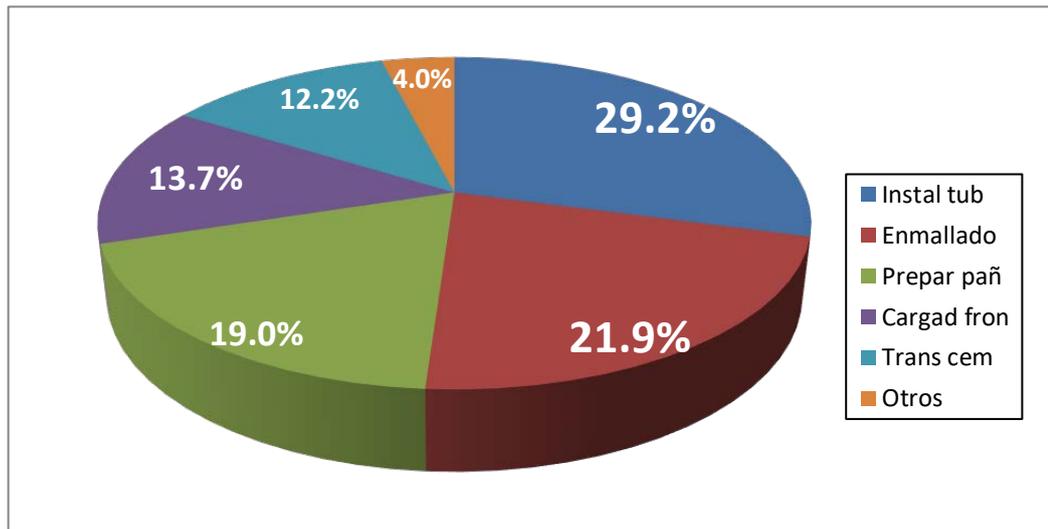


FIGURA 5.33: COSTO DE PRINCIPALES SERVICIOS

Fuente: Elaboración propia.

5.3 CONTROL DE CALIDAD DE LAS LOSAS

El control de calidad se lleva en base al control de las resistencias a la compresión (kg/cm^2) de las probetas que se obtienen del muestreo de un paño. Por cada paño que se rellena se obtienen en superficie (planta relleno) cuatro probetas y en dos en mina. De las cuatro muestras de superficie dos se rompen a los 7 días y se obtiene un promedio y las otras dos a los 28 días obteniéndose otro promedio, las dos muestras de interior mina también se rompen a los 28 días y se obtiene un promedio de mina.

En la siguiente tabla se muestra el control que se realiza para cada paño que es relleno, con el objeto de verificar que la losa será capaz de resistir tanto a la compresión que le ofrecen las rocas encajonantes como las vibraciones producto de las voladuras que se realizarán por debajo.

TABLA 5.2: CONTROL DE RESISTENCIAS

RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/Cm2)						
UBICACIÓN	PROMEDIO SUPERFICIE	PROMEDIO MINA	PROMEDIO SUPERF. Y MINA	PROMEDIO CONSECUTIVO	RANGO DE VARIACION MAX.	PORCENTAJE DE RESISTENCIA
1100 - 400 - 413 - E6	163.0	135	149	0.0	18.79	93.1
850 - 1200 - 867 - E1	177.0	154	165.5	0.0	13.90	103.4
850 - 1300 - 867 - W1	184.0	151	167.5	160.7	19.70	104.7
850 - 1300 - 867 - W2	199.0	162	180.5	171.2	20.50	112.8
850 - 1300 - 867 - W3	168.0	177	172.5	173.5	5.22	107.8
850 - 1300 - 867 - W4	196.0	172	184	179.0	13.04	115.0
850 - 1300 - 867 - W5	155.0	127	141	165.8	19.86	88.1
850 - 1300 - 867 - W7	192.0	122	157	160.7	44.59	98.1
850 - 1300 - 867 - W8	170.0	153	161.5	153.2	10.53	100.9
850 - 1300 - 867 - W9	208.0	174	191	169.8	17.80	119.4
850 - 1300 - 867 - W10	179.0	119	149	167.2	40.27	93.1
850 - 1300 - 926 - E1	167.0	130	148.5	162.8	24.92	92.8
850 - 1300 - 926 - E2	179.0	139	159	152.2	25.16	99.4
1050 - 400 - 01 - E1	183.0	194	188.5	165.3	5.84	117.8
1050 - 400 - 01 - W10	193	187	190.0	179.2	3.16	118.8
1050 - 400 - 01 - W1	182	141	161.5	180.0	25.39	100.9
1050 - 400 - 01 - W2	185	148	166.5	172.7	22.22	104.1
1050 - 400 - 01 - W3	237.0	194	215.5	181.2	19.95	134.7
1050 - 400 - 01 - W4	227.0	172	199.5	193.8	27.57	124.7
1050 - 400 - 01 - W5	196.0	147	171.5	195.5	28.57	107.2
1050 - 400 - 01 - W6	200.0	188.0	194	188.3	6.19	121.3
1050 - 400 - 01 - W7	241.0	197.0	219	194.8	20.09	136.9
1050 - 400 - 01 - W8	223.0	137.0	180	197.7	47.78	112.5
1050 - 400 - 01 - W9	200.0	107.0	153.5	184.2	60.59	95.9
1050 - 1100 - 1053 - E1	194.0	116.0	155	162.8	50.32	96.9
1100 - 1100 - 1050 - W9	200.0	155.0	177.5	162.0	25.35	110.9
1100 - 1100 - 1050 - W8	166.0	161.0	163.5	165.3	3.06	102.2
1100 - 1100 - 1050 - W7	176.0	174.0	175	172.0	1.14	109.4
1050 - 300 - 056 - W1	168.0	127.0	147.5	162.0	27.80	92.2
1050 - 300 - 056 - E1	142.0	107.0	124.5	149.0	28.11	77.8
1050 - 300 - 056 - E2	190.0	143.0	166.5	146.2	28.23	104.1
1050 - 300 - 056 - E3	203.0	160.0	181.5	157.5	23.69	113.4
1050 - 300 - 056 - E4	181.0	166.0	173.5	173.8	8.65	108.4
1050 - 300 - 056 - E9	180.0	189.0	184.5	179.8	4.88	115.3
1050 - 300 - 056 - E8	163.0	140.0	151.5	169.8	15.18	94.7
1050 - 300 - 056 - E7	219.0	161.0	190	175.3	30.53	118.8
1050 - 1100 - 1050 - W1	202.0	147.0	174.5	172.3	31.52	109.1

Fuente: Laboratorio Planta Relleno Andaychagua

CAPÍTULO VI

DISEÑO DE CONCRETO

6.1 CONCEPTOS PREVIOS

6.1.1 Definiciones de propiedades físicas

a) Absorción

Es la cantidad de agua absorbida por el agregado después de ser sumergido 24 horas en esta, se expresa como porcentaje del peso seco. El agregado se considera “seco”, cuando este ha sido mantenido a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ por tiempo suficiente para remover toda el agua sin combinar.

b) Peso específico

Es la relación, a una temperatura estable, de la masa (o peso en el aire) de un volumen unitario de material, a la masa del mismo volumen de agua a las temperaturas indicadas. Los valores son adimensionales.

c) Peso específico aparente

Es la relación, a una temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario de la porción impermeable del agregado, a la masa en el aire de igual volumen de agua destilada libre de gas.

d) Peso específico de masa

Es la relación, a una temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario de agregado (incluyendo los poros permeables e impermeables en las partículas, pero no incluyendo los poros entre partículas); a la masa en el aire de igual volumen de agua destilada libre de gas.

e) Peso específico de masa saturado superficialmente seco (SSS)

Es la relación, a una temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario de agregado incluyendo la masa del agua de los poros llenos hasta colmarse por sumersión en agua por 24 horas aproximadamente (pero no incluyendo los poros entre partículas), comparada con la masa en el aire de un igual volumen de agua destilada libre de gas.

6.1.2 Método de cálculo de propiedades físicas

Una muestra de agregado se sumerge en agua por 24 horas aproximadamente para llenar los poros esencialmente. Luego se retira el agua, se seca el agua de la superficie de las partículas, y se pesa. La muestra se pesa posteriormente mientras es sumergida en agua. Finalmente la muestra es secada al horno y se pesa una tercera vez. Usando los pesos así obtenidos y formulas en este método de ensayo, es posible calcular tres tipos de peso específico y la absorción.

Siendo:

A = Peso de la muestra seca en el aire.

B = Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire.

C = Peso en el agua de la muestra saturada.

Se tiene:

- Absorción (Ab)

$$Ab(\%) = \frac{B - A}{A} \times 100$$

- Peso específico aparente (Pea)

$$Pea = \frac{A}{A - C}$$

- Peso específico de masa (Pem)

$$Pem = \frac{A}{B - C}$$

- Peso específico de masa saturado superficialmente seco (PeSSS)

$$PeSSS = \frac{B}{B - C}$$

6.2 INSUMOS DEL CONCRETO

6.2.1 Cemento

El cemento utilizado es un cemento a granel portland tipo I.

6.2.2 Piedra chancada

Es un agregado grueso HUSO 67, se obtiene de la planta chancadora a partir de roca volcánica que se extrae de interior mina. El tamaño máximo nominal es de tres cuartos pulgada.

TABLA 6.1: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA PIEDRA CHANCADA

P. Específico de Masa Seco (gr/cm ³)	2,737
P. Específico de Masa SSS (gr/cm ³)	2,759
P. Específico de Masa Aparente (gr/cm ³)	2,799
Humedad de absorción (%)	0,81
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1.506
Peso unitario compactado (kg/m ³)	1.639
Malla # 200 (%)	6,19

Fuente: Elaboración propia.

6.2.3 Confitillo

Es un agregado grueso Huso 89, también se obtiene de la planta chancadora a partir de roca volcánica de interior mina. El tamaño máximo nominal del confitillo es de tres octavos pulgada.

TABLA 6.2: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL CONFITILLO

P. Específico de Masa Seco (gr/cm ³)	2,723
P. Específico de Masa SSS (gr/cm ³)	2,751
P. Específico de Masa Aparente (gr/cm ³)	2,803
Humedad de absorción (%)	1,04
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1.700
Peso unitario compactado (kg/m ³)	1.832
Malla # 200 (%)	4,65

Fuente: Elaboración propia.

6.2.4 Arena gruesa

Es un material opcional al agregado grueso Huso 89 (confitillo), los diseños de concreto se realizarán bien con el confitillo o con la arena gruesa.

TABLA 6.3: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA ARENA GRUESA

P. Específico de Masa Seco (gr/cm ³)	2,590
P. Específico de Masa SSS (gr/cm ³)	2,630
P. Específico de Masa Aparente (gr/cm ³)	2,699
Humedad de absorción (%)	1,56
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1.661
Peso unitario compactado (kg/m ³)	2.014
Malla # 200 (%)	4,80

Fuente: Elaboración propia.

6.2.5 Relave

Es un agregado fino, material residual que se obtiene de la planta concentradora, desde donde es bombeado y luego cicloneado para depositarse en una cancha, especialmente adecuada para su almacenamiento, para ser utilizada en el relleno.

TABLA 6.4: CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL RELAVE

P. Específico de Masa Seco (gr/cm ³)	2,219
P. Específico de Masa SSS (gr/cm ³)	2,261
P. Específico de Masa Aparente (gr/cm ³)	2,317
Humedad de absorción (%)	1,92
Peso unitario suelto (kg/m ³)	1.541
Peso unitario compactado (kg/m ³)	1.791
% Malla # 200 (%)	15,34

Fuente: Elaboración propia.

6.2.6 Aditivo EUCO 537

Es un aditivo líquido superplastificante, reductor de agua de alto poder y ahorrador de cemento, que además proporciona un ligero retardo a la mezcla del concreto permitiendo que este pueda ser colocado a altas temperaturas sin ningún problema. No contiene cloruros.

Tiene las siguientes aplicaciones principales:

- Como super-plastificante, proporciona a la mezcla del concreto un incremento en el asentamiento (slump) sin necesidad de agregar más agua, facilitando la colocación del mismo haciéndolo apto para el bombeo.

- Como reductor de agua de alto rango, permite reducir hasta aproximadamente un 30% de agua logrando obtener un concreto con trabajabilidad, impermeabilidad y con altas resistencias en todas las edades (Resistencia a la Compresión).
- Como ahorrador de cemento, al disminuir la cantidad de agua (relación a/c) se consigue un incremento en las resistencias. Al reducir cemento manteniendo la relación a/c inicial se consiguen iguales o superiores resistencias a las diseñadas según patrón reduciendo el costo por metro cúbico de concreto.

TABLA 6.5: PROPIEDADES DEL ADITIVO EUCO 537

Apariencia:	Líquido
Color:	Café
Densidad:	1,19 kg/l

Fuente: Elaboración propia.

6.2.7 Aditivo EUCO WASH OUT

Es un aditivo líquido especialmente formulado para estabilizar el agua de lavado del tambor de la mezcladora de concreto en la planta de relleno. Además EUCO WASH OUT elimina la necesidad de desechar el agua del enjuague en fosos de sedimentación, los cuales podrían causar eventuales problemas ambientales. No posee ningún ion cloruro y es anticorrosivo.

Tiene las siguientes aplicaciones:

- Estabiliza las aguas de lavado

- Previene la hidratación normal del cemento superficial hasta por 96 horas dependiendo de las dosis utilizadas.
- Diseñado para reducir la cantidad de agua necesaria durante el proceso de lavado del tambor de la mezcladora de concreto.
- Permite que el agua de enjuague del mezclador pueda ser usada en otros procesos debido a que estabiliza o retarda el fraguado de los residuos de cemento.

6.3 DISEÑOS DE CONCRETO

Se trabaja con dos diseños estándar, la diferencia entre estos radica si es que se utiliza el confitillo, que se produce en la planta de chancado, o la arena gruesa, que se trae desde las canteras.

Las tablas adjuntas muestran los diseños de concreto utilizados, las cantidades son para 1 m³ de un concreto de 160 kg/cm² de resistencia a la compresión.

TABLA 6.6: DISEÑO PIEDRA CHANCADA – CONFITILLO (160 kg/cm²)

Material	un	Cantidad
Piedra chancada (Huso 67)	kg	560
Confitillo (Huso 89)	kg	620
Relave	kg	625
Cemento	kg	300
Agua	kg	220
Aditivo Euco 537	lt	3.0
Aditivo Euco WO	lt	0.3

Fuente: Elaboración propia.

TABLA 6.7: DISEÑO PIEDRA CHANCADA – ARENA GRUESA (160 kg/cm²)

Material	un	Cantidad
Piedra chancada (Huso 67)	kg	700
Arena gruesa (Huso 89)	kg	600
Relave	kg	570
Cemento	kg	300
Agua	kg	210
Aditivo Euco 537	lt	3.0
Aditivo Euco WO	lt	0.3

Fuente: Elaboración propia.

Además de estos dos diseños se utilizan unas mezclas sueltas: el soft y el mortero. Estos se aplican al inicio y final del relleno de un paño y su función es la de lubricar la tubería al inicio, y al final suavizar la mezcla para que el soplado de la tubería se realice más rápido.

TABLA 6.8: DISEÑO DEL SOFT (90 kg/cm²)

Material	un	Cantidad
Piedra chancada (Huso 67)	kg	0.0
Arena gruesa (Huso 89)	kg	540
Relave	kg	1032
Cemento	kg	300
Agua	kg	300
Aditivo Euco 537	lt	0.0
Aditivo Euco WO	lt	0.0

Fuente: Elaboración propia.

TABLA 6.9: DISEÑO DEL MORTERO (90 kg/cm²)

Material	un	Cantidad
Piedra chancada (Huso 67)	kg	0.0
Arena gruesa (Huso 89)	kg	540
Relave	kg	1032
Cemento	kg	300
Agua	kg	300
Aditivo Euco 537	lt	0.0
Aditivo Euco WO	lt	0.0

Fuente: Elaboración propia.

6.4 CONSUMO DE MATERIALES

El consumo de los materiales en la preparación del concreto es proporcional a la producción de concreto (m³) y al diseño de concreto utilizado. En la siguiente tabla se muestran la producción de concreto y el consumo de materiales, mes por mes, del año en curso.

TABLA 6.10: CONSUMO DE MATERIALES - 2013

MES	RELAVE (kg)	PIEDRA (kg)	CONFIT (kg)	CEMENTO (kg)	AGUA (kg)	EUCO 537 (kg)	EUCO WO (kg)	PRODUC (M ³)
ENE	6,787,172	4,003,335	6,307,373	2,555,300	834,264	25,303.8	2,311.0	8,556.25
FEB	7,383,794	5,726,060	7,185,705	2,879,230	819,619	28,388.5	2,793.4	9,674.00
MAR	9,883,134	6,069,830	8,869,239	3,733,751	1,145,416	36,608.2	3,525.6	12,227.50
ABR	9,438,734	6,115,275	8,700,640	3,689,461	1,188,941	36,178.1	3,566.0	12,200.00
MAY	9,643,701	6,472,703	9,069,996	3,930,917	1,465,779	38,663.6	3,734.9	13,138.75
JUN	8,237,976	5,772,047	7,479,114	3,252,726	1,134,848	31,794.4	3,001.5	11,022.75
JUL	7,966,436	5,681,554	7,286,758	3,340,707	1,132,903	29,917.4	2,967.3	10,504.75
AGO	9,724,381	5,518,885	8,923,271	3,753,562	1,474,362	34,000.0	3,421.3	12,125.25
SET								
OCT								
NOV								
DIC								
Totales	69,065,328	45,359,689	63,822,096	27,135,654	9,196,132	260,853.8	25,321.0	89,449.25

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO VII

BOMBA DE CONCRETO Y TUBERÍAS DE TRANSPORTE

Para el bombeo del concreto se utiliza una bomba de concreto portátil Schwing BP 3500 HDR, cuyas características más importantes iremos detallando en el presente capítulo.

La red de tuberías tiene como punto de inicio las instalaciones en planta relleno, de la cual se desprenden tres líneas troncales que a medida que descienden irán ramificándose hasta llegar a cada tajeo que entrará en labores de relleno.

7.1 BOMBA SCHWING BP 3500 HDR

Las bombas de concreto de la serie BP 3500 son bombas de émbolo bicilíndricas de accionamiento oleo-hidráulico, están diseñadas para el transporte de hormigón normalizado a través de tuberías; el bombeo de otros materiales como hormigón pesado, hormigón ligero, mortero, etc. puede efectuarse bajo ciertas reservas.

7.1.1 Posibilidad de transporte

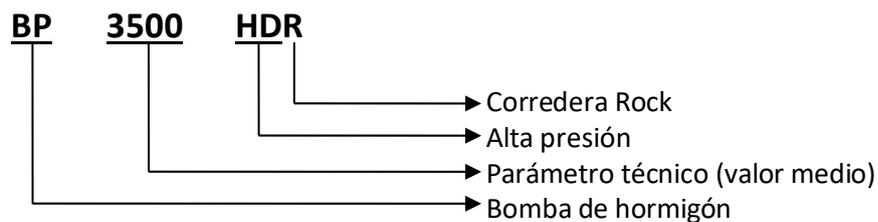
La bomba se monta en un chasis sobre neumáticos con permiso de utilización hasta una velocidad máxima de 6 Km/h.

7.1.2 Instalación hidráulica

La instalación hidráulica funciona en circuito abierto. Están disponibles dos bombas de émbolos axiales de cilindrada regulable para el accionamiento de la bomba de hormigón. Para el accionamiento auxiliar (mecanismo agitador, refrigeración del aceite, etc.) están disponibles dos bombas de cilindrada constante.

7.1.3 Información técnica

La designación de la bomba de concreto significa:



En el cuadro siguiente se muestra una relación de los datos técnicos más representativos de la bomba, en lo concerniente al rendimiento, la presión sobre el hormigón y el número de emboladas se muestran los valores máximos y mínimos de estos parámetros.

TABLA 7.1: DATOS TÉCNICOS BOMBA SCHWING BP 3500 HDR

Modelo	SP 3500 HDR-18
Ejecución	Para operar a 4.000 msnm
Origen	Alemania
Rendimiento teórico	Hasta 48 m ³ /h Hasta 78 m ³ /h
Presión sobre hormigón	Hasta 169 bar Hasta 100 bar
Número de emboladas	Hasta 16/minuto Hasta 26/minuto
Cilindro de transporte	180 X 2000 mm
Conexión de salida	Diámetro nominal 150 mm con reductor a 125 mm
Peso	Aproximado 7.000 Kg

Fuente: Elaboración propia.

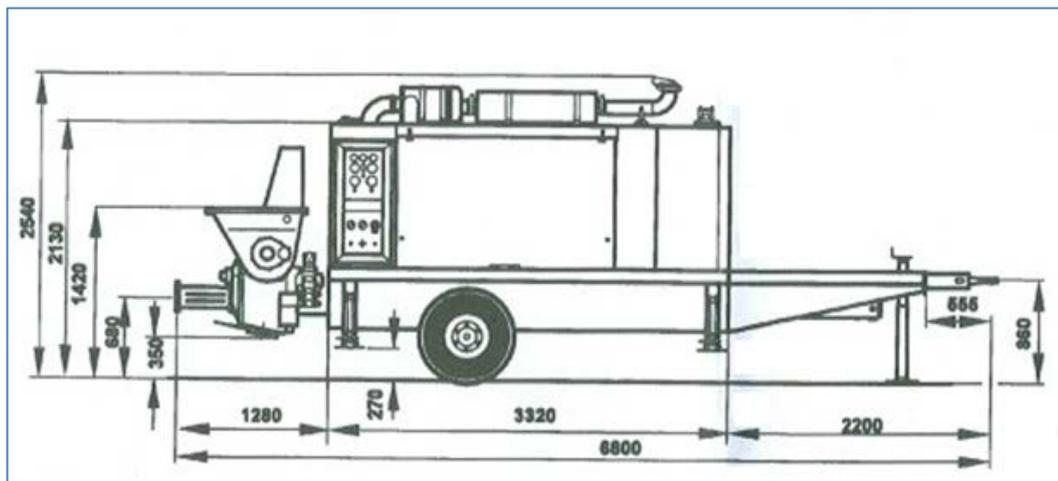


FIGURA 7.1: BOMBA SCHWING BP 3500 HDR Y SUS DIMENSIONES

Fuente: Manual Técnico BP 3500 HDR.

7.1.5 Operación en mina Andaychagua

En la operación actual de relleno cementado Andaychagua, la bomba de concreto portátil SCHWING BP 3500 HDR, viene trabajando en modo pistón como se apreciará en los gráficos adjuntos (achurado rojo RANGO ACTUAL), con un rango de presión sobre el concreto de (40 a 90) bar y caudales de (20 a 45) m³/h. En lo concerniente a la presión sobre el concreto

estamos cubiertos como se aprecia en el gráfico (curva azul de la bomba SCHWING BP 3500 HDR), el problema surge por el lado del caudal cuando nos acercamos al límite de 48 m³/h, ya que en modo pistón la bomba SCHWING BP 3500 HDR alcanza los 48 m³/h considerando un 100% de llenado del cilindro de transporte si se está bombeando agua, la eficiencia real de llenado del concreto es aproximadamente el 90%, ósea el caudal máximo sería de 43,2 m³/h. Trabajar cerca al extremo de la curva de la bomba, exige más al equipo ocasionando su desgaste prematuro, hubo ocasiones en las que el caudal aumentaba producto de la aceleración de la gravedad al bajar el concreto por las tubería en las chimeneas, ganando a la bomba, entonces se presentaba la segregación en los codos de la chimenea, la pasta de cemento y los finos se separaban de la piedra provocando el atoro en los codos de la chimenea. Por lo tanto el máximo caudal actual es de 40 m³/h por la limitación de la bomba SCHWING BP 3500 HDR en modo pistón.

Con la futura puesta en servicio de la RB 01 las nuevas condiciones de operación serán pasar la bomba a modo vástago, siendo la presión de trabajo sobre el concreto de (30 a 72) bar y el caudal de (25 a 60) m³/h con tubería de 125 mm de diámetro, como se aprecia en el segundo gráfico (achurado rojo RANGO FUTURO RB 01). Nuevamente nos vamos a acercar al límite de 78 m³/h en modo vástago de la bomba SCHWING BP 3500 HDR (78 m³/h considera una eficiencia de llenado del cilindro de transporte de 100% si fuera agua, el real para el concreto es aproximadamente 90% ósea

un caudal de 70,2 m³/h con un concreto normal, si tenemos una mezcla dura la eficiencia de llenado puede bajar al 80% ó sea un caudal máximo de 62,4 m³/h).

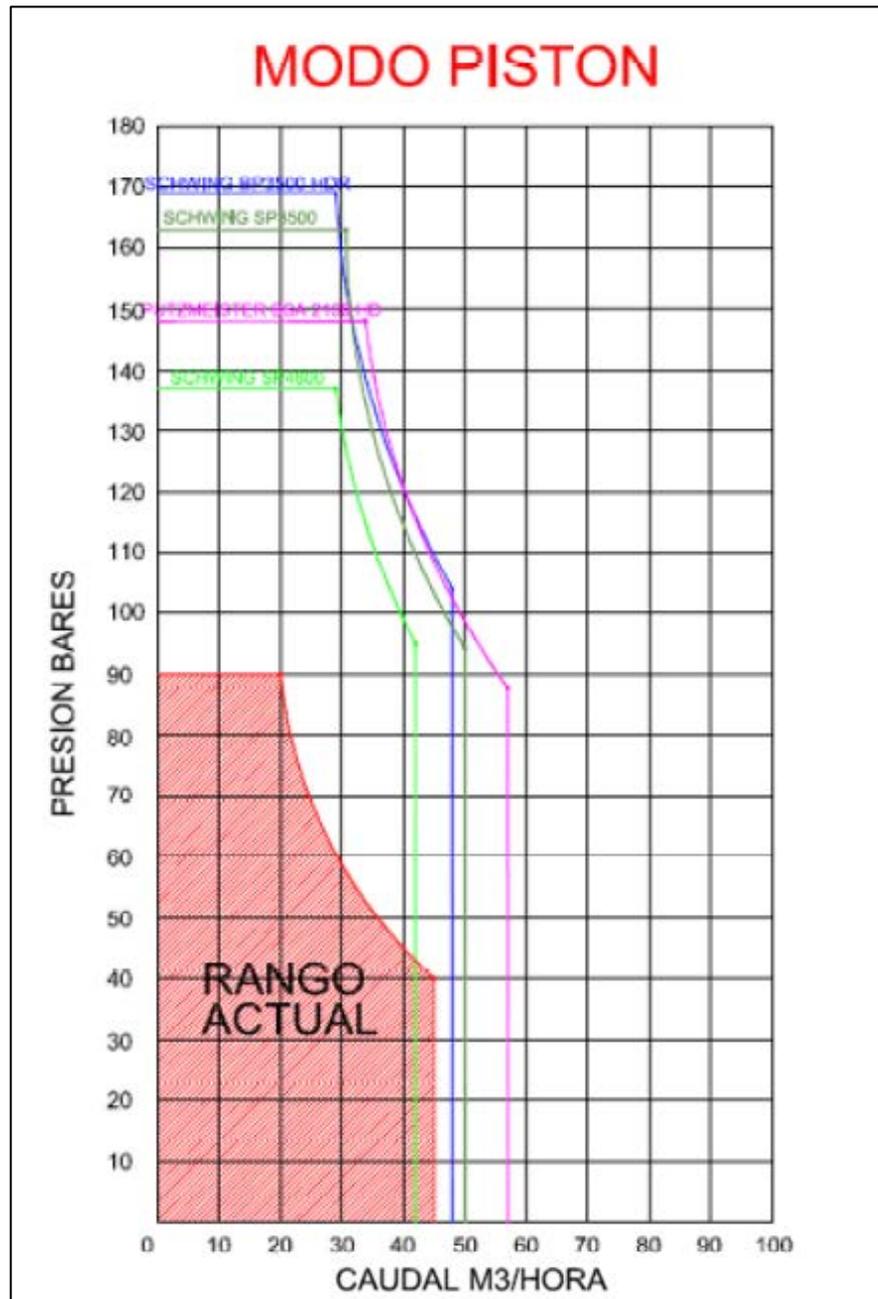


FIGURA 7.2: CURVA DE TRABAJO DE BOMBA EN MODO PISTÓN

Fuente: Elaboración propia.

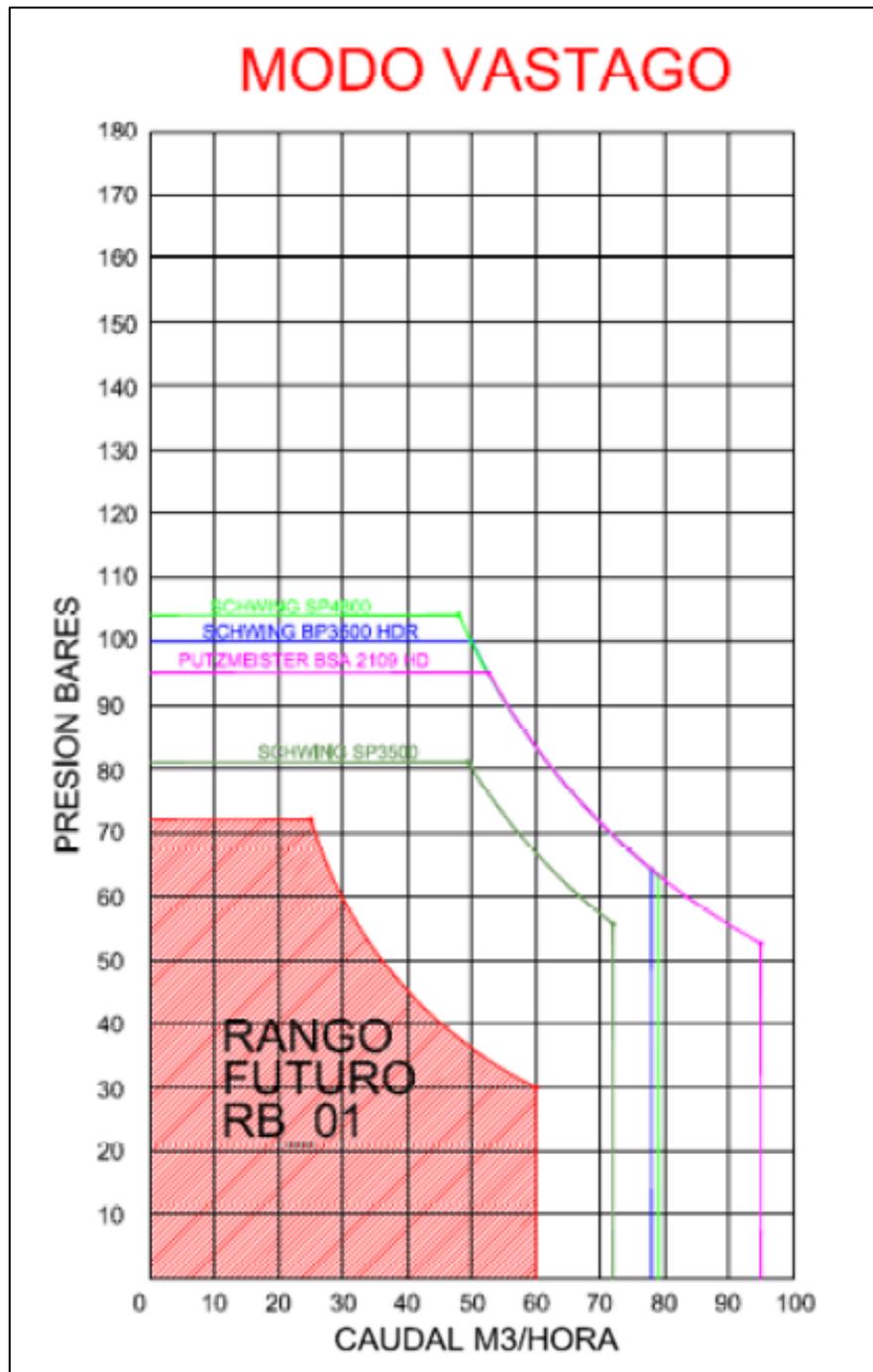


FIGURA 7.3: CURVA DE TRABAJO DE BOMBA EN MODO VÁSTAGO
Fuente: Elaboración propia.

7.2 TUBERÍAS PARA TRANSPORTE DE CONCRETO

Para el transporte del relleno cementado se utilizan básicamente dos tipos de tuberías:

a) Tubería ST 52 (una sola capa)

Son tuberías de acero convencionales, se fabrican de acuerdo a norma ST 52, y no poseen propiedades para la resistencia a la abrasión. Una ventaja de estas tuberías es que en su fabricación no existe un tratamiento térmico, y es posible cortarlas y soldarlas incrementando su vida útil.

Estas tuberías son instaladas en los tajeos que se encuentran en relleno, donde las presiones son menores y su peso hace que sean más fáciles de trasladar de un tajeo a otro.

Propiedades:

- Dureza: 150 brinell
- Esfuerzo de rotura: (52 – 56) kg/mm²
- Esfuerzo de fluencia: (34 – 36) kg/mm²
- Resistencia a la tracción: 590 N/mm²
- Límite elástico: 520 N/mm²
- % Alargamiento: 10 %

b) Tubería ESSER TWIN PIPE (doble capa)

Son tuberías de doble capa, la externa es de calidad ST 52 que tiene como función soportar la presión del flujo bombeado y una capa interna de

acero con tratamiento térmico que tiene propiedades especiales de resistencia a la abrasión.

Por su característica de tener doble capa su peso es mucho mayor (94 kg para un tubo de 3 m). Son tuberías delicadas al golpe con el martillo, con el desgaste de la primera capa la tubería queda descartada.

Las tuberías doble capa son instaladas en chimeneas y en tramos horizontales que van a permanecer fijos por lo menos durante un año.

CONCLUSIONES

1. El relleno cementado con losas de concreto armado como método de sostenimiento activo es necesario para brindar la confiabilidad suficiente a las operaciones que se realizarán en el corte inferior.
2. Conforme la mina continúe su profundización deben hacerse nuevos estudios para determinar si el factor de seguridad que ofrecen las losas es el adecuado o debe hacerse un rediseño.
3. Los costos que implica este método de sostenimiento son altos pero a la vez brinda la seguridad necesaria para la continuidad del ciclo de minado.
4. El relleno cementado aplicado en mina Andaychagua debe ser considerado como un caso muy particular y no regido por los patrones normales de la tecnología del concreto.
5. El control de calidad de los agregados es fundamental para que el concreto cumpla los requerimientos de resistencia a la compresión que se le exigen.

6. Los procedimientos de construcción de las barreras y el enmallado de fierros deben realizarse en estricto cumplimiento a lo indicado, a fin de evitar soplados de la barrera durante el proceso de relleno.
7. Se debe controlar, en la medida de lo posible, que en el enmallado de fierros el traslape entre fierros de 1" sea de 1 m y no más, a fin de evitar un consumo excesivo de fierros y la consecuente elevación del costo del relleno por metro cúbico.
8. El control de la preparación del concreto en la planta de relleno es fundamental, a fin de evitar paradas intempestivas en el proceso de relleno de un paño, que generarán las denominadas 'juntas frías' que pueden resultar perjudiciales una vez el ciclo de minado continúe y se ingrese por debajo de la losa en mención.

RECOMENDACIONES

1. Se debe mantener un estricto control de la calidad de los insumos a utilizarse en la preparación del concreto, su transporte, su almacenaje, la humedad, así como de las características físicas que este debe mantener.
2. Conforme la profundización en mina Andaychagua continúe se deben realizar nuevos estudios para determinar cómo han ido variando los esfuerzos, esto permitiría comprobar si debe mantenerse el actual diseño del concreto utilizado, o se hace necesario una variación a fin de aumentar la resistencia a la compresión de la losa.
3. Llevar un control del tiempo de vida útil de las tuberías y realizar el cambio oportuno de las líneas, por tramos completos, para evitar paradas intempestivas producto de tuberías agujereadas.
4. Realizar un mantenimiento preventivo de los equipos en la planta de relleno, a fin de garantizar la continuidad de los procesos de preparación del concreto.

BIBLIOGRAFÍA

1. DCR Ingenieros S.R.Ltda. (2010) Evaluación geomecánica del minado – Mina Andaychagua.
2. Departamento de Geomecánica Mina Andaychagua (2013) Archivos de escritorio.
3. Departamento de Relleno Cementado Mina Andaychagua (2013) Archivos de escritorio.
4. ENRIQUE RIVVA L. (1992) Diseño de mezclas.
5. GONZALES DE LA TEJERA M. (1962) Tecnología del concreto diseño de mezclas.
6. TUMIALÁN, J. (1972) Uso del relleno hidráulico en la mina Morococha.