

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**“DISEÑO Y EJECUCIÓN DE ANCLAJES POST-TENSADOS  
APLICADOS COMO RETENIDAS PARA LÍNEAS DE  
TRANSMISIÓN CON POSTES”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**ELABORADO POR**

**FERNANDO GAMARRA GONZÁLES**

**ASESOR**

**MSc. CÉSAR AUGUSTO ATALA ABAD**

**Lima- Perú**

**2023**

**DEDICATORIA:**

*A mis padres, Enrique Gamarra Poma y Adela Gonzáles Ninamango,  
por su incondicional amor y dedicación,  
por haberme motivado y permitido estudiar en la UNI.*

*A mis hermanos Gastón, Paul, Enrique, Gabriela y Milagros,  
por el soporte entregado en cada pasaje de la vida.*

*A mis abuelos y sobrinos,  
por ser agentes de motivación de la generación que nos dejó y la que empieza.*

*Un agradecimiento póstumo para mi abuela Isabel Poma,  
cuya sensible partida coincidió mientras escribía estas líneas.*

*A la FIC-UNI, por los conocimientos impartidos y los amigos que dejó.*

*A mi familia, no solo de sangre, que estuvo, está, y siempre estará presente.*

## ÍNDICE

RESUMEN .....	5
ABSTRACT.....	6
PRÓLOGO .....	7
LISTA DE TABLAS.....	9
LISTA DE FIGURAS .....	11
LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS .....	12
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....	15
1.1 PLANTEAMIENTO DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	15
1.2 OBJETIVO.....	16
1.2.1 Objetivo principal.....	16
1.2.2 Objetivos específicos .....	16
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL .....	17
2.1 MARCO TEÓRICO PARA EL DISEÑO DE ANCLAJES .....	17
2.1.1 Información de ingreso para el diseño .....	18
2.1.1.1 Resultados del diseño electromecánico .....	18
2.1.1.2 Estudio de mecánica de suelos y/o geología .....	18
2.1.2 Restricciones del proyecto u organización .....	18
2.1.3 Criterios de diseño .....	19
2.1.4 Estimación de los componentes del anclaje.....	20
2.1.4.1 Cálculo del acero de refuerzo.....	20
2.1.4.2 Cálculo de longitud anclada (LA) o longitud de bulbo (Lb).....	21
2.1.4.3 Estimación de la longitud libre (LL) .....	26
2.2 MARCO TEÓRICO PARA LA EJECUCIÓN DE ANCLAJES .....	26
2.2.1 Perforación .....	27
2.2.1.1 Selección de equipo perforador.....	27
2.2.1.2 Equipos livianos .....	28
2.2.1.3 Equipos medianos .....	29
2.2.1.4 Equipos pesados .....	29
2.2.1.5 Equipos especiales .....	30
2.2.1.6 Selección de técnicas de perforación.....	30
2.2.1.7 Parámetros de perforación .....	33
2.2.1.8 Rendimiento de la perforación (Rp).....	37
2.2.1.9 Criterios de selección de sistemas de perforación .....	37
2.2.2 Inyecciones de cemento.....	40
2.2.2.1 Metodologías y/o sistemas de inyección .....	41
2.2.2.2 Selección del equipo inyector.....	43
2.2.3 Ensayos de control y/o verificación .....	44

2.2.3.1 Ensayo de pull test según ASTM D4435.....	45
<b>CAPÍTULO III: FUNDAMENTO MECÁNICO PARA EL DISEÑO DE RETENIDAS.....</b>	<b>48</b>
3.1 CÁLCULO MECÁNICO DE POSTES.....	49
3.1.1 Análisis del diagrama del cuerpo libre del poste .....	50
3.1.2 Cálculo de retenida .....	52
3.1.3 Cálculo de la cimentación convencional de retenida.....	53
<b>CAPÍTULO IV: ESTADO DEL ARTE EN EL PERÚ .....</b>	<b>55</b>
4.1 LÍNEAS DE TRANSMISION CON POSTES EN EL PERÚ .....	55
4.2 ANCLAJES POST-TENSADOS EN EL PERÚ.....	57
<b>CAPÍTULO V: DISEÑO DE MEZCLA DE LECHADA DE CEMENTO .....</b>	<b>60</b>
5.1 GENERALIDADES RESPECTO A LA LECHADA DE CEMENTO PARA INYECCION DE ANCLAJES.....	61
5.2 NECESIDAD PARA DEFINIR DISEÑO DE LECHADA DE CEMENTO Y SUS CRITERIOS....	62
5.3 MATERIALES PARA LA REALIZACIÓN DE ENSAYOS .....	63
5.4 ENSAYOS REALIZADOS .....	64
5.5 DEFINICIÓN DE LOS CRITERIOS DE DISEÑO DE LECHADA DE CEMENTO.....	64
5.6 DISEÑOS PROPUESTOS PARA SU EVALUACIÓN .....	65
5.7 RESULTADO DE LOS ENSAYOS .....	65
5.8 COMENTARIOS RESPECTO A LOS RESULTADOS OBTENIDOS .....	68
5.9 CONSIDERACIONES ADICIONALES PARA EL DISEÑO DE LECHADA DE CEMENTO.....	68
<b>CAPÍTULO VI: DESAROLLO DE CASO REAL .....</b>	<b>70</b>
6.1 GENERALIDADES DEL PROYECTO.....	70
6.2 LÍNEAS AÉREAS DE DISTRIBUCIÓN 22.9 kV .....	70
6.3 PLANTEAMIENTO DEL SISTEMA DE RETENIDAS PARA POSTES .....	72
6.3.1 Sistema de retenida convencional.....	72
6.3.2 Sistema de retenida con anclaje post-tensado.....	73
6.3.3 Comparativo técnico.....	73
6.4 DISEÑO DEL ANCLAJE POST-TENSADO PARA RETENIDAS – PROYECTO LÍNEAS AÉREAS DE DISTRIBUCIÓN 22.9 kV .....	74
6.4.1 Análisis de información para el diseño .....	74
6.4.1.1 Información derivada del cálculo electromecánico.....	74
6.4.1.2 Información geotécnica. ....	75
6.4.1.3 Condiciones del proyecto. ....	77
6.4.2 Criterios de diseño .....	77
6.4.2.1 Selección de equipos según los accesos.....	77
6.4.2.2 Tipo de anclaje según la naturaleza de la carga .....	77

6.4.2.3 Tipo de anclaje según su vida útil: .....	78
6.4.2.4 Tipo de anclaje según el acero de refuerzo .....	78
6.4.2.5 Tipo de anclaje según la perforación.....	78
6.4.2.6 Tipo de protección para el anclaje:.....	78
6.4.3 Cálculo y resultados .....	78
6.4.3.1 Determinación de la longitud libre (LL) y longitud superior (LS).....	78
6.4.3.2 Determinación de la barra de refuerzo .....	79
6.4.3.3 Determinación del diámetro de perforación ( $\phi_p$ ) y bulbo ( $\phi_b$ ) .....	80
6.4.3.4 Determinación de la adherencia ultima - $\tau_{(ult.)}$ .....	80
6.4.3.5 Cálculo de longitud de bulbo (Lb) o longitud anclada (LA).....	81
6.4.3.6 Definición del diseño del anclaje .....	81
6.4.3.7 Definición del diseño de lechada de cemento .....	82
<b>6.5 EJECUCIÓN DE ANCLAJES POS-TENSADOS PARA RETENIDAS – PROYECTO LÍNEAS AÉREAS DE DISTRIBUCIÓN 22.9 kV. ....</b>	<b>83</b>
6.5.1 Análisis de información para la ejecución .....	83
6.5.1.1 Información geotécnica. ....	83
6.5.1.2 Información del diseño del anclaje .....	83
6.5.2 Selección de equipos .....	83
6.5.2.1 Selección de equipo perforador.....	84
6.5.2.2 Selección de equipo compresor .....	84
6.5.2.3 Selección de equipo de inyección .....	85
6.5.3 Configuración de los equipos .....	86
6.5.3.1 Configuración para instalación con sistema TH - Autoperforante .....	86
6.5.3.2 Configuración para instalación con perforación DTH .....	88
6.5.4 Desarrollo de la ejecución .....	89
6.5.4.1 Etapa 1.....	90
6.5.4.2 Etapa 2.....	92
6.5.4.3 Etapa 3.....	96
6.5.5 Actualización de planillas de anclajes .....	99
6.5.6 Ensayo de anclajes tipo Pull Test y validación del trabajo .....	101
6.5.7 Activación de los anclajes .....	102
6.5.8 Resumen de casos con lecciones aprendidas .....	102
<b>CAPÍTULO VII: OTRAS VENTAJAS DE LOS SISTEMAS DE PERFORACIÓN EN PROYECTOS DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN .....</b>	<b>103</b>
7.1 INSTALACIÓN DE JABALINA PARA PUESTA A TIERRA.....	103
7.2 INSTALACIÓN DE ANCLAJES PARA CIMENTACIÓN DE TORRES DE CELOSIA .....	105
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>106</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>108</b>

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	109
ANEXOS .....	112

## RESUMEN

La tesis que se presenta tiene con el título “Diseño y ejecución de anclajes post-tensados aplicados como retenidas para líneas de transmisión con postes” se desarrolla bajo el principio de aprovechamiento del buen desempeño de un anclaje post-tensados frente a esfuerzos de tracción e integrarlo a un sistema de retenidas para postes, reemplazando a una convencional. Para ello se orienta el diseño del anclaje de acuerdo a esta funcionalidad, donde su carga de trabajo será la necesaria para compensar los tiros inducidos por la fuerza de los conductores sobre los postes en sus distintas hipótesis de diseño electro mecánico, para posteriormente realizar la ejecución bajo los principios básicos de las actividades de perforación e inyección para anclajes, con sus controles necesarios para el aseguramiento de calidad mediante ensayos y pruebas de carga normadas, mostrando el desarrollo de un caso real de aplicación.

El caso de aplicación se desarrolla en el ámbito de la construcción del proyecto minero Quellaveco, ubicado en la sierra moqueguana, donde se instalaron cuatrocientos setenta y cuatro (474) anclajes trabajados tanto con sistema autoperforante como con sistema “down the hole” – DTH, siendo este último el que entregó mejor resultados. Esto en ciento treinta (130) estructuras de postes de madera donde en cada una de ellas se realizó ensayos de carga tipo pull-test para la verificación de su desempeño y dar validación del trabajo.

Por último, aprovechando el buen rendimiento para realización de perforaciones con sistema DTH, se utilizó ésta para la instalación de jabalinas como sistema de puesta a tierra vertical y para instalación de anclajes para la fundación de torres de celosía, principalmente. Estos conceptos significaron doscientos ochenta y ocho (288) metros de jabalina instalada para sistema de puesta a tierra, y doscientos setenta y cinco (275) metros de anclajes instalados con fines de cimentación, de torres de celosía principalmente.

El caso de aplicación real es una muestra tangible que la alternativa de usar anclajes post-tensados para un sistema de retenidas en postes tiene mucha validez. De esta manera, también, abrir el abanico de posibilidades para optar por esta técnica frente a situaciones donde se requiera contrarrestar esfuerzos de tracción en general.

## ABSTRACT

The thesis presented is entitled "Design and execution of post-tensioned anchors applied as retainers for transmission lines with poles" is developed under the principle of taking advantage of the good performance of a post-tensioned anchor against tensile forces and integrate it to a retaining system for posts, replacing a conventional one. For this, the design of the anchorage is oriented according to this functionality, where its workload will be that necessary to compensate the pulls induced by the force of the conductors on the poles in their different hypotheses of electromechanical design, to later carry out the execution under the basic principles of drilling and injection activities for anchors, with its necessary controls for quality assurance through trials and standardized load tests, showing the development of a real application case.

The application case is developed in the field of construction of the Quellaveco mining project, located in the Sierra Moqueguana, where four hundred and seventy-four (474) anchors were installed, worked both with a self-drilling system and with a "down the hole" system - DTH, the latter being the one that delivered the best results. This in one hundred and thirty (130) wooden pole structures where pull-test type load tests were carried out in each of them to verify their performance and validate the work.

Finally, taking advantage of the good performance for drilling with the DTH system, it was used for the installation of rods as a vertical grounding system and for the installation of anchors for the foundation of lattice towers, mainly. These concepts meant two hundred eighty-eight (288) meters of rod installed for the grounding system, and two hundred and seventy-five (275) meters of anchors installed for foundation purposes, mainly for lattice towers.

The case of real application is a tangible example that the alternative of using post-tensioned anchors for a retained system on posts is very valid. In this way, also, open the range of possibilities to opt for this technique in situations where it is required to counteract traction efforts in general.

## PRÓLOGO

Cuando se hace referencia a anclajes post-tensados, inmediatamente se lo asocia a elementos de sostenimiento y estabilidad de taludes, el cual, es sin duda, una de las principales soluciones para esos casos. Sin embargo, el caso de aplicación de los anclajes se puede extender a estructuras que requieran contrarrestar esfuerzos a tracción, tal como es el caso de un sistema de retenidas para líneas de transmisión, como alternativa a la cimentación convencional de la misma.

Entender la funcionalidad de los anclajes post-tensados aplicados a un sistema de retenidas de línea de transmisión con postes requiere conocer la naturaleza de las fuerzas que se manifiestan en los postes. Esto permitirá conocer la cantidad de retenidas y la fuerza de cada una, que finalmente será transmitida a los anclajes.

En tal sentido, esta tesis se presenta como una guía de buenas prácticas para integrar un sistema de anclajes post-tensados en proyectos de líneas de transmisión con postes, abarcando todos los tópicos necesarios para el desarrollo del diseño y ejecución. Para la etapa de diseño se alimenta de información geotécnica y sollicitación de carga ( $P_w$ ), para que, a través de valores experimentales, tablas y/o ensayos in-situ se determine las características inherentes de los anclajes tales como la cuantía de acero, longitud de bulbo y longitud libre; además de incorporar un capítulo detallando el proceso de diseño de lechada de cemento para la adecuada conformación del bulbo, apoyado en normatividad afín. Para la etapa de ejecución sugiere el control de las variables operativas derivadas de las actividades de perforación e inyección, resaltando la importancia de los equipos, metodologías de trabajo y herramientas de perforación; esto sin descuidar las actividades de aseguramiento y control de calidad. Se enfatiza en valorar una constante y colaborativa interacción diseño – ejecución, para obtener retroalimentación y mantener el desarrollo de la actividad bajo control. Todo esto se materializó mediante su aplicación en un caso real en un importante proyecto de línea de transmisión con postes; además se aprovechó la técnica para apoyar labores instalación de puesta a tierra vertical y anclajes / micropilotes para cimentación de torres.

Si bien el caso de aplicación permite validar lo sugerido en la presente tesis, no se limita su aplicación como retenidas o con fines de sostenimiento, sino que permite ampliar el campo de aplicación de los anclajes post-tensados,

manteniendo los mismos criterios de diseño y ejecución, únicamente variando la naturaleza de la fuerza que deriva a la necesidad del uso del anclaje.

MsC. Cesar A. Atala Abad  
Profesor Principal.  
Facultad de Ingeniería Civil  
Universidad Nacional de Ingeniería

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Valores típicos de $\tau_{ult}$ en el contacto lechada de cemento – roca.....	23
Tabla 2: Valores típicos de $\tau_{ult}$ en el contacto lechada de cemento – suelo cohesivo.....	23
Tabla 3: Valores típicos de $\tau_{ult}$ en el contacto lechada de cemento – suelo no cohesivo. ....	24
Tabla 4: Coeficientes de anclaje - Kf.....	25
Tabla 5: Clasificación de equipo perforador.....	28
Tabla 6: Valores referenciales de torque.....	34
Tabla 7: Resultados con cemento de código AN-HS.....	65
Tabla 8: Resultados con cemento de código AP-GU.....	66
Tabla 9: Resultados con cemento de código SO-TI.....	66
Tabla 10: Resultados con cemento de código PE-IC.....	67
Tabla 11: Resultados con cemento de código PF-MS.....	67
Tabla 12: Resultados con cemento de código YU-HE.....	68
Tabla 13: Principales líneas con postes para 22.9 kV.....	71
Tabla 14: Comparativo técnico entre sistemas de retenidas.....	74
Tabla 15: Tipo de estructura según su utilización y ángulo de línea.....	75
Tabla 16: Carga de trabajo del anclaje según tipo de conductor y tipo de estructura.....	75
Tabla 17: Cuadro de zonificación geotécnica.....	76
Tabla 18: Características de la barra autopercutor Titán.....	79
Tabla 19: Resultados del cálculo de $Pw_{(barra \tau)}$ .....	80
Tabla 20: Selección de $\tau_{(ult)}$ para el diseño.....	80
Tabla 21: Cálculo de Lb de acuerdo a las condiciones de diseño definidas.....	81
Tabla 22: Determinación de Lb, LL y LT para diseño.....	81
Tabla 23: Características del equipo perforador seleccionado.....	84
Tabla 24: Características de las herramientas DTH seleccionadas.....	84
Tabla 25: Características del equipo compresor seleccionado.....	85
Tabla 26: Características del equipo inyector seleccionado.....	86
Tabla 27: Resumen del trabajo ejecutado en la Etapa 1.....	90
Tabla 28: Aspectos operativos resaltantes en la Etapa 1.....	92
Tabla 29: Resumen del trabajo ejecutado en la Etapa 2.....	93
Tabla 30: Resumen del trabajo ejecutado en la Etapa 3.....	96
Tabla 31: Rangos de Pw según las LA definidas.....	99

Tabla 32: Rangos de Pw considerando mayor $\phi_b$ .	100
Tabla 33: Secuencia de carga para ensayo pull test.....	101
Tabla 34: Resumen de las jabalinas instaladas. ....	104
Tabla 35: Resumen de la cantidad de anclajes instalados. ....	105

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de flujo para diseño .....	17
Figura 2: Esquema general del anclaje y sus componentes. ....	19
Figura 3: Diagrama de cuerpo libre del bulbo. ....	21
Figura 4: Componentes generales de la perforación. ....	27
Figura 5: Fundamento de la perforación rotopercusiva.....	31
Figura 6: Fundamento de la perforación rotativa.....	33
Figura 7: Elementos que conforman el martillo DTH.....	38
Figura 8: Esquema del equipo de inyección en operación.....	40
Figura 9: Esquema general del ensayo pull test. ....	46
Figura 10: Curva de la deformación registrada versus carga.....	47
Figura 11: Vista en plantas de una línea de postes. ....	48
Figura 12: Esquema referencial de un vano.....	49
Figura 13: Diagrama de cuerpo libre de un poste. ....	51
Figura 14: Diagrama de cuerpo de libre del poste con retenida.....	52
Figura 15: Diagrama de cuerpo libre del bloque de anclaje de retenida. ....	53
Figura 16: Línea con postes desde la CH. Chosica y Yanacoto hacia la S.E Santa Rosa. ....	55
Figura 17: CH. Charcani y líneas con postes hacia Arequipa. ....	56
Figura 18: Anclajes instalados para marco de reacción.....	58
Figura 19: Vista de un poste con retenida convencional.....	72
Figura 20: Vista del bloque de retenida convencional.....	73
Figura 21: Vista de un anclaje con barra para retenida.....	73
Figura 22: Configuración del equipo para anclaje autoperforante.....	87
Figura 23: Disposición de elementos del anclaje autoperforante.....	88
Figura 24: Configuración del equipo para perforación DTH. ....	89
Figura 25: Disposición de elementos para instalación con perforación DTH. ....	89
Figura 26: Disposición del bi-poste L6-4 después del flechado. ....	97
Figura 27: Instalación de anclajes adicionales en pi-poste L6-4. ....	97
Figura 28: Esquema del poste L121-7 para retenida adicional. ....	98
Figura 29: Postes L121-7 y L121-8 siendo reforzados con anclajes adicionales. .....	98
Figura 30: Disposición de la jabalina respecto al poste. ....	103

## LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

a/c	:	Relación agua – cemento.
ABNT	:	Asociación Brasileira de Normas Técnicas.
$A_{cuña}$	:	Área de la cuña de relleno sobre el bloque.
API	:	Tubería de perforación con roscas tipo API.
As	:	Área de la sección transversal de acero.
ASTM	:	American Society of Testing and Materials.
c	:	Cohesión del suelo.
CH	:	Central hidroeléctrica.
$C_{rrc}$	:	Coefficiente de reducción de resistencia al cizallamiento.
Db	:	Diámetro de la sección transversal del poste en la base.
De	:	Diámetro de la sección transversal del poste en el empotramiento.
DGE	:	Dirección General de Electricidad.
Dp	:	Diámetro de la sección transversal del poste en la punta.
DTH	:	Método de perforación con martillo en fondo / down the hole.
DTH-C:		Sistema de perforación DTH con broca convencional.
$E_H$	:	Estados de herramientas de perforación.
Em	:	Empuje aplicado sobre la broca de perforación.
F1	:	Fuerza lateral ejercida por el relleno.
Fcq	:	Factor de corrección de caudal.
Feq	:	Fuerza equivalente en el poste.
FHWA	:	Federal Highway Administration of USA.
Fp	:	Fuerza de tiro en la punta del poste.
FS	:	Factor de seguridad.
FSr	:	Factor de seguridad de la retenida.
Fvc	:	Fuerza del viento sobre el conductor.
Fvp	:	Fuerza del viento sobre el poste.
Fy	:	Esfuerzo de fluencia del acero.
h	:	Profundidad del bloque de retenida convencional.
HDPE	:	High density
He	:	Altura equivalente.
Hpv	:	Altura libre del poste.
Hr	:	Altura del poste donde tira la retenida.
IGU	:	Inyección global única.
InF	:	Inyección de fijación y desplazar a la InP.

InP	:	Inyección para barrido durante la perforación.
IR	:	Inyección repetitiva.
IRS	:	Inyección repetitiva selectiva.
JL	:	Equipo perforador manual "jack leg".
Kf	:	Coeficiente de anclaje según.
LA	:	Longitud anclada del bulbo, equivalente a Lb.
Lb	:	Longitud de bulbo, equivalente a LA.
LL	:	Longitud libre del anclaje, tramo no adherido.
Lp	:	Longitud de perforación.
LS	:	Longitud superior, tramo de anclaje que sobresale del terreno.
LT	:	Línea de transmisión.
LT	:	Longitud total del anclaje.
MP	:	Equipo perforadora denominado multipropósito.
MVCS	:	Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento – Peru.
n	:	Coeficiente de seguridad para la carga del anclaje.
Nr	:	Numero de retenidas.
Pb	:	Carga de trabajo del bulbo.
Pe	:	Carga de ensayo del anclaje.
PTI	:	Post Tensioning Institute (Instituto de Post-tensado)
P <sub>ult</sub>	:	Carga última del bulbo.
Pw	:	Carga de trabajo del anclaje.
Qec	:	Caudal aparente entregado por el compresor.
Qnc	:	Caudal nominal del compresor.
R <sub>MR</sub>	:	Resistencia mínima requerida de la lechada de cemento.
Su	:	Esfuerzo cortante no drenado en suelo arcilloso.
Tc	:	Fuerza de tracción del conductor sobre el poste.
TD	:	Equipo perforador denominado "track drill".
TH	:	Método de perforación con martillo en superficie / top hammer.
Tq	:	Torque aplicado sobre la sarta de perforación.
Tr	:	Fuerza de tracción máxima de retenida.
U	:	Perímetro medio de la sección transversal del bulbo.
Vb	:	Velocidad de barrido.
Vp	:	Velocidad de perforación.
Vr	:	Velocidad de rotación de la sarta de perforación.
Wc	:	Peso del bloque de concreto de retenida convencional.
WD	:	Equipo perforador denominado "wagon drill".

$W_s$	:	Peso del relleno sobre el bloque de retenida convencional.
$W_t$	:	Peso total $W_s + W_c$ .
$z$	:	Altura de aplicación de la fuerza $F_{vp}$ .
$\alpha$	:	Angulo de deflexión en la trayectoria en una línea de transmisión.
$\beta$	:	Angulo vertical del anclaje post-tensado.
$\gamma_s$	:	Peso específico del suelo.
$\theta_v$	:	Angulo vertical del cable de retenida.
$\mu$	:	Coeficiente de fricción.
$\sigma'_z$	:	Esfuerzo efectivo en el punto medio del bulbo.
$\varphi$	:	Angulo de fricción del terreno.
$\phi_b$	:	Diámetro de bulbo.
$\phi_{bp}$	:	Diámetro de la broca de perforación
$\phi_p$	:	Diámetro de perforación.
$\phi_t$	:	Diámetro de la tubería de perforación.
$\tau$	:	Capacidad de adherencia del anclaje.
$\tau_{ult.}$	:	Capacidad de adherencia en estado último.
$\tau_w$	:	Capacidad de adherencia en estado de trabajo.

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1 PLANTEAMIENTO DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

A lo largo de la historia de ingeniería civil se puede dar ejemplos de técnicas que a la fecha quedaron en desuso por haber sido reemplazadas por otras que ofrecen mejores resultados, no solo técnicos, sino que también económicos e incluso mejoras significativas en seguridad industrial.

Un ejemplo particular es la masificación de anclajes post tensados como técnicas de sostenimiento para taludes resultantes de la excavación para construcción de sótanos en edificaciones. En este afán de construir sótanos y la obvia necesidad de sostener los taludes resultantes, hace 10 años se puede mencionar a que las técnicas empleadas eran las calzaduras y anclajes post tensados en un 50%-50%. Hace 20 años se puede especular que “el marcador” sería calzaduras 90% mientras que los anclajes post tensados con 10%. Mucho más atrás en el tiempo, hasta el año 1996, se identifica la primera aplicación de muros anclados para edificaciones en el Perú para la construcción de los sótanos del Edificio Hotel Delfines. Analizando técnicamente ambas alternativas, las calzaduras son técnicas invasivas, de bajo rendimiento para ganar profundidad de excavación, no garantizan la integridad de la edificación adyacente, expone al trabajador a espacios confinados y atrapamiento, la calzadura como tal es una estructura no aprovechable, entre otros. Mientras que para la técnica de muros anclados sucede lo contrario para cada enunciado. Dicho esto, se concluye, que ambas técnicas cumplen una misma finalidad, pero las variables son distintas y favorables para el caso de los muros anclados, como, por ejemplo: menores tiempos de ejecución, mejor coste (reducción del coste global del proyecto), se logra mayores profundidades de excavación, garantiza la integridad de las estructuras colindantes, etc. Por las bondades descritas, es una realidad que el uso de anclajes se ha masificado principalmente con fines de sostenimiento.

¿Un sistema de anclajes es únicamente una solución para sostenimiento y/o estabilidad de talud? La respuesta es un rotundo “no”. Será una solución adecuada en situaciones donde se requiera contrarrestar cargas a tracción, sea cargas pequeñas relativamente pequeñas (< 5 ton) o muy elevadas (> 120 ton).

En retenidas para líneas de transmisión con postes se identifican cargas de trabajo en el orden de 0.5 Tn a 10 Ton. Estos valores de cargas para un anclaje post tensado son valores relativamente bajos debido a su gran desempeño frente a cargas a tracción. ¿Por qué se optaría por elegir un anclaje post tensado como

retenida?, porque sumaría otras ventajas que difícilmente podría conseguir con un sistema convencional: al tener gran capacidad de soporte en las retenidas se puede incrementar la longitud de los vanos, anclar más de uno (hasta tres) cables de retenida por anclaje, instalar retenidas en roca dura sin mayor esfuerzo, menor tiempo de ejecución, entre otros.

Con el desarrollo de contenido bibliográfico como el que se presentará, se contribuirá a la difusión de la técnica de anclajes y su validez para proyectos de líneas de transmisión con postes. Entonces, es menester desarrollar técnicas de diseño y ejecución de anclajes empleados como retenidas orientadas, más allá del afán de encontrar una alternativa a la convencional, a posicionarse como la que otorgue mayores bondades técnica y económicamente hablando.

## 1.2 OBJETIVO

### 1.2.1 Objetivo principal

Definir una secuencia de buenas prácticas para el diseño y ejecución de anclajes post tensados empleados como retenidas para líneas de transmisión con postes.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Definir el diseño típico de la retenida anclada, considerando su importancia como elemento estructural de refuerzo para un poste.

Definir el procedimiento de ejecución desde el punto de vista de las buenas prácticas en técnicas y metodologías de perforación, inyección y ensayos con la finalidad de lograr el éxito en términos de calidad y seguridad durante la instalación de la retenida. Abarcando temas específicos tales como la selección de equipos, herramientas de perforación, parámetros de perforación, técnicas de inyección, entre otros.

Permitir a los especialistas en diseño y construcción de líneas de transmisión una opción de retenida más favorable respecto a una convencional.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

### 2.1 MARCO TEÓRICO PARA EL DISEÑO DE ANCLAJES

Para el diseño de anclajes empleados como retenidas para líneas de transmisión con postes se sugiere seguir por lo menos con la siguiente secuencia mostrada en el diagrama de flujo.

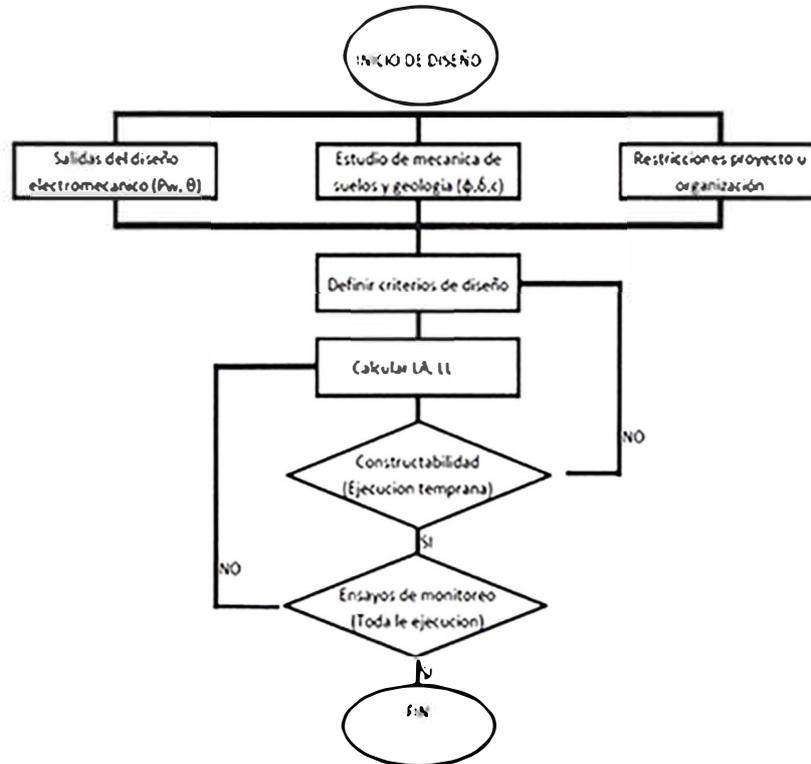


Figura 1: Diagrama de flujo para diseño.

En la Figura 1 se muestra un diagrama de flujo que se tomara como referencia para la secuencia de diseño que se desarrollada en el presente capítulo.

El diseño se alimenta de información para definir los criterios, con ello se procede al cálculo de los componentes del anclaje que se manifiestan en planos y/o planillas. Con estas últimas se inicia la ejecución temprana, denominada así a la etapa inicial de ejecución cuando se van afinando algunas variables operativas, y si alguna de estas podría afectar algún criterio de diseño. Por ejemplo, durante la ejecución temprana se puede identificar que el sistema de perforación seleccionado para el tipo de suelo no fue el adecuado, y la alternativa de cambiar a otro sistema de perforación implica la variación del diámetro del taladro y por ende el diámetro del bulbo, afectando posiblemente el valor de longitud de bulbo, incluso pudiendo ser necesario modificaciones en el sistema de inyección y diseño de lechada de cemento previamente asumido.

El ejemplo citado es una muestra de que tanto el área de diseño como el área de ejecución deben tener un vínculo de comunicación continua y retroalimentación. Finalmente, el diagrama de flujo de diseño culmina cuando los anclajes son validados y aceptados después de ser sometidos a ensayos de carga.

### 2.1.1 Información de ingreso para el diseño

#### 2.1.1.1 Resultados del diseño electromecánico

El diseño electromecánico de líneas de transmisión con postes arroja como resultado, y de interés para el diseñador de retenidas, los valores de carga de trabajo de la retenida ( $P_w$ ), número de retenidas ( $N_r$ ) y ángulo sobre la que estará dispuesta sobre el poste ( $\theta_v$ ).

El especialista electromecánico deberá especificar la cantidad de retenidas hacia atrás y hacia adelante, o en su defecto a la bisectriz, para que ésta sea detallada en los planos y/o planillas de anclajes.

#### 2.1.1.2 Estudio de mecánica de suelos y/o geología

El estudio de mecánica de suelos y geología en líneas de transmisión con postes, y de interés del diseñador de retenidas, está orientado a la obtención de propiedades geomecánicas tales como cohesión ( $c$ ), ángulo de fricción ( $\phi$ ) y peso específico ( $\gamma$ ).

Por la distancia que atraviesa una línea de transmisión es de esperar que los postes sean cimentados sobre distintos tipos de terrenos. En este caso es deber del especialista geotécnico realizar una caracterización (o zonificación) geotécnica agrupando cierto número de locaciones con propiedades geomecánicas similares y/o equivalentes. Esto con la finalidad de proporcionar al diseñador alternativas de cimentaciones típicas.

### 2.1.2 Restricciones del proyecto u organización

Este apartado puede llegar a ser tan importante como los dos anteriores, principalmente cuando el diseño está condicionado a variables que no están bajo el gobierno del diseñador. Se recomienda considerar, por lo menos, las siguientes posibles restricciones:

- Acotar la longitud de anclajes debido a la existencia o proyección de estructuras enterradas (restricción de proyecto).

- Acotar el diámetro de anclaje y/o longitud debido a la capacidad de los equipos disponibles (restricción de la organización).
- Selección del sistema de inyección debido a la capacidad del equipo disponible (restricción de la organización).
- Selección del sistema de perforación considerando el grado de perturbación en vibración, ruido y polvo, principalmente en zonas sensibles, tales como taludes o estructuras especiales (restricción de proyecto).

### 2.1.3 Criterios de diseño

Como primer paso se debe identificar los elementos que componen el anclaje de retenida. A continuación, se muestra gráficamente en la Figura 2:

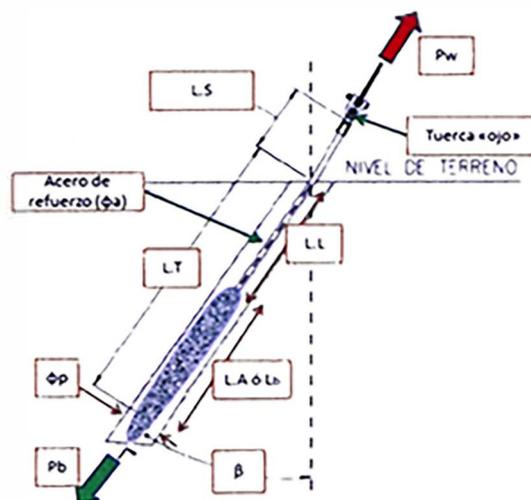


Figura 2: Esquema general del anclaje y sus componentes.

Donde:

Pw: Carga de trabajo del anclaje, carga actuante sobre el anclaje.

Pr: Carga resistente del anclaje.

LA: Longitud anclada o longitud de bulbo (Lb).

LL: Longitud libre, tramo no adherente.

LT: Longitud total del anclaje dentro del terreno, LA+LL

LS: Longitud superior, tramo que sobresale de la superficie de terreno.

$\beta$ : Ángulo del anclaje respecto a la vertical ( $^{\circ}$ ).

Pb: Carga resistente del bulbo en condición de trabajo.

$\phi_p$ : Diámetro de perforación. Por lo general igual al del bulbo ( $\phi_b$ )

Con los elementos del anclaje ya identificados, se definen los siguientes criterios:

- Vida útil del anclaje: si es mayor a dos (02) años se considera un anclaje permanente (MVCS, 2018) y debe contemplarse la protección adecuada para el acero y para la columna de lechada de cemento. Además, sobre este concepto se debe contemplar el respectivo factor de seguridad.
- Tipo de acero de refuerzo: este puede ser una barra, sólida o hueca, o cable. Se sugiere utilizar cable cuando el  $P_w$  sea superior a 20 Tn, caso que es no es común en retenidas, por lo que de principio de debe elegir utilizar barra.
- Diámetro de perforación: esta variable influye directamente en el valor la capacidad resistente del bulbo, debido al incremento del área de contacto entre el bulbo y el terreno. Sin guía para su cálculo primario es que la relación  $\phi_a/\phi_p$  este comprendida entre 0.4 y 0.6 (Suarez, J.,2009).
- Tipo de cemento: está sujeto a la presencia de cloruros, sulfatos, nivel freático y tiempo de vida útil del anclaje. Se sugiere contemplar cemento Tipo V en la medida de lo posible.
- Tipo de inyección: esta puede ser a gravedad, tipo IGU, IR o IRS.
- Longitud adherente o longitud de bulbo: según lo indicado en PTI (2004), ABNT (1996), FHWA (1999), MVCS (2018) e información de experiencias previas.
- Longitud libre (LL): considerar un mínimo de 0.50 m.
- Longitud superior (LS): considerar un mínimo de 0.20 m.

#### 2.1.4 Estimación de los componentes del anclaje

El diseño de anclajes aplicados como retenidas seguirá las recomendaciones indicadas en MVCS (2018), pero considerando que este reglamento en cada descripción toma los mismos conceptos de PTI (2004), FHWA (1999) y ABNT (1996); además de tener claro que se debe orientar los criterios para el caso de retenidas para postes.

##### 2.1.4.1 Cálculo del acero de refuerzo

Consiste en definir la resistencia del acero en función de su límite de fluencia ( $F_y$ ) y el área de acero ( $A_s$ ). Esto en función a la carga a la que será sometida y queda definida por la siguiente expresión indicada en ABNT (1996).

$$P_w = \frac{0.90 * F_y * A_s}{n} \quad ( 1 )$$

$P_w$ : Carga de trabajo del anclaje.

$F_y$ : Esfuerzo de fluencia del acero.

$A_s$ : Área de la sección de acero.

$n$ : Coeficiente de seguridad. Este será 1.5 para anclajes temporales y 1.75 para anclajes permanentes.

#### 2.1.4.2 Cálculo de longitud anclada (LA) o longitud de bulbo ( $L_b$ )

Entiéndase como bulbo al elemento que resistirá la carga del anclaje. El comportamiento de las fuerzas y/o esfuerzos actuantes sobre el bulbo se muestran en la siguiente Figura 3:

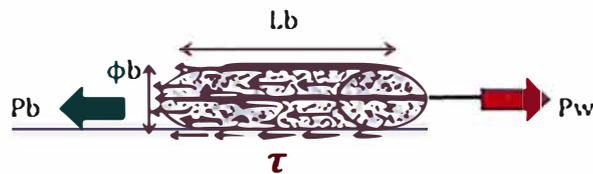


Figura 3: Diagrama de cuerpo libre del bulbo.

En el contacto bulbo- suelo/roca existe una fuerza cortante resistente al actuar la carga sobre el anclaje. Esta fuerza, actúa sobre toda la superficie del bulbo a manera de un esfuerzo cortante en el contacto lechada de cemento – suelo/roca ( $\tau$ ). Este esfuerzo es equivalente a la fricción y/o rozamiento de un cuerpo sobre una superficie rugosa.

Entonces, del diagrama de cuerpo libre de la Figura 3 y de PTI (2004):

$$(Area\ Superficial\ de\ Bulbo) \times \tau_w = P_w$$

$$P_b = \pi \times \phi_b \times L_b \times \tau_w = P_w$$

Resultando  $L_b$ :

$$L_b = \frac{P_w}{\pi \times \phi_b \times \tau_w} \quad (2)$$

Dónde:

$\phi_b$ : Diámetro de bulbo, equivalente al diámetro de perforación.

$\tau_w$ : Capacidad de adherencia en condición de trabajo en el contacto lechada de cemento – suelo/roca.

$P_w$ : Carga de trabajo del anclaje.

$L_b$ : Longitud de bulbo.

$P_b$ : Capacidad de bulbo en condición de trabajo

El valor de  $\tau_w$ , que está en condición de trabajo, depende del valor  $\tau_{ult}$ . Este último se define como la capacidad de adherencia última en el contacto lechada de cemento – suelo/roca. Se relacionan de la siguiente manera:

$$\tau_w = \frac{\tau(ult)}{FS} \quad (3)$$

Dónde:

$\tau_w$ : Capacidad de adherencia en condición de trabajo en el contacto lechada de cemento – suelo/roca.

$\tau_{ult}$ : Capacidad de adherencia última en el contacto lechada de cemento – suelo/roca.

FS: Factor de seguridad del bulbo.  $F.S \geq 2$ .

La capacidad de adherencia última requiere una especial atención pues definirá la longitud de bulbo y por ende la capacidad del anclaje. El  $\tau_{ult}$  depende básicamente de las propiedades del terreno (suelo y/o roca) y de las condiciones de instalación (tipo de inyección, presión de inyección, metodología de perforación, etc.). Debido a esto último se recalca la importancia que la etapa de diseño sea compatible con las técnicas de ejecución a emplear y viceversa.

El valor de  $\tau$ , adherencia en el contacto lechada de cemento-suelo/roca, al ser un esfuerzo cortante, puede ser expresado en su forma más básica mediante por las ecuaciones de Mohr Coulumb:

$$\tau = \sigma r \times \tan \varphi + C \quad (4)$$

Sin embargo, por lo ya descrito, en su valor intervienen más variables.

Para la definición del valor de  $\tau_{ult}$  se puede optar por métodos heurísticos, tablas con valores referenciales y/o ensayos de arrancamiento. La selección de cada método dependerá de la información disponible y experiencia del diseñador de anclajes.

- $\tau_{ult}$  según PTI (2004) y FHWA (1999)

Los valores que se muestran a continuación son exactamente iguales para ambos documentos. Para el caso de la FHWA (1999) hace referencia a que los valores lo toman desde PTI (1996), el cual es el precedente de PTI (2004).

Estos valores se muestran en MVCS (2018) en una tabla unificada. Enfatizando en todos los casos que el profesional responsable asume, en base a su

experiencia, el valor conveniente de  $\tau_{ult}$ , en la Tabla, Tabla 2 y Tabla 3, diferenciándose entre si de acuerdo al tipo de terreno, roca, suelo cohesivo y no cohesivo respectivamente.

Tabla 1: Valores típicos de  $\tau_{ult}$  en el contacto lechada de cemento – roca.

Fuente: MVCS (2018), acorde con PTI (2004) y FHWA (199).

Tipo de roca	$\tau_{ult}$	
	Mpa.	PSI.
Granito y basalto	1.7 - 3.1	250 - 450
Dolomita de piedra caliza	1.4 - 2.1	200 - 300
Caliza blanda	1.0 - 1.4	150 - 200
Pizarras y esquistos duros	0.8 - 1.4	120 - 200
Esquistos blandos	0.2 - 0.8	30 - 120
Areniscas	0.8 - 1.7	120 - 250
Arenisca meteorizada	0.7 - 0.8	100 - 120
Tiza / yeso	0.2 - 1.1	30 - 155
Marga meteorizada	0.15 - 0.25	25 - 35
Concreto	1.4 - 2.8	200 - 400

Tabla 2: Valores típicos de  $\tau_{ult}$  en el contacto lechada de cemento – suelo cohesivo.

Fuente: MVCS (2018), acorde con PTI (2004) y FHWA (199).

Tipo de anclaje	$\tau_{ult}$	
	Mpa.	PSI.
Anclajes inyectados a gravedad	0.03 - 0.07	5.0 - 10.0
Anclajes inyectados a presión		
. Arcilla limosa blanda	0.03 - 0.07	5.0 - 10.0
. Arcilla blanda	0.03 - 0.07	5.0 - 10.0
. Arcilla dura (plasticidad media alta)	0.03 - 0.10	5.0 - 15.0
. Arcilla muy dura (plasticidad media a alta)	0.07 - 0.17	10.0 - 25.0
. Arcilla dura (plasticidad media)	0.10 - 0.25	15.0 - 25.0
. Arcilla muy dura (plasticidad media)	0.14 - 0.35	20.0 - 50.0
. Limo arenoso muy duro (plasticidad media)	0.28 - 0.38	40.0 - 55.0

Tabla 3: Valores típicos de  $\tau_{ult}$  en el contacto lechada de cemento – suelo no cohesivo.

Fuente: MVCS (2018), acorde con PTI (2004) y FHWA (199).

Tipo de anclaje	$\tau_{ult}$	
	Mpa.	PSI.
Anclajes inyectados a gravedad	0.07 - 0.14	10.0 - 20.0
Anclajes inyectados a presión		
. Arena fina a media., med. densa a densa	0.08 - 0.38	12.0 - 55.0
. Arena med. gruesa (con grava), med. Densa	0.11 - 0.66	16.0 - 95.0
. Arena med. gruesa (con grada), densa a densa	0.25 - 0.97	35.0 - 140.0
. Arenas limosas	0.17 - 0.41	25.0 - 60.0
. Morrena glacial densa	0.30 - 0.52	43.0 - 75.0
. Grava arenosa, med. densa a densa	0.21 - 1.38	31.0 - 200.0
. Grava arenosa, densa a muy densa	0.28 - 1.38	40.0 - 200.0

Es importante recordar que estas tablas consideran "inyección en dirección al eje", es decir, se habla de una inyección IGU. No hay presurización de manera radial o perpendicular al eje (enraizamiento) como si es caso de una inyección IR o IRS. Además, indica que los valores reales para los anclajes inyectados a presión (como indican las tablas) dependerán de la capacidad de desarrollar las presiones en cada tipo de suelo. Es decir, que la presión final de inyección depende de la resistencia que ofrece el suelo a que la lechada de cemento ingrese al medio, lo cual es variable de la condición del suelo. Por ejemplo, una arcilla muy dura ofrece menos resistencia a la inyección en dirección al eje respecto a una grava arenosa, por ende, la presión de inyección de cierre en la arcilla será menor respecto a la grava.

- $\tau_{ult}$  según ABNT (1996).

La norma brasileña expresa que las ecuaciones que se mostraran a continuación son únicamente valores que deben usar como primera iteración de diseño y que el  $\tau_{ult}$  deberá ser verificado, necesariamente, mediante ensayos de arrancamiento.

Para suelos arenosos:

$$P(ult) = \sigma'z \times U \times Lb \times Kf \quad (5)$$

Dónde:

$P(ult)$ : Capacidad última de anclaje

$\sigma'z$ : Esfuerzo efectivo en el punto medio del bulbo del anclaje.

U: Perímetro medio de la sección transversal del bulbo.

Lb: Longitud de bulbo.

Kf: Coeficiente de anclaje indicado en la Tabla 4.

Tabla 4: Coeficientes de anclaje - Kf.

Fuente ABNT (1996).

Tipo de Suelo	Compacidad del suelo		
	Suelto	Compacto	Muy compacto
Limo	0.1	0.4	1.0
Arena fina	0.2	0.6	1.5
Arena media	0.5	1.2	2.0
Arena gruesa y grava	1.0	2.0	3.0

Para suelos arcillosos:

$$P(ult) = C_{rrc} \times U \times L_b \times S_u \quad (6)$$

Dónde:

P(ult): Capacidad ultima de anclaje

C<sub>rrc</sub>: Coeficiente de reducción de resistencia al cizallamiento (corte).

U: Perimetro medio de la sección transversal del bulbo.

L<sub>b</sub>: Longitud de bulbo.

S<sub>u</sub>: Esfuerzo cortante no drenado del suelo arcilloso.

Con  $S_u \leq 40$  kPa, entonces  $C_{rrc} = 0.75$ .

Con  $S_u \geq 100$  kPa, entonces  $C_{rrc} = 0.35$ .

Y para valores intermedios interpolar linealmente.

- $\tau_{ult}$ . según ensayos in situ.

Para calcular el  $\tau_{ult}$ . se realiza ensayos de carga sobre el anclaje induciéndolos a la falla del bulbo, en el contacto bulbo – suelo /roca.

El ensayo más conocido es el denominado de “arrancamiento” y su práctica es recomendable cuando se desconozca el valor de  $\tau_{ult}$ . para determinado terreno el cual se alojará el anclaje (MVCS, 2018).

Puelles, J. (2011) propone criterios y una metodología para obtener la capacidad de adherencia ultima en función de ensayos de arrancamiento ejecutados en anclajes de cable en el suelo tipo de la ciudad de Lima.

- $\tau_{ult}$ . según otras metodologías.

En la tesis de maestría de Puelles, J. (2011) se hace mención a metodologías de cálculo matemático en función a experiencias particulares, a partir de diversas

variables, para la obtención de  $\tau_{ult}$ . Destaca los métodos de Hosbt, Littejohn, Ostermeyer, Bustamante y Doix, y Mecsi.

#### 2.1.4.3 Estimación de la longitud libre (LL)

La longitud libre por definición es el tramo de anclaje no adherido que parte de la parte superior del bulbo hasta la superficie del terreno. No se encuentra adherido porque es la forma de transmitir la carga entregada al anclaje hacia el bulbo que es el equivalente a la cimentación del anclaje, es decir, la LL es más un medio de transferencia de carga.

El valor de LL, para el caso de anclajes de sostenimiento, está condicionado por la ubicación de la superficie de falla del talud. Aquí se busca que la LL contribuya al factor de seguridad del talud ubicando al bulbo detrás de dicha superficie de falla.

Para el caso de anclajes aplicados como retenidas no aplica el mismo criterio de sostenimiento en taludes en cuanto a la definición de la LL.

El principal objeto de la LL en anclajes para retenidas es asegurar que el bulbo se encuentra lo suficientemente profundo para que trabaje eficientemente. En tal sentido dependerá de las características del terreno. Si el terreno presenta roca sana y el clima no es agresivo en términos de meteorización, la LL puede tender a 0.00 m., mientras que para suelos sueltos y condiciones agresivas puede considerarse un valor de 0.50 m.

Para efectos prácticos consideraremos un LL mínimo de 0.50 m para todos los casos, con esto también estaremos cubriendo la eventual meteorización de la zona superior del bulbo cuando se trabaje en climas agresivos.

## 2.2 MARCO TEÓRICO PARA LA EJECUCIÓN DE ANCLAJES

En el proceso de ejecución de anclajes se contemplan las siguientes actividades:

- Perforación.
- Inyección de cemento.
- Ensayos de control y/o verificación.

Sobre estas actividades se detallarán los principios que gobierna cada una y las principales técnicas empleadas de acuerdo a condiciones particulares.

### 2.2.1 Perforación

Se define a la perforación como la operación de penetración en el terreno (suelo y/o roca) mediante la fuerza mecánica con la finalidad obtener el espacio necesario para introducir un elemento estructural, para este caso un anclaje.

Todas las técnicas de perforación a las que se hace referencia en la presente son referidas a perforaciones destructivas, es decir, sin recuperación de muestras.

Para lograr los requerimientos el hoyo objetivo se debe tener en cuenta principalmente las condiciones de terreno, su diámetro y longitud.

Sobre estas condiciones el ejecutor deberá definir lo siguiente: sistema de perforación, selección de equipos y herramientas.

Para tener claros los apartados referidos a perforación es necesario conocer los componentes principales de la perforación como actividad, para lo cual se muestra la Figura 4:

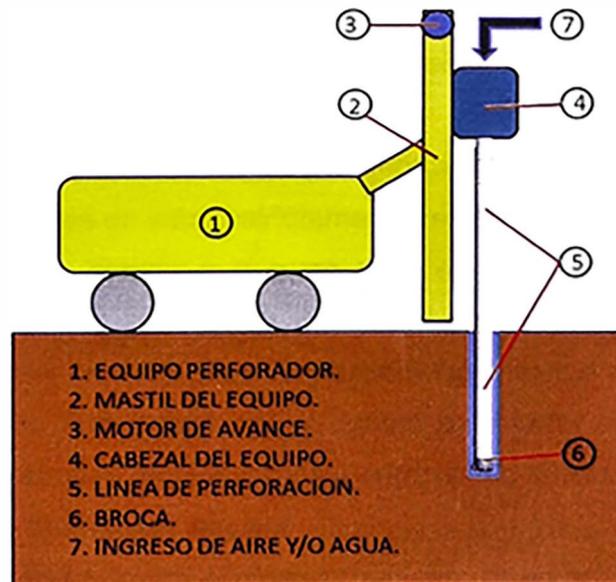


Figura 4: Componentes generales de la perforación.

#### 2.2.1.1 Selección de equipo perforador

Para poder seleccionar determinado equipo perforador, estos se agruparán de acuerdo a su tamaño, peso y capacidad mecánica, para, en función a ello, definir la característica principal con la que se debe o desea contar.

En López, C., López, E. y García, P. (2017) se muestra los tipos de equipos de perforación como manuales, también conocidas como Jack leg (JL), vagones de perforación (WD) y carros de perforación, la cual se apoyan sobre orugas y

abarcan desde equipos neumáticos e hidráulicos, siendo las track drill (TD) y multipropósito (MP) las más comunes.

Para este caso, se agrupará a los equipos de perforación en función a su peso y en consecuencia a su capacidad.

Tabla 5: Clasificación de equipo perforador.

Elaboración propia.

Tipo de equipo	Peso (kg.)	$\phi$ (in.)	Lp (m.)	Sistemas de perforación	Tipo de equipos
Liviano	< 1000 kg.	1" - 5"	$\leq$ 100 m.	TH y DTH-C	JL y WD
Mediano	< 5000 kg.	1" - 8"	$\leq$ 300 m.	TH, DTH-C y DTH-R	TD y MP
Pesado	> 5000 kg.	3" - 12"	$\leq$ 500 m.	TH, DTH-C y DTH-R	MP

En la Tabla 5 se muestra una clasificación de equipos de perforación según su capacidad, sistemas a montar y peso.

Es necesario aclarar que el valor de profundidad máxima de perforación (Lp) indicada en la Tabla 5 es un valor estrictamente referencial y es válido únicamente para roca sana. Esto debido a que en roca sana las paredes del hoyo se mantienen estables y no hay fricción entre las herramientas de perforación y el terreno. En este caso en específico la profundidad máxima está determinado el peso de columna de perforación que el equipo perforador puede levantar, para esto basta calcular el peso de la columna y compararlo con la fuerza de elevación indicada en la ficha técnica del equipo.

También se mencionan algunos equipos especiales, que consisten en montar una columna de perforación sobre algún equipo hidráulico que pueda dotar del caudal y presión necesaria para accionar las funciones básicas de rotación, avance e incluso percusión en superficie (Comacchio SpA, 2022).

### 2.2.1.2 Equipos livianos

Presentan las siguientes características:

Ventajas:

- Facilidad de transporte, incluso de manera manual.
- Facilidad para operar en espacios reducidos.
- Bajo coste de operación y mantenimiento.

Desventajas:

- Necesita ser arriostrado para su operación e instalado manualmente.
- Baja capacidad de fuerza de elevación y torque.
- Necesidad de implementar aditivos de seguridad adicional al de fábrica.

Aplicabilidad:

Se recomienda su uso para terrenos medianamente estables a estables donde las paredes del taladro permanecen estables sin necesidad de revestimiento y en zonas de trabajo con accesibilidad limitada.

### 2.2.1.3 Equipos medianos

Presentan las siguientes características:

Ventajas:

- Incorporan orugas y brazos hidráulicos para su movilidad autónoma para trasladarse y posicionarse.
- Importante incremento en su capacidad de torque y fuerza de elevación.
- Incorpora bomba de agua o espuma que facilita el barrido.

Desventajas:

- Su transporte requiere cuanto mínimo un camión grúa.
- Necesita contar con accesos carrozable con pendiente inferior a 20°.
- Coste de mantenimiento y operación relativamente alto.

Aplicabilidad:

Abarca gran parte de los tipos de terrenos debido al incremento en sus capacidades de perforación, principalmente cuando se trabaja con perforación top-hammer (TH) y down the hole – convencional (DTH-C), sin embargo, se debe tener precaución cuando se trate sistema down the hole - revestido (DTH-R) porque su capacidad en torque y elevación aún son bajas para salvar situaciones de atrapamiento de sarta en terrenos agresivos.

### 2.2.1.4 Equipos pesados

Presentan las siguientes características:

Ventajas:

- Altas prestaciones en torque y elevación.
- Abarca todo el rango de tipos de terreno con distintos diámetros y longitudes de perforación.

- Posee accesorios que permiten optimizar la tarea de perforación.

Desventajas:

- Elevado coste de adquisición, operación y mantenimiento.
- Necesita contar con accesos carrozable con pendiente inferior a 20° y plataformas bien conformadas.

Aplicabilidad:

Se sugiere su uso cuando el terreno es especialmente agresivo cuando se trabaja con DTH-R y/o cuando la longitud de perforación por poste sea importante y, además, cuando los postes anclaje estén relativamente cerca.

En términos generales, la selección del equipo perforador puede depender de muchas variables. Sin embargo, uno de los más preponderantes será la accesibilidad a la zona de perforación. Esto será una variable importante en líneas de transmisión con postes ubicados en zonas montañosas, en donde, la alternativa recomendable sería priorizar el uso de equipos livianos.

#### *2.2.1.5 Equipos especiales*

Se define así a los equipos dotados con características funcionales orientadas a satisfacer una necesidad en particular, cogiendo los atributos de los equipos ya mencionados anteriormente. Esto con la finalidad de superar restricciones de accesibilidad, fundamentalmente.

Se destaca, principalmente, a las columnas de perforación montadas sobre retroexcavadores, excavadoras, camión grúa, y en general cualquier unidad hidráulica que tenga la presión y caudal de aceite hidráulico requerida por la columna de perforación, las cuales están equipadas con motor de avance, deslizadera, y cabezal de rotación o de percusión tipo drifter.

#### *2.2.1.6 Selección de técnicas de perforación*

La perforación a realizar para anclajes será del tipo destructiva, donde no se requiere la recuperación de testigos y muestras de suelo/roca. El objetivo de la perforación va más allá de realizar un hoyo en el terreno, esto debido a que las paredes del pozo deben permanecer estables durante la colocación del anclaje e incluso para ciertos tipos de inyecciones. Debido a esto el ejecutor debe ser cuidadoso al definir las metodologías, sistemas y herramientas de perforación bajo las condiciones de terreno que presenta el proyecto.

A continuación, se estarán enunciando las principales características y bondades de técnicas de perforación:

- Perforación rotopercusiva

El fundamento de esta técnica se describe en la Figura 5, donde se ve las acciones de empuje, rotación y torque, ejercidos por el equipo perforador, la percusión puede ser entregada por el cabezal drifter del equipo o por la circulación del aire comprimido en el martillo DTH y la acción de barrido por el aire comprimido.

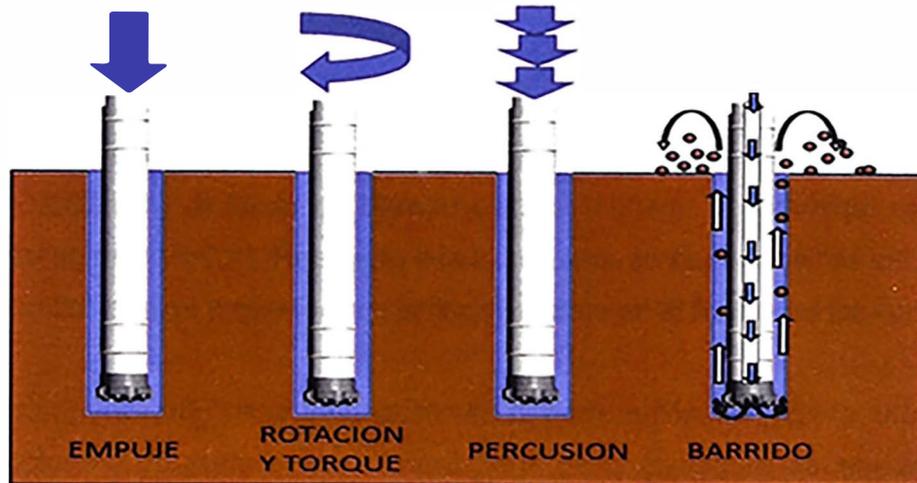


Figura 5: Fundamento de la perforación rotopercusiva.

La perforación rotopercusiva se fundamenta en “destruir” el terreno con la aplicación de peso sobre la broca, esta debe oscilar con cierta energía de percusión y torque para “romper” y “desgarrar” el terreno en cada impacto, la rotación contribuye a que cada impacto de la broca sea sobre “roca nueva” y el material residual (detritus) debe inmediatamente ser evacuado por el fluido de barrido (Numa, 2017).

Las perforaciones rotopercusiva son las más utilizadas tanto en terrenos blandos como en terrenos duros, inestables y abrasivos. Se puede decir que es la regla usar la perforación rotopercusiva. Estas pueden ser, según la naturaleza de la ubicación del martillo percutor, “down the hole” (DTH) o “top hammer” (TH), y un caso especial de TH son los anclajes autoperforantes.

Perforación “down the hole” (DTH):

Se le denomina perforación con martillo en fondo, porque el elemento percutor se ubica inmediatamente detrás de la broca. Esto se traduce en muy buena eficiencia en la transferencia de energía del martillo a la broca y por ende, energía entregada al suelo/roca, favoreciendo su alto desempeño en perforación (López, C., López, E. y García, P., 2017).

Perforación “top hammer” (TH):

Se le denomina perforación con martillo en superficie porque el elemento percutor se ubica detrás de toda la línea y sobre el equipo perforador. Este martillo TH está incorporado en el cabezal del equipo perforador y todo este conjunto mecánico recibe el nombre de “drifter”, conformado por unidad de rotación y un martillo TH. Tener el martillo TH detrás de la línea conlleva a importantes pérdidas de energía a lo largo del varillaje, entonces, la energía que la broca entrega al suelo/roca esta mermada, reduciendo su desempeño de perforación (López, C., López, E. y García, P. 2017).

Anclajes autoperforantes:

Se denomina así porque la línea de perforación es, a la vez, la barra de acero de refuerzo del anclaje y el fluido de barrido es una lechada de cemento con alto contenido de agua ( $a/c > 0.7$ ). Respecto a la broca esta se denomina “de sacrificio” o “broca perdida” debido a que forma parte del anclaje en el fondo del taladro (DSI, 2014).

El anclaje autoperforante es una variación de la perforación TH, con la diferencia de que la columna de perforación formará parte de la armadura del anclaje y el fluido de barrido, que normalmente es aire comprimido, es reemplazado por una mezcla de cemento.

- Perforación rotativa

Se refiere a perforación rotativa destructiva.

El fundamento de la perforación rotativa se visualiza en la Figura 6.

Los parámetros sobre los que se fundamenta la perforación rotativa son empuje, rotación, torque y barrido.

La perforación rotativa requiere que el equipo perforador tenga prestaciones muy altas en torque y empuje, debido a que el principio de perforación es por desgarrar y corte del suelo/roca mediante la aplicación de elevados esfuerzos entregados por los botones de la broca (López, C., López, E. y García, P. 2017). En este sentido para lograr un performance de perforación moderado el equipo perforador está en la escala de “equipo ultra pesado”, muy por encima de 25 Tn.

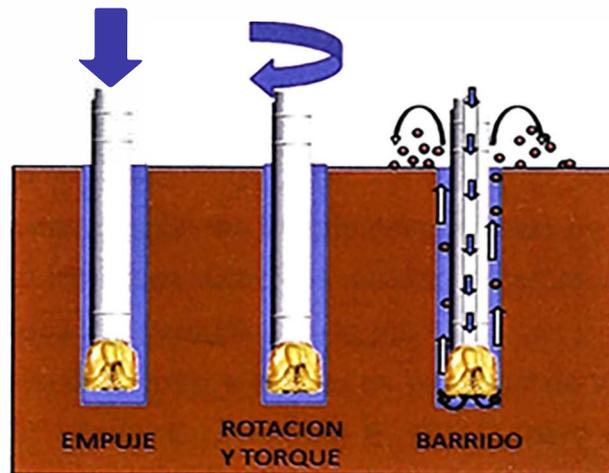


Figura 6: Fundamento de la perforación rotativa.

Si se enuncia como una opción para anclajes es porque su aplicabilidad se limita a casos particularmente especiales como el caso de suelos muy blandos y con poca resistencia a la abrasión. Esta condición es tal que el aire comprimido ayuda a progresar a la broca mediante abrasión generada por la velocidad del aire, siendo incluso suficiente brocas de fabricación artesanal. Entre las brocas usadas para este tipo de perforación que destacan los triconos, trépanos y trialetas.

#### 2.2.1.7 Parámetros de perforación

Se define como parámetros de perforación a las variables que intervienen y que en conjunto determinan el performance de la operación, estos se deben intentar controlar para mantener óptimos rendimientos. Se dice "intentar" porque para su medición y/o control se requiere de instrumentación que muchos de los equipos del medio local no disponen.

El performance de la perforación se mide en velocidad de penetración ( $V_p$ ), es decir, longitud progresada por intervalo de tiempo.

La velocidad de perforación es el resultado del correcto balance entre torque, velocidad de rotación, empuje, velocidad de barrido y estado de las herramientas de perforación

Para fines prácticos se expresará a la velocidad de penetración de la como una función de los parámetros base:

$$V_p = f(Tq; Vr; Em; Vb; EH) \quad (7)$$

Donde:

$V_p$ : Velocidad de penetración.

$Tq$ : Torque.

Vr: Velocidad de rotación.

Em: Empuje.

Vb: Velocidad de barrido.

EH: Estado de herramientas.

La expresión de  $V_p$  como función de los parámetros base se presenta de esa manera no porque haya intrínsecamente una relación matemática, sino porque los parámetros en su conjugación determinaran la  $V_p$ .

Si bien existe bibliografía que muestra valores de velocidad de  $V_p$  como la que se muestra en López, C., López, E. y García, P. (2017), pero la de esta están orientadas a equipos de gran minería, donde los equipos son muy sofisticados, y no relaciona estos valores con algún tipo de terreno en específico. Lo que si se puede asegurar es que estos valores fueron obtenidos como resultado de controles a operaciones de perforación.

Para el caso de anclajes, el valor de  $V_p$  deberá ser monitoreado durante la operación, teniendo en cuenta que su valor óptimo será el que se obtenga cuando se controlen las variables que la gobiernan según la ecuación 7.

- Torque ( $T_q$ )

La siguiente tabla muestra valores referenciales de torque para el arranque. Estos deberán ser afinados por el perforista de acuerdo a las condiciones reales de operación.

*Tabla 6: Valores referenciales de torque.*

*Fuente: Numa (2017).*

<b>Tq. vs. <math>\phi</math>broca.</b>				
$\phi$ broca (in.)	4"	5"	6"	8"
Torque (ft-lbs.)	500	650	800	1500

Estos valores son únicamente referenciales ya que se deben controlar de acuerdo a la capacidad nominal de torque del equipo perforador y sensibilidad de la sarta.

Consideraciones:

La solicitud de torque será mayor en terrenos inestables en donde se requiera emplear un sistema revestido. En este caso se debe considerar el torque nominal del equipo perforador muy superior al torque solicitado para evitar atrapamiento de sarta. El torque solicitado es la resistencia mínima que ofrece el terreno al giro de la broca y/o sarta.

Entiéndase como torque a la fuerza de rotación que ejerce el equipo de perforación. Sin embargo, controlarlo supone un gran reto debido a que se necesita equipamiento especial para ello.

- Velocidad de rotación ( $V_r$ )

La rotación es el giro de la broca permitiendo que los impactos se produzcan sobre "roca nueva".

Para el valor de  $V_r$  de arranque se puede considerar la siguiente expresión, según Numa (2017).

$$V_r = 1.6x(\text{promedio penetracion } x \text{ hr}) \quad ( 8 )$$

Es decir, si se espera una penetración de 20 metros por hora (20 m/h), la velocidad de rotación a considerar sería 32 RPM. La ecuación 8 puede ser iterativa, es decir, si la velocidad de penetración real varía respecto a la considerada inicialmente, entonces la velocidad de rotación también lo hará.

Esta relación también expresa que a mayor velocidad de penetración se debe considerar incrementar la velocidad de rotación. En términos prácticos, un terreno blando requiere mayor  $V_r$  respecto a un terreno duro.

Consideraciones:

Una  $V_r$  alta no necesariamente se traduce en favorecer a la  $V_p$ . Sino que contribuye al desgaste prematuro de la broca debido al desperdicio de energía.

Una  $V_r$  baja contribuye a que los impactos se efectúen sobre la misma roca ocasionando re-perforación focalizada, la broca tiende a enterrarse y desgastándose prematuramente.

- Empuje ( $E_m$ )

El empuje se define como el peso que actúa sobre la broca con la finalidad de que esta reciba eficientemente el impacto del martillo y del mismo modo lo transmita al terreno.

Un valor de  $E_m$  que se puede usar en el arranque de la perforación, según Numa (2017), es de 500 libras por pulgada de diámetro de broca.

Consideraciones:

La entrega de un elevado  $E_m$  no asegura una mejor  $V_p$ , esto solo perjudica la vida útil de las herramientas e incrementa el riesgo de atrapamiento. Mientras que un bajo valor de  $E_m$  el pistón del martillo DTH no entregará eficientemente la energía hacia la broca.

- Velocidad de barrido ( $V_b$ )

El barrido es la acción de limpieza del taladro a través del aire comprimido. El principio primario del barrido es que, una vez generado el detrito, este debe ser evacuado inmediatamente para mantener el fondo del pozo libre de partículas abrasivas. Esto se controla con una adecuada velocidad de barrido ( $V_b$ ).

La  $V_b$  es equivalente a la velocidad del aire en el espacio anular existente entre las paredes del taladro y las tuberías de perforación. Entonces:

$$V_b = \frac{Q_{ec} \times 183.4}{\phi^2 - \phi_t^2} \quad (9)$$

Dónde:

$Q_{ec}$ : Caudal entregado por el compresor (CFM).

$\phi_{bp}$ : Diámetro de broca de perforación (in.).

$\phi_t$ : Diámetro de la tubería de perforación (in.).

El caudal entregado por el compresor ( $Q_{ec}$ ) cuantifica la cantidad de aire suministrado por el compresor y varía de acuerdo a las condiciones de sitio, tales como la altitud y temperatura promedio donde se realiza la operación.

El valor de  $Q_{ec}$  resulta del cociente entre el caudal nominal del compresor ( $Q_{nc}$ ) y el factor de corrección ( $F_{cq}$ ) de caudal. Los valores de este último se muestran en la siguiente ecuación.

$$Q_{ec} = \frac{Q_{nc}}{F_{cq}} \quad (10)$$

La velocidad de barrido debe estar comprendida entre 4000 y 7000 FPM (pies por minuto) para evitar problemas de falta de barrido o exceso de abrasión.

Consideraciones:

Una baja  $V_b$  no favorece la adecuada evacuación del detritus, esto ocasionara que en el fondo del pozo los detritus no evacuados serán re-perforados, desgastando así las herramientas; además de reducir el performance e incrementando el riesgo de atrapamiento.

Una elevada  $V_b$  conlleva a un desgaste prematuro de la superficie de la sarta de perforación debido al poder abrasivo generado por la rápida circulación del detritus.

La tabla para selección de  $F_{cq}$  se muestra en el **Anexo 1**.

- Estado de herramientas (EH)

El estado de las herramientas de perforación no es, propiamente, un parámetro de perforación. Sin embargo, condiciona a la  $V_p$ .

Las herramientas que son más sensibles son el martillo, ya sea el de fondo o el de superficie y la broca. El martillo de superficie al ser un componente mecánico del equipo perforador depende exclusivamente del área de mantenimiento de equipos.

La recomendación principal es revisar las recomendaciones del fabricante en el cual se indican las consideraciones técnicas para su uso y mantenimiento; además de las tolerancias para su descarte.

Por ejemplo, en Atlas Copco (2011) en el manual para martillos de la serie Terranox, que fácilmente puede ser aplicado para martillos equivalentes en otras marcas, toca temas importantes como la cantidad de aceite neumático a inyectar en condiciones de perforación seca y húmeda en función al caudal de aire usado, cuidados cuando se perfora con inyección de espuma, indicadores de desgaste mediante la visualización de la broca, inspección del desgaste del martillo tomando medidas de sus principales componentes y verificar su aceptación o descarte, y los parámetros de los botones para proceder con el afilado; además de resumir algunas situaciones en perforación y mostrar sus causas y soluciones.

#### *2.2.1.8 Rendimiento de la perforación ( $R_p$ )*

Si bien la  $V_p$  busca cuantificar el tipo efectivo que demora en perforar determinada longitud con la conjugación de sus parámetros, el rendimiento de la perforación ( $R_p$ ) se mide en la misma unidad (longitud/tiempo) con la diferencia que esta última contempla la operación completa, como, por ejemplo, el tiempo total que demora en perforar un anclaje de 10 m. El tiempo destinado dependerá de la eficiencia de la operación: tiempo para colocar las tuberías, destreza del operador, eficiencia de los equipos y herramientas, entre otros.

La única forma de medir el  $R_p$  es tomando registro de los tiempos y eso servirá para cuantificar el coste de la operación en sí y se recomienda que se implemente como una práctica común.

#### *2.2.1.9 Criterios de selección de sistemas de perforación*

Para poder seleccionar el sistema de perforación, se debe considerar el tipo de terreno, diámetro y profundidad del taladro, y equipo perforador disponible o preseleccionado.

Los criterios de selección del sistema de perforación van de la mano con los criterios de selección del equipo perforador. Para este caso se contemplará que el equipo de perforación ya fue previamente definido.

Se detallan a continuación las consideraciones a tomar para seleccionar los sistemas rotoperkusiva, tanto con martillo de fondo como en martillo de superficie. No se considera en este apartado los sistemas rotativos ya que, como se describió con anterioridad, su aplicación para anclajes se considera bajo condiciones muy limitadas, como el caso de terrenos muy blandos y estables.

- Sistemas rotoperkusivos DTH

En estos sistemas la herramienta principal sobre la cual se define su funcionamiento se basa en el martillo de fondo, down the hole, DTH. Es necesario tener conocimiento de sus componentes y requerimiento de aire mínimo especificado en la información proporcionada por el fabricante.

En la Figura 7 se muestra los elementos que constituyen el martillo DTH, el cual es el principal protagonista en la perforación. La variación de algunas características específicas varía de acuerdo a su fabricación, pero el principio es similar.

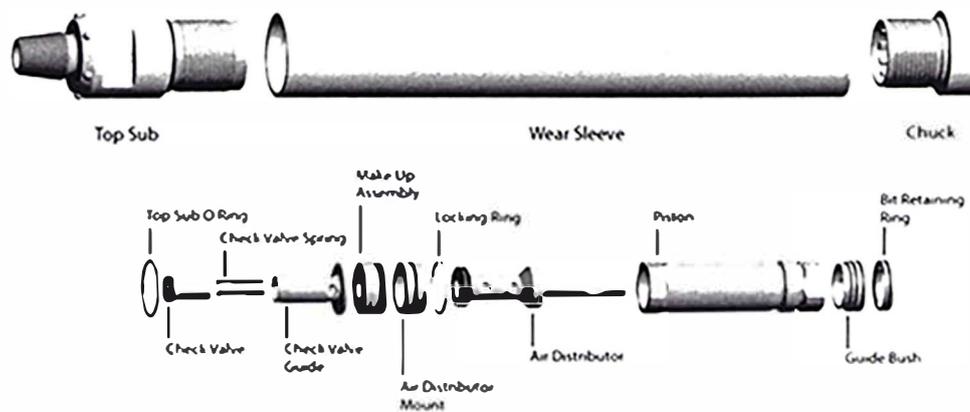


Figura 7: Elementos que conforman el martillo DTH.

Fuente: Robit (2018).

Sistema DTH convencional (DTH-C):

Se aplica en formaciones estables de suelo y roca sana a medianamente alterada. En terrenos donde las paredes del pozo se mantienen estable previo a la colocación del acero del anclaje.

La sarta de perforación la conforma las tuberías API, martillo DTH y broca convencional (también conocida como button bit). El coste de herramientas de perforación y de operación es muy inferior a un sistema DTH-R.

La gama de productos disponibles es muy amplia y entre ellos no hay alguna diferencia significativa importante. Únicamente se debe asegurar la adecuada selección de la cara frontal de la broca y botones de acuerdo a la dureza del terreno, aún más cuando se trate de perforación sobre roca.

Su aplicación es posible con cualquier tipo de equipo perforador.

Sistema DTH revestido (DTH-R):

Se aplica en formaciones inestables de suelo y en roca muy alterada. En terrenos donde las paredes del pozo necesitan de una funda temporal para poder colocar el acero del anclaje e incluso, a veces, durante la inyección del mismo.

La sarta de perforación la conforma las tuberías API, tuberías de revestimiento (casing), broca piloto (pilot bit) y zapata de arrastre de revestimiento (casing shoe). La gama de productos disponibles en territorio peruano tiene importantes diferencias en cuanto a la vida útil de las herramientas y eficiencia operativa como resultado del diseño de brocas y zapatas.

Estos sistemas con encamisado simultáneo, dentro de estos destacan los sistemas de broca simétrica como el Symmetrix (Atlas Copco, 2009) y Robit MU (Robit Plc, 2019), los cuales se caracterizan por tener botones simétricos lo que ayuda a mantener alineado toda la sarta de perforación frente a terrenos con presencia de "bolonería". También se cuenta con el sistema de broca asimétrica con zapata de impacto, conocida como Odex, (Atlas Copco, 2008) que puede ser utilizado para terrenos de sobrecarga, pero con posibles problemas de atrapamiento debido a desalineamiento de la sarta.

De estos sistemas, una recomendación adicional es contar con sistema "trascinatore" que contribuye a la rotación del casing. Esto ayuda a que la perforación progrese a mayor  $V_p$  y que se asegure la sarta no sufra problemas de atrapamiento al momento de recuperar el casing.

La aplicación de perforación DTH-R es posible con equipos medianos para arriba, siendo recomendable el uso de equipos pesados debido la sollicitación de torque y fuerza elevante que requiere el tipo de sarta de perforación y terreno sobre el que se actúa.

- Sistema rotoperkusivo top hammer (TH)

En este sistema uno de los elementos principales que determina su éxito o fracaso es la correcta selección del cabezal drifter o martillo en superficie debido a que entrega la energía de percusión a la columna de perforación.

El sistema TH propiamente dicho aplica para formaciones estables y roca sana.

Una adaptación del sistema TH son los anclajes autoperforantes, que se aplican para terrenos estables y medianamente inestables.

La sarta de perforación para sistemas TH la conforma las varillas de perforación y broca. Cuando se trata de anclajes autoperforantes se cuenta con centralizadores de acero, acoples y válvulas de admisión de lechada de cemento. La broca para los sistemas autoperforantes se conoce como "broca perdida" o "broca de sacrificio".

La gama de productos disponibles para sistemas TH es muy variada. El criterio de selección de broca si simular al de una broca convencional, es decir, prestar atención a la distribución de sus botones y forma de la cara de acuerdo a la dureza de la roca.

Para el caso de anclajes autoperforantes el tipo de broca dependerá de la recomendación del fabricante para cada tipo de terreno. Sin embargo, se debe considerar pruebas iniciales de performance de la broca de sacrificio de acuerdo a su eficiencia real. Experiencias anteriores demuestran que las tablas de los fabricantes deben ser tomadas de manera referencial de acuerdo al tipo de terreno.

### 2.2.2 Inyecciones de cemento

La inyección de cemento consiste en la conformación del bulbo mediante lechada de cemento y del fuste del anclaje.

Entiéndase por lechada de cemento a la mezcla de cemento con agua más aditivos, principalmente plastificante y/o acelerante. La lechada de cemento debe tener ciertas propiedades que aseguren su adecuada colocación y conformación de bulbo.

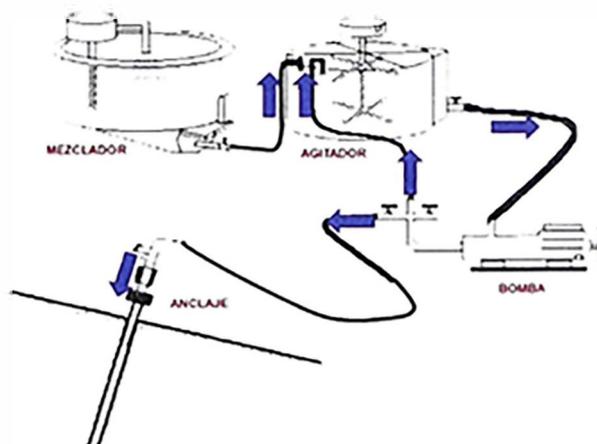


Figura 8: Esquema del equipo de inyección en operación (Elaboración propia).

En la Figura 8 se muestra el esquema del proceso de inyección donde se muestra el mezclador, donde se dosifica la mezcla, el agitador, donde se mantiene en movimiento la mezcla para evitar sedimentación, la bomba de impulsión y el sistema de mangueras de conducción de la mezcla de cemento desde el equipo inyector hasta el anclaje.

La metodología de inyección depende básicamente del tipo de terreno, sin embargo, mucho incluye el tipo de equipo inyector y el equipamiento de válvulas y mangueras con el que cuenta el anclaje.

### *2.2.2.1 Metodologías y/o sistemas de inyección*

Estas serán elegidas según el criterio del diseñador y/o ejecutor de la actividad teniendo en cuenta el equipo de inyección disponible y el tipo de terreno a inyectar. En DGC (2005) se muestra una clasificación de tipos de inyección de lechada de cemento que son las que a continuación se describirán; además abarca términos de post-inyección denominada así a los ciclos de inyecciones sucesivas indicada en PTI (2004). En el ámbito local los anclajes se comercializan con las denominaciones de acuerdo al tipo de inyección que tienen montado.

- Inyección global única (IGU)

El anclaje debe estar dotado de una manguera longitudinal, paralelo al acero de refuerzo. Esta manguera debe estar abierta en su totalidad al final de la misma, es decir, al fondo del pozo, por donde empezara a ascender la lechada de cemento.

El campo de aplicación de esta metodología de inyección se limita a terrenos estables o ligeramente inestables, es decir, cuando el suelo no ejercer restricción al desplazamiento ascendente de la mezcla, y donde la presión de inyección no aporta significancia del incremento de la adherencia en el contacto terreno-bulbo. La capacidad nominal del equipo inyector requiere valores básicos, con un valor mínimo de 5 bar será suficiente.

Se denomina "inyección global única" porque solo se puede realizar un solo ciclo de inyección en el cual se debe asegurar el correcto llenado del anclaje.

Respecto a las características de la mezcla, puede abarcar casi todos los rangos de fluidez y densidad, debido a que no se espera restricción a su desplazamiento.

- Inyección repetitiva (IR)

Se denomina así porque permite varios ciclos de inyección, hasta lograr el criterio de cierre. El primer evento de inyección se le denomina inyección por vaina o IGU,

y los posteriores se les denomina primaria, secundaria, terciaria, etc., siendo estos últimos ciclos de reinyección.

El anclaje debe estar dotado de dos mangueras de inyección, una de ellas del tipo IGU y otra equipada con válvulas manguito espaciadas cada 1 m. en el tramo del bulbo. Las válvulas manguitos la constituyen unos pequeños agujeros de  $\frac{1}{4}$ " realizados radialmente a la manguera y protegido con una funda de neopreno, de modo que cuando la manguera sea presurizada esta válvula manguito se apertura permitiendo la salida de lechada de cemento de manera radial.

El campo de aplicación de la IR abarca desde terrenos estables hasta terrenos inestables con moderada permeabilidad (similar a la grava tipo de Lima) y terrenos medianamente inestables. Esto permite que la inyección tenga éxito aun en presencia de derrumbes dentro del taladro y cuando los vacíos del terreno circundante al anclaje deben ser sellados previamente para asegurar el correcto llenado del taladro logrando un consumo razonable de cemento. Pero tiene la restricción que la inyección se realiza en todo el tramo del bulbo en simultáneo, es decir, si se requiere tratar un tramo en específico no sería posible.

Para poder efectuarla el equipo de inyección requiere una presión mínima de 10 bar., para vencer la columna de la inyección por vaina previamente realizada y parcialmente fraguada, y vencer la restricción a la circulación de la lechada ofrecida por el derrumbamiento del taladro.

Respecto a la consistencia de la lechada de cemento, esta requiere de una lechada de fluidez media para los ciclos de reinyección.

- Inyección repetitiva selectiva (IRS)

Se denomina así porque permite realizar muchos ciclos de inyección y reinyección y, de ser necesario, seleccionar el tramo que se desea tratar.

El anclaje debe estar dotado de una manguera o tubería de inyección que permita introducir un obturador simple y doble que permite la selección de la válvula manguito correspondiente al tramo de taladro que se desea tratar. El obturador doble permite elegir un "manguito" en específico por el cual se inyectará.

Se puede aplicar a todo tipo de terrenos. La ventaja, para el caso de terrenos permeables, es controlar la pérdida de mezcla mediante el sellado progresivo de grietas y/o vacíos. Otra ventaja es que cuando se aplica esta técnica de inyección en terrenos competentes, el bulbo resulta incrementa significativamente el diámetro y capacidad del bulbo, lo que se traduce mejor capacidad adherente.

Para poder efectuarla el equipo de inyección requiere una presión mínima de 20 bar., para vencer la columna de la inyección por vaina previamente realizada y parcialmente fraguada, y vencer la restricción a la circulación de la lechada ofrecida por el derrumbamiento del taladro.

Respecto a la consistencia de la lechada de cemento, esta requiere de una lecha de fluidez media a baja para los ciclos de reinyección.

- Inyección en anclajes autoperforantes

La inyección en un anclaje autoperforante es continua y se realiza desde el inicio de la perforación. La inyección cumple las funciones de barrido, evacuar los residuos de perforación, y de estabilización de taladro mientras se va perforando, y una vez culminada la perforación se realiza una última inyección que será la definitiva para la conformación del fuste y bulbo del anclaje.

La mezcla se inyecta de una forma equivalente al sistema IGU, con la particularidad que la lechada circula por el eje hueco de la barra autoperforante.

La inyección en etapa de perforación se realiza con una mezcla a/c aproximada de 0.7 con una presión de inyección de oscila entre 10 – 20 bar, mientras que la inyección de fijación tiene una relación a/c aproximada de 0.4 con una presión de inyección que puede oscilar de 20 – 60 bar (Ischebeck GmbH, 2006). Sin embargo, la presión y relación a/c depende mucho del tipo de terreno.

Mientras se perfora, se debe asegurar que la mezcla resurja por la boca del taladro para evacuar el detritus. En la inyección de fijación la mezcla deberá desplazar la inyectada inicialmente, para que el cuerpo del anclaje este conformado únicamente con una lechada rica en cemento.

Se sugiere el uso de un equipo de inyección con capacidad nominal de 10 bar como mínimo.

#### *2.2.2.2 Selección del equipo inyector*

Para poder seleccionar el equipo de inyección adecuado para la labor se debe de tener en consideración el tipo de terreno, el sistema de inyección pre definido y conocimiento de los criterios de diseño adoptadas referidas a la inyección.

Se acotará la capacidad del equipo de inyección en función a su presión máxima de trabajo para poder agruparlos y sobre cada grupo definir sus qué variables condicionan su selección.

Si bien, los tamaños y las capacidades pueden ser variables, esto no implica que el equipo inyector adecuado prescinda de contar con los componentes básicos: agitador y mezclador de alta turbulencia, y bomba de impulsión.

Se sugiere, para el caso del mezclador que la velocidad de rotación del eje mezclado este entre 1500 a 2000 rpm para permitir la separación de las partículas de cemento, aumentando la superficie de contacto con el agua para su reacción. Respecto al agitador que tiene la función de mantener las partículas en suspensión se recomienda una velocidad de 100 rpm (Fell, R., MacGregor, P., Stapledon, D., Bell, G. y Foster, M. 2015).

- Equipo inyector liviano

Se definirá como tal cuando su capacidad, en cuestión de la presión de impulsión, este comprendida entre 5 a 10 bar y/o cuando su peso sea menor a 100 kg.

Los criterios para su selección serán cuando la zona a trabajar sea de difícil acceso, se realice únicamente inyección IGU, taladros estables y/o la mezcla a impulsar sea de alta fluidez. Es decir, en situaciones donde se necesite fácil transporte y no se requiera altas prestaciones.

- Equipo inyector mediano

Se definirá como tal cuando su capacidad, en cuestión de la presión de impulsión, este comprendida entre 10 a 20 bar y/o cuando su peso sea menor a 400 kg.

Los criterios para su selección serán cuando se realice inyecciones tipo IGU e IR, taladros medianamente inestables y/o la mezcla sea de fluidez media.

- Equipo inyector pesado

Se definirá como tal cuando su capacidad, en cuestión de la presión de impulsión, sea mayor a 20 bar., llegando hasta picos de 80 bar. y/o cuando su peso sea menor a 400 kg.

Los criterios para su selección serán cuando se realice inyecciones tipo IGU, IR y sobre todo, para IRS. Además, las altas prestaciones permitirán mezclar gran cantidad de lechada por unidad de tiempo.

### 2.2.3 Ensayos de control y/o verificación

Si bien existen muchos ensayos que abarcan desde los que se aplican a los materiales, el presente apartado únicamente abordara los ensayos de carga aplicados como aseguramiento y control de calidad, y los efectuados con fines de verificación de las condiciones asumidas en el diseño.

Todos estos ensayos consisten en la aplicación de carga sobre el anclaje, diferenciándose entre ellos según los ciclos de carga y la finalidad a la que puntalmente está orientado cada uno.

Para todos los casos la carga máxima de ensayo se define por (Pe):

$$P_e = 0.9 * F_y * A_s \quad ( 11 )$$

Dónde:

Pe: Carga máxima a aplicar durante un ensayo.

Fy: Fluencia del acero.

As: Área de la sección transversal de acero.

Respecto a los ensayos a aplicar, existe bibliografía que coincide en la aplicación de algunos de ellos.

Por ejemplo, en MVCS (2018), PTI (2004), FHWA (1999) y ABNT (1996) sugieren la aplicación del ensayo de recibimiento y del ensayo de calificación. El primero es una técnica de tensado de anclaje debido a que el último estadio de carga es la de trabajo, mientras que el segundo está orientada a la aprobación del anclaje mediante criterios de aceptación que están acotadas por deformaciones teóricas del bulbo y del tramo libre. Estos ensayos son aplicables como control de calidad para anclajes durante la ejecución.

Por otro lado, el ensayo de arrancamiento permite obtener la capacidad última de adherencia en el contacto bulbo – suelo. Este ensayo se menciona en MVCS (2018), sugiriendo su aplicación mediante un estadio de cargas similar al del ensayo de calificación; además, llama al ABNT (1996) como una referencia mayor, entendiendo que se refiere al “ensayo de fluencia” que figura en la norma brasileña, pero no se especifica. Sin embargo, en Puelles, J. (2011) se enuncia con detalles al ensayo de arrancamiento y la forma de determinar la capacidad última de adherencia, mediante una serie de ensayos que son diseñados para inducir a su falla por bulbo.

Si bien los ensayos mencionados hasta el momento tienen validez para su aplicación, resulta necesario disponer de una metodología de ensayo que cumpla con estándares tales como la ASTM, siendo para este caso el ensayo del pull test el que se propondrá como alternativa debido a la sencillez, campos de aplicación y porque está orientada a anclajes cuya armadura de refuerzo la constituye una barra.

### 2.2.3.1 Ensayo de pull test según ASTM D4435

En el presente tópico se describe el ensayo de carga sobre pernos de anclaje según (ASTM, 2014).

También conocido arranque de pernos, pues está orientada el ensayo de pernos de anclajes cuyo medio de fijación sea lechada de cemento o resina.

A diferencia de muchos ensayos, en pull test no sugiere alguna carga de ensayo en específico. Más bien, sugiere evaluar el comportamiento del anclaje frente a la carga de ensayo para determinar su desempeño frente a un límite de deformación en específico.

Se muestra en la Figura 9 la disposición de los elementos para ejecución del ensayo pull test. Nótese la base nivelante, gato hidráulico de cilindro de embolo hueco, celda de carga siempre y cuando el gato hidráulico no cuente con registrados de presión y sobre la cabeza del perno se dispone de un reloj de deformación independiente al sistema de desplazamiento del anclaje.

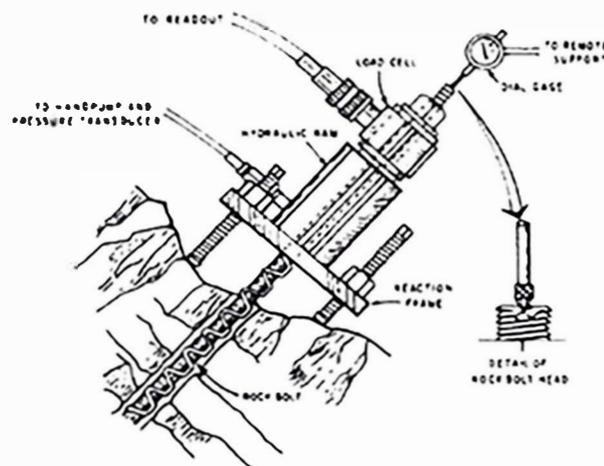


Figura 9: Esquema general del ensayo pull test.

Fuente: ASTM (2014).

La secuencia de carga está indicada en ciclos de  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{2}$  y  $\frac{3}{4}$  de la carga de ensayo. Para inducir el anclaje a la falla, después del último ciclo de carga de debe incrementar en la misma proporción de carga o 2.2 kN, la que sea menor, hasta que se registre una carga máxima sostenida o una deformación total de 12.7 mm. Durante el ensayo se debe registrar las deformaciones para cada incremento de carga y tiempo de observación de cada ciclo de carga, cuanto mínimo. Si bien no especifica el tiempo de observación de cada ciclo de carga, se indica sugiere considerar un tiempo mínimo de 5 minutos.

En la Figura 10 se muestra las curvas de deformación versus carga aplicada y las dos situaciones que se pueden presentar durante la realización del ensayo pull test.

La primera situación es no sufrir la falla del anclaje, es decir que las deformaciones estén en el rango elástico y que su máxima acumulada sea menor a 12.7 mm. Entonces, se dará por aceptado el anclaje para su uso.

La segunda situación es que se sufra la falla del anclaje y el consecuente rechazo del anclaje. Esto puede ocurrir cuando se registre una deformación mayor a 12.7 mm. o cuando se detecte una elevada deformación sin incremento proporcional de la carga, siendo esta última la capacidad última del anclaje, por ende, la del bulbo.

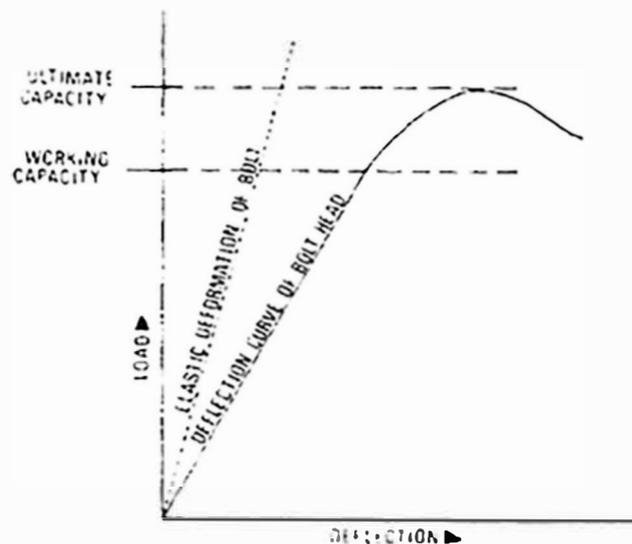


Figura 10: Curva de la deformación registrada versus carga.

Fuente: ASTM (2014).

Cuando se presente la situación de falla del anclaje, ya sea por deformación mayor a 12.5 mm. o por incremento excesivo de deformación sin incremento significativo de carga, entonces se determinará la capacidad última del anclaje, y conociendo la geometría teórica del bulbo, conocer el valor de adherencia última en el contacto bulbo – suelo/roca.

En tal sentido, si el anclaje sufre una falla durante el ensayo, se recomienda realizar un rediseño con la carga máxima sostenida registrada.

### CAPÍTULO III: FUNDAMENTO MECÁNICO PARA EL DISEÑO DE RETENIDAS

En este capítulo se analizará la naturaleza de las fuerzas que se manifiestan en un poste, sobre la cual se deriva la necesidad de reforzarlo con un sistema de retenidas.

Para entender la funcionalidad de las retenidas en una línea de transmisión con postes, se analiza la Figura 11. En esta se muestra una trayectoria de postes A-B-C-D-E.

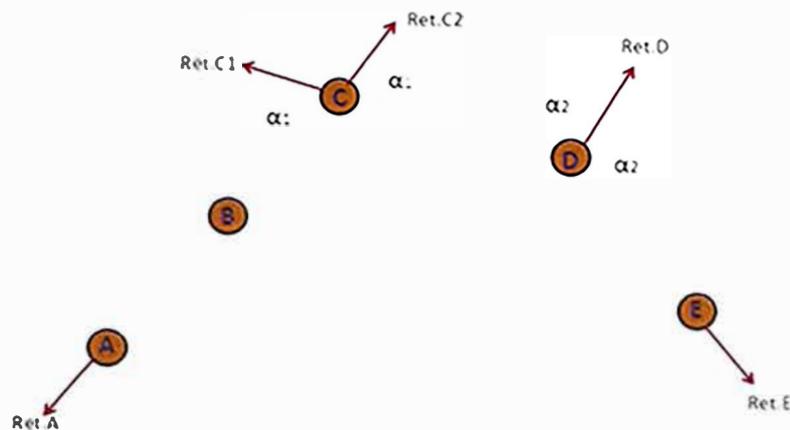


Figura 11: Vista en plantas de una línea de postes.

Según el comportamiento de la fuerza que soporta cada poste, estos pueden ser:

A: Poste de inicio, con retenida hacia "atrás".

B: Poste en suspensión.

C: Poste anclaje, con retenidas "atrás" y "adelante", con  $\alpha_1$ : ángulo de deflexión de la línea.

D: Poste anclaje con retenidas en la bisectriz, con  $\alpha_2$ : ángulo de la bisectriz del suplemento del ángulo exterior de la línea.

E: Poste de fin o de llegada, con retenida hacia "adelante".

Las retenidas, tal como se muestran, permiten asegurar la estabilidad y verticalidad del poste cuando sobre este actúan fuerzas que superan su capacidad de soporte, en magnitud y/o en dirección.

Las fuerzas que actúan sobre el poste, las que tienen a desestabilizar a este, se expresan matemáticamente en la norma DGE "Bases para el diseño de líneas y redes primarias para electrificación rural" (DGE, 2015) en el apartado de cálculos mecánicos de postes y crucetas.

### 3.1 CÁLCULO MECÁNICO DE POSTES

Se refiere la determinación de las cargas actuantes sobre los postes, retenidas y accesorios, de modo que estos sean diseñados en cumplimiento con los factores de seguridad y en cumplimiento con las normas competentes.

En este apartado únicamente se mencionarán la naturaleza de la fuerza actuante. Y se enfatizarán en fuerzas de nuestro interés, es decir, que contribuyen a la carga de la retenida.

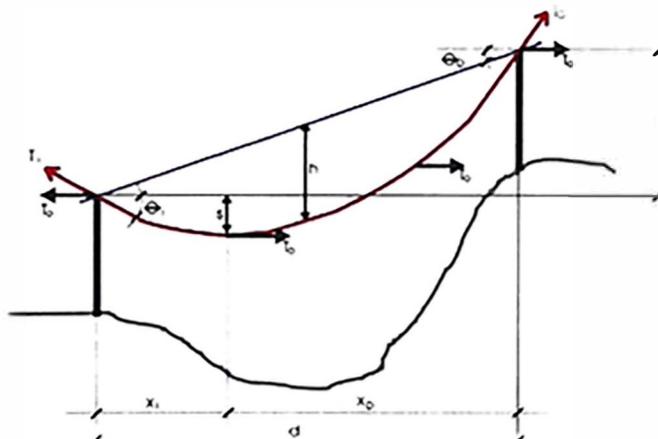


Figura 12: Esquema referencial de un vano.

Fuente: DGE, 2015.

El esquema mostrado en la Figura 12 es únicamente referencial para enunciar sus componentes en un tramo de línea.

Los esfuerzos actuantes, generados por las fuerzas de los conductores y el momento que entrega en el poste, y su relación matemática se muestran en DGE (2015). Para este caso únicamente serán mencionadas:

- Momento debido a la carga del viento sobre los conductores.
- Momento debido a la carga de los conductores.
- Momento debido a la carga de los conductores en estructuras terminales.
- Momento debido a la carga de viento sobre el poste.
- Momento debido al desequilibrio de cargas verticales.
- Momento total en estructuras terminales.
- Esfuerzo del poste en la línea de empotramiento, hipótesis en condiciones normales.
- Carga crítica en el poste de madera debido a cargas de compresión.

Para el análisis de los esfuerzos mencionados se considera las cargas según su naturaleza (Viettel, 2019), pudiendo ser cargas horizontales y verticales.

Cargas horizontales: debido al viento sobre los conductores y estructuras y cargas de tracción del conductor en algunos de desvió topográfico, con factor de seguridad de 2, únicamente aplicables a condiciones normales, es decir, Hipótesis I e Hipótesis II.

Cargas verticales: debido al peso de los conductores, aisladores, crucetas, hombre para el montaje, componente vertical de la retenida cuando aplica. Se analizará para todas las hipótesis de diseño, es decir, Hipótesis I al VI, lo cual determinara si se trata de una estructura de suspensión o anclaje.

Cargas longitudinales: debido a la acción de los vanos adyacentes a la estructura y analizara para todas las hipótesis de diseño, Hipótesis I al VI.

Las hipótesis de diseño, también conocidas como "hipótesis de estado" se definen en base a la temperatura, velocidad de viento y carga de hielo que actúan sobre el conductor. Se define en base a la zonificación y en función a lo indicado en el Código Nacional de Electricidad (DGE, 2011), según DGE (2015). Las hipótesis de diseño se diferencian entre si según la conjugación de temperatura, velocidad de viento y sobrecarga de hielo.

Es necesario aclarar que el Código Nacional de Electricidad tiene como finalidad definir reglas preventivas para garantizar la seguridad de las personas, propiedad pública y privada, medio ambiente y el patrimonio cultural de la nación, durante las actividades de construcción, operación y/o mantenimiento de instalaciones de suministro eléctrico, tal como lo es una línea de transmisión (DGE, 2011). La diferencia respecto a DGE (2015) es que ésta se orienta netamente al diseño y tiene carácter normativo, pero contemplando principios para el cumplimiento de DGE (2011).

### 3.1.1 Análisis del diagrama del cuerpo libre del poste

Se inicia el análisis a partir de la Figura 13. En esta se muestra las fuerzas ejercidas por los cables conductores, viento, y la influencia del ángulo de línea sobre la magnitud de dichas fuerzas quienes tienden a desequilibrar al poste y por ello la necesidad de retenidas para contrarrestar ello.

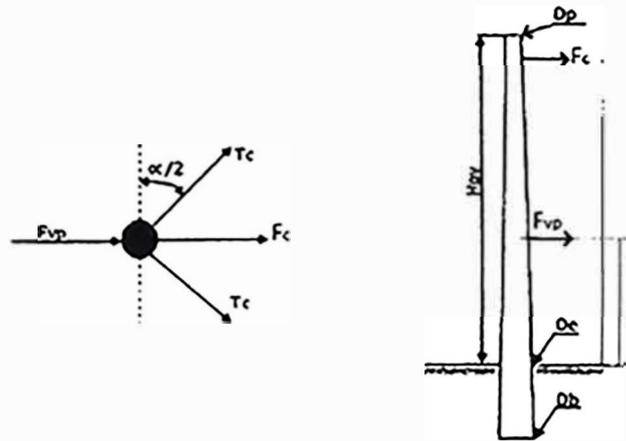


Figura 13: Diagrama de cuerpo libre de un poste.

Fuente: Neyra, A. (2018).

Fuerza de viento sobre el poste (Viettel, 2019):

$$F_{vp} = \frac{D_p + D_e}{2} \times H_{pv} \times P_v \quad (12)$$

Fuerza de viento sobre los conductores (Neyra, A., 2018):

$$F_{vc} = L \times \emptyset_c \times P_v \times \cos \frac{\alpha}{2} \quad (13)$$

Fuerza de los conductores sobre el poste (Neyra, A., 2018):

$$T(\max) = \sigma(\max) \times A \quad (14)$$

$$T_c = 2T(\max) \times \sin \frac{\alpha}{2} \quad (15)$$

$$F_c = F_{vc} + T_c \quad (16)$$

Fuerza equivalente (F<sub>eq</sub>):

$$F_{eq} = \frac{F_{vp} \times Z + (l_1 + l_2 \dots + l_n) \times F_c}{H_e} \quad (17)$$

Donde:

- α: Ángulo de deflexión de la línea.
- D<sub>p</sub>: Diámetro del poste en la cima.
- D<sub>b</sub>: Diámetro del poste en la base.
- D<sub>e</sub>: Diámetro del poste en el empotramiento.
- Z: Altura de aplicación de la fuerza F<sub>vp</sub>.
- H<sub>e</sub>: Altura equivalente (H<sub>pv</sub>-0.1)
- H<sub>pv</sub>: Altura libre del poste.
- F<sub>vp</sub>: Fuerza del viento sobre el poste.

Tc: Tracción en los conductores (depende de la flecha de la catenaria).

Fvc: Fuerza de viento sobre los conductores.

De la ecuación de Feq se evidencia que la componente Fc depende de "α", por lo que toda la relación depende del ángulo de deflexión de la línea, relación directa.

Entonces:

$$Feq = Relación(\alpha) \quad (18)$$

Mientras mayor sea el valor de "α", mayor será el valor de Feq. En tal sentido, la magnitud de la fuerza equivalente determinará la necesidad de retenida en determinada estructura.

### 3.1.2 Cálculo de retenida

Se emplea retenida cuando las cargas actuantes sobre los postes son mayores a los que este puede resistir, de modo el poste soporte únicamente con esfuerzos de compresión.

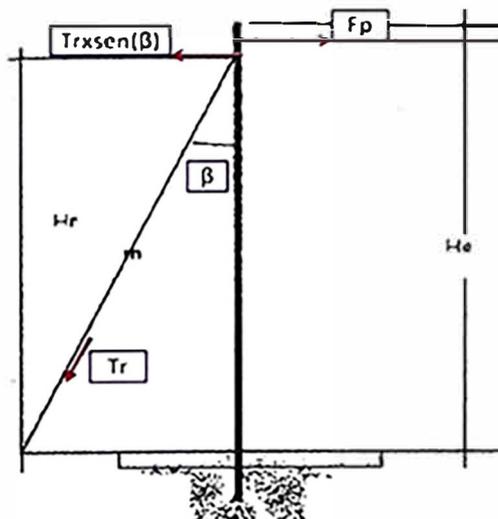


Figura 14: Diagrama de cuerpo de libre del poste con retenida.

Fuente: (Neyra, A., 2018).

Del diagrama de cuerpo libre mostrado en la Figura 14 y aplicando equilibrio de momentos respecto al punto de empotramiento, se tiene:

$$Fp = \frac{Tr \times \sin \beta \times Hr}{He} \quad (19)$$

Donde:

Tr: Tiro máximo de la retenida (T/FSr). Depende del material.

T: Tiro en la retenida.

FSr: Factor de seguridad de la retenida.

- $\beta$ : Angulo entre la retenida y el poste.  
 Hr: Altura de la retenida.  
 He: Altura equivalente.  
 Fp: Fuerza aplicada en la punta del poste (horizontal).

Se determina que el valor de la fuerza que se puede aplicar al poste depende del ángulo de inclinación de la retenida.

### 3.1.3 Cálculo de la cimentación convencional de retenida

Un sistema convencional de fijación de retenidas es mediante un elemento de anclaje introducido en el terreno para que su peso propio y del terreno sean los que contrarresten la fuerza que actúa sobre el cable de retenida.

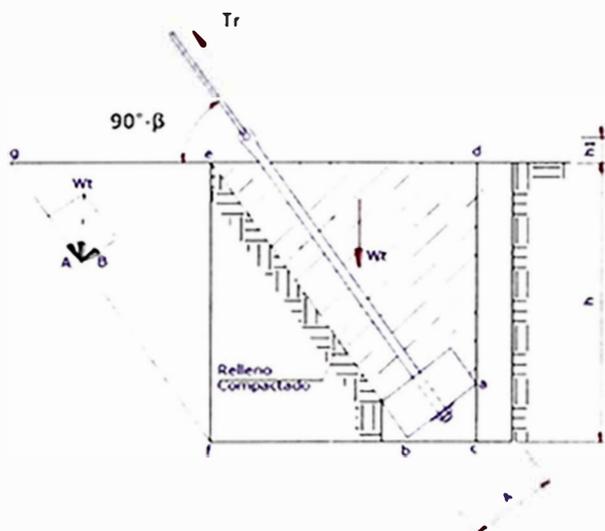


Figura 15: Diagrama de cuerpo libre del bloque de anclaje de retenida.

Fuente: Leyva, D. (2016).

Según la Figura 15 la cimentación de la retenida está constituida por una varilla y un bloque de concreto.

El área de relleno  $A_{(cuña)}$  está dada por:

$$A(cuña) = A(defc) - A(abc) - A(bef) - A(lateral\ dado\ de\ concreto)$$

$$A(cuña) = ef \times cf - 0.5(ac \times bc + bf \times ef) - espesor \times ab \quad (20)$$

El peso del suelo de relleno es ( $Ws$ ):

$$Ws = \gamma_s \times A(cuña) \times ab \quad (21)$$

El peso del dado de concreto es ( $Wc$ ):

$$Wc = \gamma_c \times ab^2 \times \text{espesor} \quad (22)$$

El peso total está dado por (Wt):

$$Wt = Ws + Wc \quad (23)$$

Del gráfico, la fuerza Wt se descompone en A y B, paralela y perpendicular, respectivamente, al plano de apoyo del relleno. Entonces:

$$A = Wt \times \sin(90^\circ - \beta) \quad (24)$$

$$B = Wt \times \cos(90^\circ - \beta) \quad (25)$$

Se tiene, además, como fuerza estabilizadora a la fricción de las paredes del entorno del relleno con el suelo circundante. Esta resultara del producto de la fuerza lateral con el coeficiente de fricción.

Fuerza lateral (F1) ejercida por el empuje lateral del suelo:

$$F1 = \gamma_s \times h \times A(\text{cuña}) \quad (26)$$

Se define a la fuerza resistente del anclaje de retenida como "Fr" la cual resultará del aporte de la fuerza "A" que es la componente del peso del macizo en dirección del deslizamiento, "B" es la fuerza normal por lo que el producto de "μB" será la fuerza de fricción en dirección del deslizamiento y luego se tiene la fricción en las dos paredes laterales "2μF1" (Leyva, D., 2016).

Otra manera de determinar el valor de la fuerza lateral ejercida por el suelo, como una variación a la Ecuación 26 es la que se muestra a continuación, con la intervención coeficiente del empuje pasivo (Kp):

$$F1 = Kp \times \frac{\gamma_s \times h^2}{2} \quad (27')$$

Fuerza resistente de la retenida (Fr):

$$Fr = A + \mu B + 2 \times \mu \times F1 \quad (28)$$

Para asegurar la integridad de la estructura a través de la retenida se debe cumplir:

$$\frac{Fr}{Tr} \geq 2.0 = \text{Factor de seguridad.} \quad (29)$$

El factor de seguridad, resultado de la relación de la fuerza resistente entre el tiro de la retenida y deber ser mayor a dos (FS ≥ 2.0).

## CAPÍTULO IV: ESTADO DEL ARTE EN EL PERÚ

### 4.1 LÍNEAS DE TRANSMISIÓN CON POSTES EN EL PERÚ

Las líneas de transmisión son medios de transporte de energía eléctrica. Estos son altamente eficientes en el transporte de energía, es decir, suponen poca pérdida de energía en su trayecto. En tal sentido se aprovecha su ventaja para su transporte de energía en largas distancias con líneas de alta capacidad, las denominadas líneas de alta tensión (> a 60 kV) y esta se logra mediante un sistema de apoyo de torres. Las líneas de baja y media tensión se usan principalmente para distribución de energía, en ámbitos relativamente de corta distancia, donde los apoyos son mediante sistema de postes.

En el presente apartado se hará énfasis a las líneas de transmisión con postes, en el entendido que su existencia sugiere la presencia necesaria de retenidas a lo largo de su trayectoria.

La construcción de las primeras líneas de transmisión fue de postes y su desarrollo se realizó en paralelo a las primeras centrales hidroeléctricas debido a que las compañías encargadas abarcaban las etapas de generación, transmisión distribución de la energía. Las primeras centrales de generación eléctrica surgieron en Lima, siendo la de Santa Rosa una de las primeras cuando se construyó en 1895. A esta se alimentaba inicialmente con energía desde la C.H. Chosica (km. 39 de la actual Carretera Central) y C.H. Yanacoto (km. 33 de la actual Carretera Central) mediante una línea de transmisión con postes de madera, la línea consta de dos hileras de postes con una capacidad de 33 kV. Mientras se incrementaba la población de Lima las nuevas líneas se desplazaban hacia las laderas y cerros aledaños.

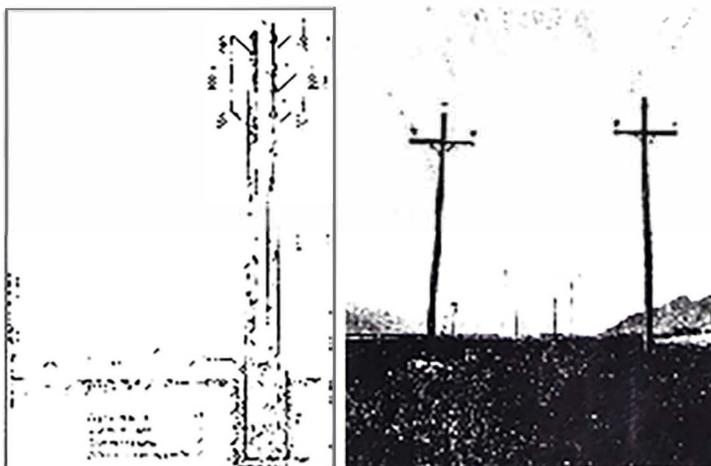
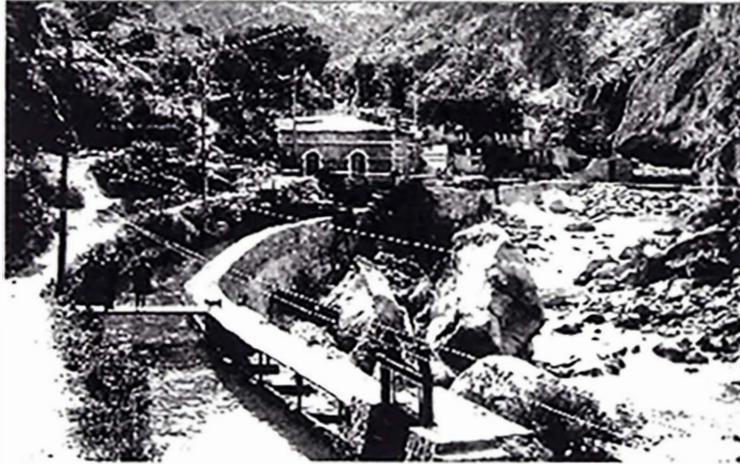


Figura 16: Línea con postes desde la CH. Chosica y Yanacoto hacia la S.E Santa Rosa.

Fuente: Hidalgo, N. (2007).

Otro ejemplo de desarrollo temprano en el ámbito de líneas de transmisión y centrales hidroeléctricas fue la ciudad de Arequipa, la cual al año 1899 ya contaba una pequeña CH. a orillas del río Chili y una línea de transmisión con postes. Posterior a ello se desarrollaron la CH. Chilina y CH. Charcani. Esta última transportaba la energía mediante una línea de postes en una extensión de 20 km (Hidalgo, N., 2007).



*Figura 17: CH. Charcani y líneas con postes hacia Arequipa.*

*Fuente: Hidalgo, N. (2007).*

La Figura 16 y la Figura 17 muestran líneas con poste que seguramente necesitaron la construcción de retenidas a lo largo de su trayectoria.

Hacia el año 1914 la ciudad de Cusco inicia su "iluminación" con energía eléctrica debido a la construcción de la CH. Corimarca desde la que se transportaba la energía por una línea de postes de madera de 16 km.

Un caso a destacar es el de Cerro de Pasco debido a su gran movimiento minero que impulsó la necesidad de suministro eléctrico desde varias centrales hidroeléctricas a través de la compañía Cerro de Pasco Cooper Corporation. El sistema de líneas que alimentaban las operaciones mineras tenía una extensión de 141 km. y fue construida mediante postes de madera desde las centrales hidroeléctricas de La Oroya, Pachachaca, Malpaso y Yaupi.

Las líneas de transmisión citadas hasta el momento son de mediana tensión y se emplazan desde la fuente de generación hasta una sub estación para su posterior distribución.

Debido a la demanda cada vez creciente de energía eléctrica y debido a la gran eficiencia de su transporte a través de líneas de transmisión. Es por esto que se empiezan a desarrollar proyectos de líneas de alta tensión, siendo el primero en construirse el año 1938 desde la CH. Callahuanca hacia Lima. En este caso las

estructuras ya estaban compuestas por torres, dejando relegadas a las líneas con postes para ámbitos de distribución.

Proyectos de líneas de transmisión con postes y de reciente ejecución, tales como los expuestos en Viettel (2019) en Puerto Inca – Huánuco, Lara, M. (2020) en Huaraz; Leyva, D. (2016) en Cajamarca, y Neyra, A. (2018) en Talara – Piura muestran la vigencia de las retenidas convencionales en líneas de transmisión de media tensión.

#### 4.2 ANCLAJES POST-TENSADOS EN EL PERÚ

El uso de anclajes post-tensados en el Perú, particularmente en edificaciones en Lima, está ampliamente difundido para fines de sostenimiento. Esta realidad ha permitido la creación de compañías ofertantes del servicio de instalación de anclajes, las que desarrollan su propia ingeniería y procedimiento de ejecución.

Para regular esta práctica de ingeniería se ha implementado en el Reglamento Nacional de Edificaciones, en el apartado de suelos y cimentaciones – E0.50 del año 2018 (MVCS, 2018), el artículo N° 39 sobre sostenimiento para excavaciones las consideraciones a tener en consideración para el diseño y ejecución de anclajes. Estas consideraciones se basan en ABNT (1996), FHWA (1999) y PTI (2004).

Lo mencionado en MVCS (2018) deriva de la masificación del uso de anclajes con fines de sostenimiento en el ámbito de las edificaciones.

Si bien, los anclajes post tensados son muy eficientes cuando se aplican como solución para sostenimiento, también lo son para cualquier elemento que requiera esfuerzos de tracción. Sin embargo, resulta difícil enunciar experiencias diferentes a proyectos de sostenimiento.

Por ejemplo, una experiencia propia, de las pocas o quizás la única, de instalación de anclajes con fines distintos a los de sostenimiento fue los que se instalaron para sostener el marco de reacción para ensayo de carga sobre un pilote de 410 mm. para una cimentación construida en la planta de Cementos Lima.



*Figura 18: Anclajes instalados para marco de reacción.*

En la Figura 18 se muestra, en la imagen de la izquierda, la perforación para instalación del anclaje, y en la imagen de la derecha de la imagen se puede ver la prueba de carga donde el marco de reacción lo compone las tres vigas de acero aseguradas con cuatro anclajes dispuestos alrededor del pilote a ensayar. El gato hidráulico colocado encima del pilote tiende a levantar al sistema de vigas, pero la presencia de los anclajes restringe su desplazamiento y permitiendo que la carga del gato se entregue axialmente al pilote. Los anclajes para este caso se diseñan considerando la profundidad del pilote y su carga del trabajo es equivalente al 25% de la carga de ensayo del pilote.

Si se busca registro bibliográfico respecto al uso de anclajes post-tensados en líneas de transmisión en general, no se tiene éxito en su consecución dado que es muy escasa o inexistente, por lo menos en el ámbito local.

Sin embargo, hay un registro de instalación de anclajes del tipo autoperforante para una línea de transmisión de 500 kV en Argentina. Esta línea de alta tensión cuenta con torres tipo "Cross Rope" que requiere 2 retenidas perpendiculares a la trayectoria de la línea en cada estructura. En este proyecto en particular se usaron barras tipo Ischebeck 40/16 con longitudes que variaron de 9 m. a 18 m (Leoni, A. y Facondini, C., 2006). Esto es una muestra clara del alcance y versatilidad del uso de anclajes y evidencia de su uso en líneas de transmisión.

Respecto a las metodologías de ejecución de anclajes, su desarrollo avanza a la par de la tecnología y/o ingeniería aplicada a los procesos, equipos y herramientas; además de la implementación de estándares de calidad.

La implementación de recomendaciones para el diseño y ejecución a nivel normativo mostrado en MVCS (2018) es un gran avance en el ámbito regulatorio.

En el ámbito desarrollo tecnológico de equipos y herramientas de perforación, citando experiencias propias, el año 2012 se efectuaba perforaciones para instalación de anclajes con un equipo de marca Casagrande modelo C-7 con sistema DTH revestido Symmetrix y/o Odex logrando rendimientos de 50 m. de anclaje instalado en una jornada de ocho horas, mientras que hacia el año 2020 se realizaba perforaciones revestidas con un equipo marca Atlas Copco, modelo Mustang 5P4 con sistema DTH - Robit MU, con rendimientos mínimos de 80 m. en un periodo similar. Esto supone un incremento significativo de la eficiencia de más del 50% del segundo caso comparado con el primero.

En términos generales, la experiencia en diseño y ejecución de anclajes en general, sean pasivos o activos, se orienta mayoritariamente a proyectos de sostenimiento. En tal sentido, si se desea orientar su uso como alternativa de solución en otros campos de la ingeniería, se debe aprovechar el conocimiento acumulado para adaptarlos y replicarlos a determinadas situaciones en particular, como el caso de anclajes para retenidas en líneas de transmisión con postes.

## CAPÍTULO V: DISEÑO DE MEZCLA DE LECHADA DE CEMENTO

El presente capítulo de investigación busca proponer diseños de lechada de cemento (a/c) que cumplan con un valor mínimo de  $f_c$  de 210 kg/cm<sup>2</sup> y que estos tengan condiciones adecuadas de estabilidad y fluidez de la mezcla en estado líquido. Como resultado se obtendrá relaciones agua – cemento (a/c) en el rango de 0.45 a 0.65 que cumplan con los criterios de resistencia y exudación especificados. Esto mediante la definición de criterios de diseño según los estándares de PTI (2004), FHWA (1999) y ABNT (1996).

Se realizaron dieciocho (18) diseños de lechada variando las relaciones a/c y adicionando plastificante Chema Plast para favorecer la fluidez en casos específicos, usando distintos tipos y marcas de Cemento, tales como Andino HS (con abreviatura AN-HS), Sol Tipo I (con abreviatura SO-TI), APU Tipo GU (con abreviatura AP-GU), Pacasmayo Extraforte tipo ICo (con abreviatura PE-IC), Pacasmayo Fortimax tipo MS (con abreviatura PF-MS) y Yura HE (con abreviatura YU-HE) con relaciones agua – cemento (a/c) que varían desde 0.45 hasta 0.65. Las abreviaturas asignadas a cada cemento corresponden a las iniciales de la marca, seguido del tipo de cemento, y este será el código para cada cemento en el presente artículo.

Para la obtención de la resistencia a la compresión simple ( $f_c$ ) se ensayaron trescientos quince (315) testigos cúbicos de 2". Para determinar la estabilidad de la mezcla se realizaron ensayos de exudación o asentamiento. Se realizaron ensayos mediante Cono Marsh para determinar la fluidez de la mezcla.

Para el grupo de cementos AN-HS, SO-TI y APU-GU fue relativamente fácil superar la valla de 210 kg/cm<sup>2</sup>, pues a la edad de siete (7) días todos los diseños propuestos cumplían esta condición, algunos diseños incluso desde los 3 o 5 días. Para el grupo de cemento de la marca Pacasmayo (PE-IC y PF-MS), a la edad de veintiocho (28) días algunos diseños no llegaron a la resistencia requerida. Mientras que el caso del cemento YU-HE a la edad de veintiocho (28) días uno de los tres diseños no llegó a la resistencia esperada, esto debido a las relaciones a/c relativamente pobres (mayor a 0.55). El aditivo plastificante, si bien se usó para relaciones a/c bajas, contribuyó a que a tempranas edades se superara la resistencia requerida.

Los valores obtenidos de fluidez sirvieron para tener una referencia de las consideraciones a tener en cuenta desde el punto de vista de "inyectabilidad", así como la densidad de mezcla. Mientras que los ensayos de exudación sirvieron

para asegurar que la mezcla sea estable coloidalmente, es decir, para medir el nivel de asentamiento de la mezcla.

## 5.1 GENERALIDADES RESPECTO A LA LECHADA DE CEMENTO PARA INYECCIÓN DE ANCLAJES

La lechada de cemento (mezcla de agua con cemento más aditivo, plastificante y/o acelerante) son empleadas para conformar el fuste de elementos estructurales geotécnicos como los anclajes y micropilotes, y sirve como medio de fijación al terreno.

La lechada de cemento se prepara in situ mediante equipos diseñados para tal fin. Este equipo debe estar dotado de mezcladores y agitadores de alta turbulencia de modo que la mezcla permanezca homogénea y que las partículas de cemento estén en suspensión, es decir, estabilizara la mezcla. Consta también de un sistema de bombeo del tipo "gusano o sin-fin" o pistones que impulsaran la mezcla desde el equipo hasta el elemento a inyectar, en tal sentido, la mezcla debe ser capaz de fluir con relativa facilidad entre las mangueras de conducción y el sistema de inyección adaptado en el anclaje (mangueras HDPE y/o válvulas manguito e incluso obturadores).

Los sistemas de inyección se eligen de acuerdo al tipo de terreno a tratar. Los principales sistemas de inyección son la Inyección Global Única (IGU), Inyección Repetitiva (IR) e Inyección Repetitiva Selectiva (IRS). Para lograr el éxito de la inyección con cada una de ellas, conocido como condición de cierre, se debe considerar un determinado rango de presión entregado por el equipo y fluidez de lechada. Esto además de las consideraciones de estabilidad de la mezcla y de dosificación correcta para lograr la resistencia requerida.

Un sistema IGU admite todos los rangos de fluidez. Un sistema IR abarca mezclas de alta a mediana fluidez. Un sistema IRS abarca principalmente mezcla de alta fluidez. Las mezclas de baja fluidez, incluso de consistencia pastosa, tienen mucha dificultad para escurrir por las válvulas manguitos de los sistemas IR e IRS, principalmente cuando hay muchos eventos de reinyección.

La fluidez tiene relación directa con la densidad de la mezcla, estos son factores de importancia al momento de seleccionar el equipo de inyección.

En el aspecto normativo, el Reglamento Nacional de Edificaciones en el apartado E.050 de Suelos y Cimentaciones emitido por el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento MVCS (2018) incorpora una en uno de sus artículos el ítem de "Estructuras de Sostenimiento Ancladas" en donde menciona algunas

recomendaciones respecto al diseño y ejecución de anclajes expresadas en PTI (2004), FHWA (1999) y ABNT (1996).

Si bien en MVCS (2018) no se indica indican expresamente recomendaciones para el diseño de la lechada, en las otras bibliografías citadas si se menciona y son con los cuales se va a guiar los criterios de diseño del presente capítulo. Por ejemplo, tanto en su ítem 6.11 en el caso del PTI (2004) y se ítem 2.2.4 en el caso de FHWA (1999) se muestra 2.2.4, mientras que para el caso de ABNT (1996) muestra recomendaciones para el diseño de lechada de cemento su ítem 5.6.4 y 5.6.5.

## 5.2 NECESIDAD PARA DEFINIR DISEÑO DE LECHADA DE CEMENTO Y SUS CRITERIOS

En MVCS (2018) no se hace mención a las características de la lechada de cemento, ni de la resistencia mínima requerida. Sin embargo, en PTI (2004) se recomienda la realización de todos los ensayos que en el presente documento se desarrollan, a excepción del ensayo de fluidez. La FHWA (1999) coincide con las recomendaciones indicadas por PTI (2004). En estos dos se citan a los ensayos con su procedimiento de la ASTM. En ABNT (1996) se muestran otros criterios, pero se basan en los mismos ensayos.

Esta brecha normativa en el ámbito nacional a su uso, aplicación y propiedades de lechada de cemento para inyección de anclajes requiere ser cubierto para evitar y mitigar malas prácticas, que no cumple ningún estándar.

Evidencia que muestra la carencia de controles de la lechada de cemento como material y la inyección como proceso se visualiza en el proyecto ejecutado y mostrado en a Sosa, E. y Vilchez, R. (2017) en su tesis de "optimización de anclajes", entendiéndose como optimización al hecho de mejorar la performance de los anclajes reduciendo la longitud de bulbo, siempre y cuando se logre una elevada adherencia en el contacto bulbo-suelo producto de una inyección bien realizada, en términos de proceso y materiales, sin embargo, en la tesis citada se muestra claramente, en la página 107, que la lechada de cemento se mezcló manualmente en un cilindro y que es "inyectado" mediante baldes por la boca del taladro. Además, pese a centrarse en el bulbo del anclaje, no menciona ni controla los materiales y parámetros de inyección que contribuyen a la adecuada conformación del bulbo.

Las malas prácticas en el uso y aplicación de lechada de cemento pueden tener muchas razones de origen, pero solo serán eliminadas cuando se verifique,

mediante ensayos estandarizados, el cumplimiento de su resistencia mínima requerida a determinada edad y a su estabilidad como mezcla en estado fresco.

### 5.3 MATERIALES PARA LA REALIZACIÓN DE ENSAYOS

Se emplearon varios tipos de cementos comerciales en distintas locaciones en el territorio peruano. Se describen sus principales propiedades de cada uno de ellos. Cemento Andino Tipo HS, MH (R), cumple con NPT-334.082 y ASTM C-1157. Se denomina comercialmente como "Andino Ultra". Su uso, según fabricante, está orientado a entornos salitrosos, húmedos y agua de mar (Unacem, 2022a). Código asignado: AN-HS.

Cemento APU portland Tipo GU, con base a Clinker tipo I más adiciones y cumple con NPT-334.082 y ASTM C-1157. Según fabricante, es de uso general, para obras que no tengan requerimientos especiales (Unacem, 2022b). Código asignado: AP-GU.

Cemento Sol portland Tipo I, cumple con NPT-334.082 y ASTM C-150. Según fabricante, es de uso general, para obras que no tengan requerimientos especiales (Unacem, 2022b). Código asignado: SO-TI.

Cemento Pacasmayo portland compuesto Tipo ICo, cumple con NPT 334-090. Su denominación comercial es "Cemento Extra Forte". Según fabricante, es de uso general, para obras que no tengan requerimientos especiales (CPSAA, 2022a). Código asignado: PE-IC.

Cemento Pacasmayo portland Tipo MS (MH), cumple con NPT-334.082 y ASTM C-1157. Su denominación comercial es "Cemento Fortimax". Su uso, según fabricante, está orientado a obras expuesta a la acción de sulfatos y húmedas (CPSAA, 2022b). Código asignado: PF-MS.

Cemento Yura Tipo HE, cumple con ASTM C-150, NPT 334.009 y ASTM C-1157. Su denominación comercial es "Cemento Industrial Ultra". Según su fabricante, su uso está orientado para ganar resistencias iniciales e incrementar la impermeabilidad del elemento (Yura, 2021). Código asignado: YU-HE.

Aditivo Plastificante "ChemaPlast". Según el fabricante cumple con ASTM C-494 Tipo A, permite la reducción de hasta 10% de agua, generando aumento de resistencia a la compresión y durabilidad (Chema, 2018).

#### 5.4 ENSAYOS REALIZADOS

- . Método estándar de ensayo para resistencia a la compresión de morteros de cemento hidráulico según ASTM C-109 (ASTM, 2001) para la obtención del  $f_c$  y resistencia mínima requerida ( $R_{MR}$ ).
- . Método estándar de ensayo para viscosidad por embudo Marsh según ASTM D6910 (ASTM, 2011) para la obtención de fluidez de lechada.
- . Método de obtención de densidad húmeda según ASTM C-138 (ASTM, 2017) para la obtención de densidad de lechada ( $\delta_{Lc}$ ).
- . Método estándar de ensayo para expansión y sangrado (exudación) según ASTM C-940 (ASTM, 2009) para la obtención del % de asentamiento o exudación de la lechada (%H).

#### 5.5 DEFINICIÓN DE LOS CRITERIOS DE DISEÑO DE LECHADA DE CEMENTO.

Dosificación a/c: Según PTI (2004) debe estar entre 0.4 – 0.45. Según FHWA (199) entre 0.4 – 0.55. Según ABNT (1996) debe ser menor o igual a 0.50 para inyecciones por vaina y hasta 0.70 para reinyecciones.

Resistencia  $f_c$ : Tanto PTI (2004), FHWA (1999) y ABNT (1996) coinciden que debe ser un mínimo de 210 kg/cm<sup>2</sup>, independientemente de la edad.

Exudación o asentamiento: Tanto PTI (2004), FHWA (1999) y ABNT (1996) coinciden que debe ser inferior o igual a 2%. Sin embargo, en el campo aplicativo se tiene experiencias que se puede tolerar hasta 5%, con la condición de que la presión mínima de cierre de inyección sea 5 bar.

Fluidez con cono Marsh: No se menciona en los tres documentos de referencia, PTI (2004), FHWA (199) y ABNT (1996). Sin embargo, esta propiedad puede servir como una guía durante la selección del equipo y su capacidad para mezclar e impulsar la lechada. El criterio a considerar es: alta fluidez (< 80 s.) corresponde un equipo de inyección ligero (EIL) con presión nominal de 5 -10 bar, mediana fluidez (entre 80 s. y 130 s.) corresponde un equipo de inyección mediano (EIM) con presión nominal entre 10-20 bar. y baja fluidez (> 120 s) corresponde un equipo de inyección pesado (EIP) con presión nominal de trabajo superior a 20 bar. Esto según criterios netamente operacionales que aseguren el éxito de la inyección.

## 5.6 DISEÑOS PROPUESTOS PARA SU EVALUACIÓN

Los diseños de lechada de cemento están denominados por un código de la nomenclatura de: MC-TC (a/c P)

Donde "MC" es la marca de cemento, "TC" el tipo de cemento. Entre paréntesis se indica la relación a/c y la letra "P" se colocará en los casos donde se empleó aditivo plastificante.

Con Andino Tipo HS / AN-HS con relaciones a/c de 0.45P, 0.50, 0.55 y 0.60.

Con APU Tipo GU / AP-GU con relaciones a/c de 0.45P, 0.50, 0.55 y 0.60.

Con Sol Tipo I / SO-TI con relaciones a/c de 0.45P, 0.50, 0.55 y 0.60.

Con Pacasmayo Tipo ICO / PE-IC con relaciones a/c de 0.45P, 0.50, 0.55 y 0.60.

Con Pacasmayo Tipo MS / PF-MS con relaciones a/c de 0.45P, 0.50, 0.55 y 0.60.

Con Yura Tipo HE / YU-HE con relaciones a/c de 0.55P, 0.60 y 0.65.

El aditivo plastificante Chema Plast se usó en todos los casos en una proporción de 1.5% en peso de cemento.

## 5.7 RESULTADO DE LOS ENSAYOS

De la Tabla 7 se identificó que todos los diseños propuestos cumplen ampliamente con la  $R_{MR}$  incluso desde los 5 días de edad, un caso especial el diseño AN-HS (0.45P) que lo supera a la edad de 3 días y entrega mejor inyectabilidad respecto a los demás. El %H también se cumplió para todos los casos. Además, todas las mezclas califican como de baja fluidez.

Tabla 7: Resultados con cemento de código AN-HS (Elaboración propia).

Edad (días)	AN-HS (0.45P)	AN-HS (0.50)	AN-HS (0.55)	AN-HS (0.60)
	$f_c(\text{kg/cm}^2)$	$f_c(\text{kg/cm}^2)$	$f_c(\text{kg/cm}^2)$	$f_c(\text{kg/cm}^2)$
3	282.66	187.15	175.14	153.00
5	370.73	324.01	275.06	266.64
7	0.00	373.17	0.00	285.84
28	0.00	380.47	0.00	330.51
$\delta_{LC}(\text{kg/cm}^3)$	1.63	1.74	1.59	1.58
Fluidez (s.)	207	>> 130 s.	>> 130 s.	362
%H	0.20%	0.50%	1.45%	2.95%

De la Tabla 8 se identificó que el diseño AP-GU (0.60) superó la  $R_{MR}$  a los 7 días de edad y presentó fluidez media, mientras que los AP-GU (0.45P) y AP-GU (0.55) lo superó a los 5 días, incluso el diseño AP-GU (0.50) lo superó a los 3 días. Estos

dos últimos presentaron fluidez baja, mientras que la adición del plastificante en AP-GU (0.45P) incrementó significativamente la fluidez. Todos los diseños cumplieron %H requerido, sin embargo se recomienda controlar con énfasis este parámetro para AP-GU (0.60).

Tabla 8: Resultados con cemento de código AP-GU (Elaboración propia).

Edad (días)	AP-GU (0.45P)	AP-GU (0.50)	AP-GU (0.55)	AP-GU (0.60)
	$f_c(\text{kg/cm}^2)$	$f_c(\text{kg/cm}^2)$	$f_c(\text{kg/cm}^2)$	$f_c(\text{kg/cm}^2)$
3	179.68	212.81	191.25	144.83
5	289.72	310.15	271.60	199.67
7	0.00	329.43	0.00	237.01
28	0.00	356.01	0.00	257.56
$\delta_{LC}(\text{kg/cm}^3)$	1.57	1.74	1.58	1.56
Fluidez (s.)	69	326	154	113
%H	0.80%	2.20%	3.30%	4.50%

De la Tabla 9 todos los diseños propuestos cumplieron la  $R_{MR}$  a la edad de 5 días. El diseño SO-TI (0.45P) presentó fluidez alta, mientras que SO-TI (0.50) y SO-TI (0.55) presenta baja fluidez, y SO-TI (0.60) fluidez media. Se recomienda que para esta última se controle con énfasis su estabilidad durante su aplicación.

Tabla 9: Resultados con cemento de código SO-TI (Elaboración propia).

Edad (días)	SO-TI (0.45P)	SO-TI (0.50)	SO-TI (0.55)	SO-TI (0.60)
	$f_c(\text{kg/cm}^2)$	$f_c(\text{kg/cm}^2)$	$f_c(\text{kg/cm}^2)$	$f_c(\text{kg/cm}^2)$
3	151.72	169.61	157.80	149.91
5	362.88	308.54	232.36	230.58
7	0.00	344.28	0.00	238.05
28	0.00	430.02	0.00	270.17
$\delta_{LC}(\text{kg/cm}^3)$	1.53	1.75	1.62	1.60
Fluidez (s.)	89	369	211	127
%H	1.00%	1.80%	2.60%	4.40%

De la Tabla 10 se evidenció que PE-IC (0.55) y PE-IC (0.60) no lograron la  $R_{MR}$  a la edad de 28 días, por lo que quedan descartados. En el caso de PE-IC (0.50) lo superó a los 28 días, presentó fluidez media. Un mejor performance entregó el

PE-IC (0.45P) que ya a partir de la edad de 3 días superó la  $R_{MR}$  y presentó alta fluidez. Estos dos últimos destacaron por buena estabilidad de mezcla (%H).

Tabla 10: Resultados con cemento de código PE-IC (Elaboración propia).

Edad (días)	PE-IC (0.45P)	PE-IC (0.50)	PE-IC (0.55)	PE-IC (0.60)
	$f_c(\text{kg/cm}^2)$	$f_c(\text{kg/cm}^2)$	$f_c(\text{kg/cm}^2)$	$f_c(\text{kg/cm}^2)$
3	211.79	152.43	117.98	102.27
5	247.82	175.29	133.20	123.13
7	273.27	205.67	181.59	146.44
28	342.93	304.99	208.69	190.00
$\bar{\delta}_{LC}(\text{kg/cm}^3)$	1.69	1.68	1.66	1.65
Fluidez (s.)	95	128	76	49
%H	0.20%	0.25%	1.20%	2.00%

De la Tabla 11 los diseños PF-MS (0.55) y PF-MS (0.60) superaron la  $R_{MR}$  a los 28 días y ambos presentaron alta fluidez. El diseño PF-MS (0.50) lograron superar la  $R_{MR}$  ligeramente a partir de la edad de 5 días, presentaron fluidez media. Mientras que PF-MS (0.45P) superó ligeramente la  $R_{MR}$  a partir de los 3 días presentando baja fluidez. Todos los diseños se presentaron muy estables (%H).

Tabla 11: Resultados con cemento de código PF-MS (Elaboración propia).

Edad (días)	PF-MS (0.45P)	PF-MS (0.50)	PF-MS (0.55)	PF-MS (0.60)
	$f_c(\text{kg/cm}^2)$	$f_c(\text{kg/cm}^2)$	$f_c(\text{kg/cm}^2)$	$f_c(\text{kg/cm}^2)$
3	210.04	169.99	120.30	104.28
5	244.95	210.16	156.36	130.30
7	258.75	215.58	185.87	148.27
28	399.18	365.24	317.78	257.33
$\bar{\delta}_{LC} \text{ kg/cm}^3$	1.76	1.70	1.68	1.64
Fluidez (s.)	164	118	85	59
%H	0.90%	0.75%	0.90%	1.00%

De la Tabla 12 se muestra que el diseño YU-HE (0.65) no logró la  $R_{MR}$  a la edad de 28 días por lo que queda descartado. Los otros dos diseños lograron superar la  $R_{MR}$  a los 28 días presentando baja fluidez, pero muy estables.

Tabla 12: Resultados con cemento de código YU-HE (Elaboración propia).

Edad (días)	YU-HE	YU-HE	YU-HE
	(0.55P)	(0.60)	(0.65)
	$f_c(\text{kg/cm}^2)$	$f_c(\text{kg/cm}^2)$	$f_c(\text{kg/cm}^2)$
3	172.76	114.66	104.75
5	180.70	143.26	128.09
7	187.35	152.29	145.16
28	235.78	214.62	199.12
$\delta_{lc}$ (kg/cm <sup>3</sup> )	1.67	1.80	1.64
Fluidez (s.)	>> 130 s.	>> 130 s.	135
%H	0.10%	0.25%	0.50%

### 5.8 COMENTARIOS RESPECTO A LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Los criterios de diseño, que definen su aceptación o rechazo, son una resistencia mínima requerida ( $R_{MR}$ ) de 210 kg/cm<sup>2</sup> y exudación (%H) menor a 5% según lo especificado en PTI (2004), FHWA (1999) y ABNT (1996).

En función de los resultados arrojados, los diseños propuestos AN-HS (0.45P, 0.50, 0.55 y 0.60), AP-GU (0.45P, 0.50, 0.55 y 0.60), SO-TI (0.45P, 0.50, 0.55 y 0.60), PE-IC (0.45P y 0.50), PF-MS (0.45P, 0.50, 0.55 y 0.60) y YU-HE (0.55P y 0.60) se establecieron como "diseños aceptados" por cumplir con  $R_{MR}$  y %H; mientras que PE-IC (0.55 y 0.60) y YU-HE (0.65) se establecieron como "diseños no aceptados".

De los diseños aceptados prestar atención a la edad a la cual se cumple la  $R_{MR}$  y contrastar con la edad a la cual se aplicará carga al anclaje para definir la mejor relación a/c de acuerdo a su necesidad.

En los diseños aceptados con exudación cercana a 5% se recomienda mantener controlado este parámetro, como en el caso de SO-TI (0.60) y AP-GU (0.60).

Usar la fluidez obtenida como referencia para selección del equipo de inyección.

En el Anexo 2 se muestra los gráficos de desarrollo de resistencia en función al tiempo y registro fotográfico de los ensayos realizados.

### 5.9 CONSIDERACIONES ADICIONALES PARA EL DISEÑO DE LECHADA DE CEMENTO

Si bien el contenido del presente capítulo desarrollado hasta ahora cumple sus objetivos señalados, existen condiciones en las cuales la lechada de cemento debe ser diseñada en función a su respuesta al ser inyectada y si con esta se cumple la condición de cierre. Es decir, el diseño será del tipo iterativo y/o

adaptativo, retroalimentándose del resultado inmediato de la inyección hasta lograr las condiciones adecuadas de inyección.

Para los casos de terrenos muy permeables se sugiere el uso de "lechadas de baja movilidad", pero esto es algo que es obvio. Sin embargo, también sugiere un criterio intentar predecir si se está trabajando sobre este tipo de terrenos, ya que esto supone una pérdida importante de la capacidad de adherencia e incluso interconexión entre los hoyos para colocar los anclajes. Entonces, se recomienda la realización de un ensayo simple de presión de agua, ciertamente similar a un ensayo tipo Lefranc, que consiste en llenar el hoyo de agua y someter a una presión de 5 psi y si en 10 minutos se detecta una pérdida de 10.3 L de agua entonces se procede a realización de inyecciones de consolidación, posterior re perforación del hoyo y realizar el ensayo hasta lograr el criterio sugerido PTI (2004).

Si bien, el criterio sugerido en párrafo anterior es limitado, porque no es lo mismo realizar el ensayo a un taladro de 15 m. con diámetro de 5" que sobre un taladro de 3.5" y 6 m. Empero si se toma esta referencia para definir criterios orientados a acotar ciertas condiciones de terreno que se puede sugerir recomendaciones para proceder con el diseño de la lechada y la inyección en si. En PTI (2004) recomienda el tratamiento de consolidación pueda ser con mortero, e incluso con concreto fluido, y en caso de presentarse artesianismo considerar el uso de agentes anti lavado, en términos generales, modificar a conveniencia la reología de la lechada de cemento.

## CAPÍTULO VI: DESAROLLO DE CASO REAL

En este capítulo se muestra un caso real de aplicación de anclajes post tensados empleados para retenidas en un importante proyecto de línea de transmisión con postes.

### 6.1 GENERALIDADES DEL PROYECTO

El proyecto ejecutado forma parte de la construcción de la unidad minera Quellaveco y tiene como objetivo el transporte de energía eléctrica desde la sub estación (SE) de Papujune hacia las principales estructuras mineras, tales como la chancadora, patio de camiones, faja de transporte, stock pile, operaciones mina, planta de procesos y depósito de relaves, entre otros, para su operación.

La S.E. Papujune es una estructura eléctrica que recibe una línea de transmisión de 220 kV proveniente desde la ciudad de Moquegua. Desde la S.E Papujune se distribuye una serie de líneas mixtas, postes y torres, hacia el área mina (área 2000) y área de procesos (área 300) con potencial de 22.9 kV, y una línea de torres hacia el área de relaves (área 4000) con un potencial de 60 kV.

Los anclajes post tensados aplicados como retenidas se emplearon en todas las líneas con postes.

Nombre del proyecto:	Líneas áreas de distribución 22.9 kV y 60 kV.
Cliente:	Anglo American Quellaveco S.A.
Contratista (ejecutor):	Copemi S.A.C. Constructores.
N° de contrato:	K-EPCN-154C
Supervisor:	Servicios Minería Inc. – SMI.
Ubicación del proyecto:	Distrito de Torata, provincia de Mariscal Nieto, departamento de Moquegua.

### 6.2 LÍNEAS AÉREAS DE DISTRIBUCION 22.9 kV

Las líneas aéreas de distribución de 22.9 kV están en su mayoría conformadas por postes de madera. En casos específicos se han construido torres cuando el obstáculo a salvar lo amerita y/o para ganar altura de la faja de servidumbre. Así mismo, se contemplaron estructuras enterradas tipo ducto conocidas como "bancoducto" que fueron empleadas cuando el obstáculo a salvar requería que sea atravesado con los conductores debajo del nivel de suelo, como fue el caso para atravesar el obstáculo de la línea de transmisión Toquepala – Botiflaca (Cuajone) y un tramo de la faja de transporte de mineral.

El paquete de líneas está conformado por líneas principales que se originan en la S.E. Papujune y por ramales que derivan de alguna estructura específica desde las líneas principales.

En la Tabla 13 se muestran las principales líneas con algunos datos de interés, como el número de estructuras con retenidas en cada línea. Según el cuadro, se cuenta un total de ciento treinta y uno (131) estructuras con retenidas que forman parte del servicio contratado.

*Tabla 13: Principales líneas con postes para 22.9 kV (Elaboración propia).*

Línea	Código de Línea	Inicio	Fin	Estruc. (und.)	Postes (und.)	Torres (und.)	Postes c/ Ret. (und.)
Línea 1 (L1)	5210-LA-001	S.E. Papujune	Chancadora primaria	28	23	5	15
Línea 2 (L2)	5210-LA-002	S.E. Papujune	Salida túnel faja	12	12	0	7
Línea 3 (L3)	5210-LA-003	S.E. Papujune	Planta Molibdeno	10	10	0	10
Línea 5 (L5)	5210-LA-005	S.E. Papujune	Garita entrada	24	24	0	14
Línea 6 (L6)	2030-LA-001	S.E. Papujune	Arranque L7 y L8	21	14	7	9
Línea 7 (L7)	2030-LA-002	Torre L6-24	Tajo principal	28	21	7	16
Línea 8 (L8)	2030-LA-003	Torre L6-24	Tajo principal	21	15	6	9
Línea 11 (L11)	5210-LA-011	Torre L1-7	Tanque agua fresca	7	7	0	5
Línea 12 y 121 (L12 y L121)	5210-LA-012	Torre L1-13	Presa agua contactada	17	12	5	8
Línea 13 y 14 (L13 y L14)	5210-LA-013 / 014	Torre L1-19	Polvorín	12	10	1	9
Línea 31 (L31)	2030-LA-031	Torre L8-18	Túnel río Asana	7	7	0	4

Línea Caracoles (LC)	1140-LA-001/007	Líneas 12	Pozas de Caracoles	18	18	0	14
Líneas Truck Shop (LTS)	5210-LA-016/019	Postes L1	Varios	13	13	0	11

### 6.3 PLANTEAMIENTO DEL SISTEMA DE RETENIDAS PARA POSTES

Se planteó un sistema de retenidas convencional y otro sistema con anclajes post tensados.

#### 6.3.1 Sistema de retenida convencional

La fijación de un sistema de retenida convencional, llámese "cimentación de retenida", se plantea mediante un bloque de anclaje según la Figura 19. Esta forma de cimentación de retenida presenta, preliminarmente, las siguientes características, independiente a la carga de trabajo que soportara la retenida:

Profundidad de la excavación: 1.8 m.

Sección de excavación: Según Figura 20.

Dimensiones del dado de concreto: 0.2x0.5x1.3 m.

De estos datos se puede obtener algunos parámetros de interés:

Volumen concreto del dado: 0.13 m<sup>3</sup>.

Peso aproximado del dado: 312 kg.

Volumen de excavación: 2.07 m<sup>3</sup>.

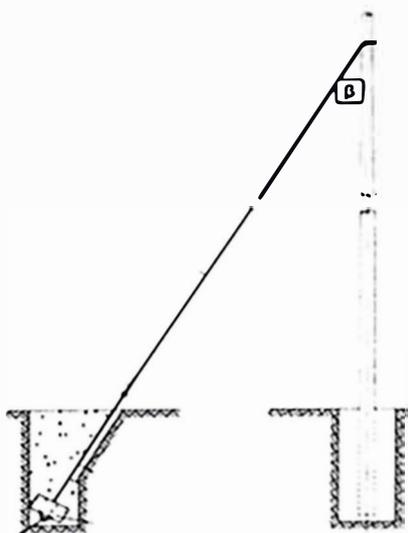


Figura 19: Vista de un poste con retenida convencional.

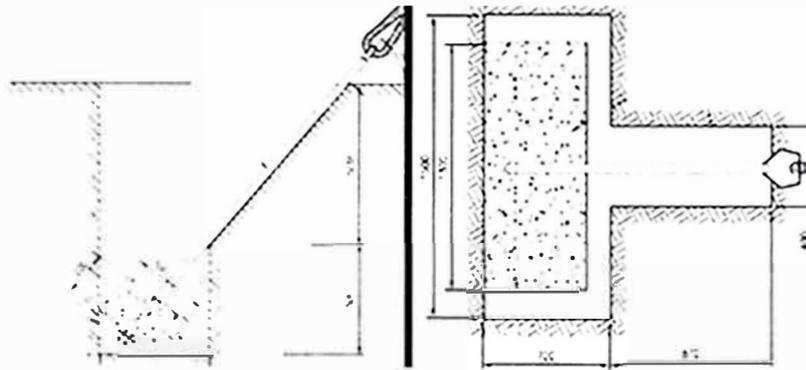


Figura 20: Vista del bloque de retenida convencional.

### 6.3.2 Sistema de retenida con anclaje post-tensado

Esta alternativa busca reemplazar la cimentación de retenida convencional mediante un anclaje post tensado de las siguientes características:

- Acero de refuerzo: Barra hueca o solida de acero, tipo "T", "R" o BAHE.
- Medio de fijación: Con lechada de cemento.
- Conexión cable – anclaje: Tuerca tipo "ojo".

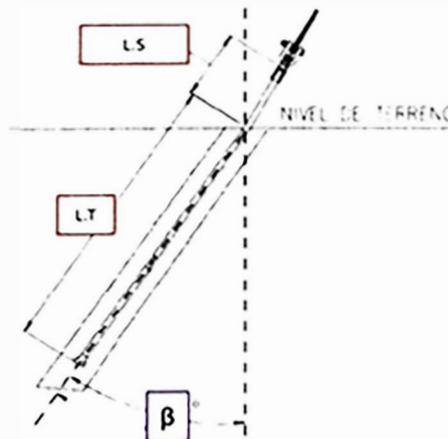


Figura 21: Vista de un anclaje con barra para retenida.

### 6.3.3 Comparativo técnico

Este comparativo muestra las diferencias técnicas a nivel cualitativo, así como la descripción de alguna actividad que se requiera enfatizar para cumplir con los estándares propios del proyecto. Eso se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14: Comparativo técnico entre sistemas de retenidas (Elaboración propia).

Concepto	Retenida convencional	Retenida con anclaje post-tensado
Materiales:	Concreto, acero corrugado y liso, relleno.	Barra de acero y accesorios, cemento y aditivos.
Equipos involucrados:	Camión grúa, compactador y equipo humano (predominantemente manual).	Camión grúa, perforadora, compresor e inyector (predominantemente mecánico).
Rendimiento normal:	Con un equipo humano de 5 personas: 0.5 ret./día.	Con un equipo humano de 5 personas: 4 ret./día.
Actividades:	Excavación, colocación de dado y varilla lisa, relleno y compactación.	Perforación e inyección; eventualmente ensayos pull test.
Estándares a cumplir:	Excavación y zanjas, izaje, espacios confinados.	Excavación y zanjas, e izaje.

## 6.4 DISEÑO DEL ANCLAJE POST-TENSADO PARA RETENIDAS – PROYECTO LÍNEAS AÉREAS DE DISTRIBUCIÓN 22.9 kV

### 6.4.1 Análisis de información para el diseño

#### 6.4.1.1 Información derivada del cálculo electromecánico.

Los resultados del cálculo del diseño electro-mecánico de la línea de transmisión, y de interés para el diseño del anclaje, es la carga de trabajo de deberá soportar la retenida y ángulo formado por la retenida y la vertical. Esto en cumplimiento con DGE (2011).

Las estructuras, postes, se agrupan de acuerdo a similitudes del ángulo de línea, esfuerzos actuantes, ubicación, equipamiento, tipo de conductor, etc. Según estas variables se determinó el “tipo de estructura” de cada poste. Esto se refiere a la configuración y distribución de elementos del poste para su montaje.

Este agrupamiento reúne características de utilización, es decir, naturaleza de los esfuerzos que recibe, y ángulo de línea en dicha estructura, tal como se muestra en la Tabla 15, según la información indicada en Copemi (2019a).

Tabla 15: Tipo de estructura según su utilización y ángulo de línea (Elaboración propia).

Tipo	Utilización	Angulo de línea
PS	Suspensión monoposte simple terna	0° - 2°
HS	Suspensión biposte simple terna	0° - 2°
PA1	Angular monoposte simple terna	5° - 60°
PA3	Angular anclaje monoposte simple terna	60° - 90°
PR	Anclaje retención monoposte simple terna	0° - 15°
HR	Anclaje retención biposte simple terna	0° - 15°
HT	Terminal biposte simple terna	-
HS2	Derivación simple terna	-
HR2	Suspensión biposte doble terna	0° - 2°
HA12	Angular biposte doble terna	0° - 15°
HA32	Angular anclaje biposte doble terna	60° - 90°
HT2	Terminal biposte doble terna	-
SAM	Subestación monoposte	-
SAB	Subestación biposte	-

Los términos “monoposte” y “biposte”, incluso “triposte”, se refieren a la existencia de uno, dos y tres postes por estructura, respectivamente.

El diseñador electro mecánico emite la tabla de cargas de trabajo para los anclajes en función al tipo de armado y tipo de conductor asociado. Esta información se muestra en la Tabla 16.

Tabla 16: Carga de trabajo del anclaje según tipo de conductor y tipo de estructura (Elaboración propia)

Carga del anclaje Pw (ton.)	Tipo de conductor	Tipo de estructura
5.0	FLINT	HR2, HT2, HR, PR
	ALLIANCE	PR, PA1, PA3, HA1, HR, HT, TS
6.5	FLINT	HA32, PA1SEC, PA1, PA3, HA1, HT, HTT, TS, PD

#### 6.4.1.2 Información geotécnica.

Se realizó una campaña de investigación geológica – geotécnica para obtener los parámetros de diseño de cimentación de las estructuras proyectadas.

Esta campaña de investigación consistió en la realización de ensayos de muestras alteradas e inalteradas de suelo y/o roca obtenidos de la excavación de treinta y seis (36) calicatas, distribuidas sobre las trayectorias de las líneas y ubicadas principalmente en los vértices. Las profundidades de excavación de las calicatas varían desde -0.7 m. a -2.50 m., siendo -2.0 m. la profundidad más común.

Los tipos de suelo obtenidos fueron agrupados según su similitud de resultados en resistencia (cohesión, ángulo de fricción, etc.), nivel freático, contenido de sales, etc. Obedeciendo un proceso de zonificación geotécnica.

El resultado de la zonificación geotécnica se visualiza con datos para el diseño civil de las estructuras según la siguiente tabla.

Tabla 17: Cuadro de zonificación geotécnica (Elaboración propia)

Zona geotécnica	Tipo de suelo / roca	Cohesión (kg/cm <sup>2</sup> )	Angulo de fricción interna (°)	Peso específico (ton/m <sup>3</sup> )
II	SM/SC, GM, GC, SC-SM	0.02	28°	1.7
III	GP, SP, GW, SW / Roca muy fracturada	-	33°	1.9
IV	Roca fracturada (buena calidad)	0.5	35°	2.3

La descripción de cada zona mostrada en la Tabla 17, según Copemi (2019b).

Zona II: Grava con finos de limo y arcilla, arena limosa y arcillosa color marrón claro de compacidad media a densa, con ligera humedad. Engloba entre 10 a 20% de gravas de rocas volcánicas o intrusivas sub – redondeadas a sub – angulosas.

Zona III: Depósitos coluviales conformados por gravas de rocas volcánicas o intrusivas sub-redondeadas a sub-angulosas, predominando bloques y bolones en matriz areno limosa de compacidad media o rocas volcánicas e intrusivas muy fracturadas de resistencia media.

Zona IV: Roca volcánica andesita e intrusivas tipo granodiorita y monzonita moderadamente meteorizada, poco fracturada y resistente.

En ninguna de las zonas geotécnicas se evidencia presencia de nivel freático.

#### 6.4.1.3 Condiciones del proyecto.

Se refiere a la condición o realidad del proyecto que condicione alguna variable para el diseño.

Una realidad a tener en cuenta es que los accesos carrozables son priorizados para la estructura en sí, sea poste o torre, esto quiere decir que el acceso hacia la zona de instalación de anclajes sería mayoritariamente con mucha dificultad para la colocación de equipos para este paquete de trabajo. En tal sentido, se restringe a que los equipos seleccionados deben ser livianos, de relativa baja capacidad, lo que a la vez condiciona el diámetro, profundidad, aplicabilidad y rendimiento.

#### 6.4.2 Criterios de diseño

##### 6.4.2.1 Selección de equipos según los accesos

El proyecto contempla la habilitación de accesos hacia las estructuras, pudiendo ser del tipo carrozable o de herradura. Tienen la finalidad de transporte de equipos mayores y materiales, en el caso del carrozable, y para traslado manual de materiales y equipos menores, en el caso del acceso tipo herradura. Cada uno habilitara como tal dependiendo de la condición topográfica, geotécnica e interferencias.

Con frecuencia, dependiendo de la topografía, las retenidas ancladas se ubican muy alejadas del poste. Es decir, fuera del alcance de los accesos. Por lo que se debe considerar un equipo de perforación liviano.

Seleccionar un equipo de perforación liviano condiciona al tipo de perforación, diámetro y longitud del anclaje, en función al tipo de terreno. Esto se debe tener en consideración para poder diseñar el anclaje.

El equipo de inyección también debe ser liviano para permitir su traslado lo más cerca de los anclajes. Esto para evitar pérdida de presión, desperdicio y/o derrames de lechada de cemento presente en los tramos de manguera.

##### 6.4.2.2 Tipo de anclaje según la naturaleza de la carga

Anclaje activo debido a la incorporación de carga antes de su puesta de servicio.

Anclaje post-tensado.

#### 6.4.2.3 Tipo de anclaje según su vida útil:

La mina Quellaveco tiene una proyección inicial mínima de 30 años de operación. Esto, para el caso de los anclajes, permite determinar que el anclaje se clasifica como "permanente" (MVCS, 2018).

#### 6.4.2.4 Tipo de anclaje según el acero de refuerzo

Puede ser anclaje de cable o de barra. Para este caso se optó por barra por tener la facilidad de colocación de la tuerca ojo.

#### 6.4.2.5 Tipo de anclaje según la perforación

Puede ser del tipo autoperforante o perforado. Para este caso se seleccionó una barra de acero de refuerzo hueca, lo que permita que se pueda utilizar como autoperforante con una broca perdida en fondo y con un cabezal drifter en el equipo perforador. Sin embargo, se contempla contar con una unidad de rotación para montarlo sobre el equipo perforador, para utilizarlo en situaciones donde se presume o demuestre que la perforación con martillo DTH resulte mejor que el autoperforante. Esto también permite que el orificio interior de la barra de refuerzo haga el equivalente de una manguera de inyección IGU.

#### 6.4.2.6 Tipo de protección para el anclaje:

Los resultados del estudio de mecánica de suelo (Copemi, 2019b) arrojan poca agresividad de sales y sulfatos del suelo de fundación por lo que bastaría con contempla cemento portland tipo I para el recubrimiento del acero de refuerzo del anclaje.

En cuando al anclaje en general, al ser del tipo permanente, la barra de acero debe tener un tratamiento superficial. Para este caso se hace un tratamiento superficial tipo galvanizado.

### 6.4.3 Cálculo y resultados

Consiste en la determinación numérica de los componentes del anclaje en función a la información recibida del diseño electro mecánico, condiciones del terreno y del proyecto.

#### 6.4.3.1 Determinación de la longitud libre (LL) y longitud superior (LS)

La longitud libre (LL) tendrá un valor de 0.50 m. para todos los anclajes, debido a que esta contempla únicamente la alteración de la columna de lechada de

cemento que está expuesta a intemperismo y eso ocurre en los primeros centímetros debajo del nivel de terreno natural.

Entonces:  $LL_{(Diseño)} = 0.50 \text{ m.}$

La longitud superior (L.S) tendrá un valor de 0.20 m. para todos los anclajes, debido a que este tramo únicamente es contemplado para la instalación de la "tuerca ojo".

Entonces:  $LS_{(Diseño)} = 0.20 \text{ m.}$

#### 6.4.3.2 Determinación de la barra de refuerzo

De la tabla de solicitaciones de carga de los anclajes vemos que la carga máxima es de 6.50 tn.

Con  $PW_{(max. \text{requerido})} = 6.50 \text{ ton}$  obtendremos el requerimiento de la sección de acero según las características de las barras autoperforantes de marca Ischebeck – Titán.

$$P_w = \frac{0.90 * F_y * A_s}{n = 1.75} \quad ( 30 )$$

En la ecuación 30, que deriva de la ecuación 1, el valor de "n" asume el valor de 1.75 por tratarse de un anclaje permanente.

Según la ecuación se obtendrá la carga de trabajo de la barra Titán,  $PW_{(barra \text{ T.})}$ , según la tabla obtenida de su catálogo. La Tabla 18 muestra las características geométricas y mecánicas según el fabricante.

Tabla 18: Características de la barra autoperforante Titán.

Fuente: Ischebeck GmbH (2006).

Característica	Unidad	TITAN 30/16	TITAN 30/11	TITAN 40/20	TITAN 40/16
Diámetro exterior	mm.	30	30	40	40
Diámetro interior	mm.	16	11	20	16
Sección (As)	mm <sup>2</sup> .	340	415	730	900
Rotura	kN	245	320	540	660
Fluencia (Fy)	kN	190	260	425	525
Esfuerzo de fluencia	N/mm <sup>2</sup>	560	625	590	590
Longitud disponible	m.	3.0	2.0 / 3.0 / 4.0	3.0 / 4.0	3.0

Los resultados calculados de  $PW_{(barra \text{ T.})}$  se muestran en la siguiente tabla, según la ecuación 30 y determinando su aceptación mediante la comparación con el  $PW_{(max. \text{requerido})}$ .

Tabla 19: Resultados del cálculo de  $Pw_{(barra T.)}$  (Elaboración propia).

Barra	Fy*As (kN)	Pw(barra T.) (ton.)	Pw(barra T.) > Pw(max. Requerido)
Titán 30/16	190	9.96	Si cumple.
Titán 30/11	260	13.63	Si cumple.
Titán 40/20	425	22.28	Si cumple.
Titán 40/16	525	27.52	Si cumple.

De la Tabla 19 se puede optar por cualquiera de las barras mostradas en la tabla, sin embargo, en esta instancia se selecciona la Titán 30/16 y Titán 31/10.

#### 6.4.3.3 Determinación del diámetro de perforación ( $\phi_p$ ) y bulbo ( $\phi_b$ )

Para efectos de diseño el diámetro de perforación es equivalente al diámetro del bulbo del anclaje. El diámetro de perforación está definido por el diámetro de la broca.

Para la barra seleccionada, la Titán 30/11 o Titán 30/16, según Ischebeck GmbH (2006) se presentan brocas, independientemente del tipo de terreno, en diámetros de 42, 46, 51, 55, 75 y 90 mm.

El diámetro de broca de perforación ( $\phi_{bp}$ ) seleccionada para asegurar el recubrimiento mínimo de  $\frac{1}{2}$ " según PTI (2004) será de 55 mm. Esto también considerando que un diámetro mayor de broca respecto al diámetro de la barra de perforación resulta en problemas de atrapamiento de la línea.

Sin embargo, para términos de diseño de la carga superficial actuante sobre el bulbo, se considerará un diámetro de 50 mm.

Entonces:

$$\phi_b = 50 \text{ mm.}$$

#### 6.4.3.4 Determinación de la adherencia última - $\tau_{(ult)}$

Se genera la Tabla 20 con valores de  $\tau_{(ult)}$  para determinado tipo de suelo – roca.

Tabla 20: Selección de  $\tau_{(ult)}$  para el diseño (Elaboración propia).

Zona geotécnica	Tipo de suelo / roca	MVCS (2018)	Para el diseño
		$\tau_{(ult)}$	$\tau_{(ult)}$
II	SM/SC, GM, GC, SC-SM	0.06 - 0.38 Mpa.	0.14 Mpa.

III	GP, SP, GW, SW / Roca muy fracturada	0.21 - 1.38 Mpa.	0.20 Mpa.
IV	Roca fracturada (buena calidad)	-	0.30 Mpa.

#### 6.4.3.5 Cálculo de longitud de bulbo (Lb) o longitud anclada (LA)

Se genera la Tabla 21 con longitudes de bulbo según las cargas de 5.0 ton. y 6.5 ton., y para cada zona geotécnica. Estos valores resultantes del cálculo según la ecuación 2 y ecuación 3, resultando:

$$Lb = \frac{Pw \times FS}{\pi \times \phi b \times \tau(ult.)} \quad (31)$$

Tabla 21: Cálculo de Lb de acuerdo a las condiciones de diseño definidas (Elaboración propia).

Zona geotécnica	$\phi b$ (m.)	$\tau(ult.)$ - Diseño (ton/m <sup>2</sup> )	FS	Lb	
				Pw (ton.)= 5.0	Pw (ton.)= 6.5
Zona II	0.05	14.28	2	4.46	5.80
Zona III	0.05	20.39	2	3.12	4.06
Zona IV	0.05	30.59	2	2.08	2.71

#### 6.4.3.6 Definición del diseño del anclaje

Se muestra Tabla 22 con los todos los componentes del anclaje según los criterios de diseño definidos. Las longitudes que se utilizan son proporcionales a 0.5 con la única finalidad de que sean manejables.

Tabla 22: Determinación de Lb, LL y LT para diseño (Elaboración propia).

Zona geotécnica	Para Pw = 5.0 ton.			Para Pw = 6.5 ton.		
	Lb (Diseño) (m.)	L.L (Diseño) (m.)	L.T. (Diseño) (m.)	Lb (Diseño) (m.)	L.L (Diseño) (m.)	L.T. (Diseño) (m.)
Zona II	4.5	0.5	5.0	6.0	0.5	6.5
Zona III	3.5	0.5	4.0	4.5	0.5	5.0
Zona IV	3.5	0.5	4.0	3.5	0.5	4.0

Se determina que la LT mínima es de 4 m. para todos los casos.

Sobre la información que se muestra en la Tabla 22 se generan las planillas de instalación de retenidas con anclajes, la cual agrupa las estructuras de una línea específica en la cual se indica la ubicación del poste, longitud de los vanos adyacentes, tipo de estructura, zona geotécnica, carga de trabajo del anclaje e información del anclaje diseñado para la condición específica de cada estructura. Estas planillas que se generan a partir de la Tabla 22 pueden sufrir variaciones de acuerdo a la  $P_w$ , y esta última está sujeta al criterio del diseñador electromecánico. Cualquier actualización y/o modificación a las planillas de estarán mostrando en el desarrollo de las etapas de ejecución.

#### 6.4.3.7 Definición del diseño de lechada de cemento

En esta se define la relación agua – cemento ( $a/c$ ) de la lechada de cemento para las inyecciones de cemento que servirá como medio de fijación para los anclajes. Esta se realiza con el cemento disponible en la zona geográfica donde se desarrolla el proyecto.

A continuación, se describe el cemento a utilizar:

Cemento: Yura

Tipo: IP

Descripción: Producto a base de Clinker con puzolana natural. Resistente al intemperismo y ataques químicos.

Se contempla dos tipos de lechada de acuerdo a la función en específico a usar de acuerdo a la metodología de perforación – inyección.

Lechada para barrido: se aplica como fluido de perforación para anclajes autoperforantes y su función básica es evacuar los detritos y ayudar a estabilizar las paredes del taladro.

$a/c_{(\text{barrido})} = 0.70$  (Ischebeck GmbH, 2006).

Lechada para de fijación: se aplica como medio de fijación definitivo, para el caso de anclajes autoperforantes deberá desplazar a la lechada de barrido y su diseño se define mediante la siguiente manera, según los criterios especificados en el capítulo de diseño de lechada:

$a/c_{(\text{fijación})} = 0.50$

%plastificante= 4% (aditivo Cablejet)

El cemento Yura IP al tener adición de puzolana, al mezclar únicamente agua – cemento la mezcla resultó poco fluida por lo que al contar con EIL se necesitó de algún aditivo que mejore su trabajabilidad. Además, el aditivo plastificante ayudo

a incrementar significativamente el  $f_c$  base de  $210 \text{ kg/cm}^2$  y así asegurar su cumplimiento.

El aditivo plastificante denominado Cablejet está presentado en polvo con rango de dosificación de 2% - 4% en peso de cemento y es de alto desempeño, contribuye también a reducir la contracción y exudación (Mapei, 2018).

El diseño de mezcla con  $a/c = 0.5$  y 4% de aditivo plastificante se logró, en laboratorio, una fluidez de 20 seg. y exudación  $\%H = 0.5\%$ , ambos según el estándar de la UNE-EN 445 (UNE, 1996) y superando la resistencia a la compresión mínima a los 14 días.

Si bien estas son condiciones de laboratorio, corresponde que estas propiedades se controlen durante la ejecución, en especial lo referido a la resistencia a la compresión simple.

## 6.5 EJECUCIÓN DE ANCLAJES POS-TENSADOS PARA RETENIDAS – PROYECTO LÍNEAS AÉREAS DE DISTRIBUCIÓN 22.9 kV.

### 6.5.1 Análisis de información para la ejecución

#### 6.5.1.1 Información geotécnica.

Con esta se determina los equipos y sistemas, tanto de perforación como de inyección, además de las herramientas de perforación.

Se orienta la metodología de instalación con perforación top hammer – autoperforante y con sistema DTH convencional. Manteniendo lo preseleccionado en etapa de diseño. Mientras que la inyección tipo IGU a través del eje hueco de la barra Titán 30/11.

#### 6.5.1.2 Información del diseño del anclaje

Estas se muestran mediante las planillas de anclajes, principalmente. Esta contiene información necesaria para la instalación de los anclajes tales como: cantidad por estructura, ángulo de inclinación y profundidad. Y se complementan con las especificaciones técnicas para el cumplimiento de los estándares de calidad requeridos por el proyecto y por la compañía.

### 6.5.2 Selección de equipos

Los equipos a definir son: perforadora, compresor y central de inyección.

### 6.5.2.1 Selección de equipo perforador

El principal criterio es que el equipo a considerar debe ser liviano, esto debido a que, si bien la mayoría de los postes tienen acceso carrozable, estos están fuera de la ubicación de los anclajes. Es decir, el equipo perforador una vez descargado deberá ser trasladado por medios manuales hacia la zona de perforación y muchas veces, dependiendo de la topografía del terreno y del ángulo de inclinación de la retenida, se ubica en zonas de acceso muy complicado y alejado de los postes.

Por lo descrito, se opta por un vagón de perforación o "wagon drill" (WD), cuya fuerza motriz se debe al aire comprimido, es decir, es un equipo neumático.

Las características del equipo seleccionado se muestran en la Tabla 23 en función la información brindada por el fabricante.

Tabla 23: Características del equipo perforador seleccionado.

Fuente: Ingetrol (s.f.)

<b>Denominación:</b>	Ingetrol - Mini Troner
<b>Sistemas:</b>	DTH (MPL-22/007) / TH (BBC 120 F)
<b>Peso:</b>	180 kg.
<b>Fuerza de empuje / elevación:</b>	900 kg.
<b>Torque:</b>	590 Nm
<b>Velocidad de rotación:</b>	75 rpm (DTH) / 180 rpm (TH)
<b>Demanda de aire:</b>	70 CFM @ 6 bar (para el equipo)

### 6.5.2.2 Selección de equipo compresor

Para seleccionar el compresor se debe tener en cuenta el caudal de aire y presión que debe suministrar para el barrido del taladro y, para este caso, también para el accionamiento del equipo perforador.

La demanda de aire se analiza de acuerdo a las herramientas de la sarta de perforación DTH al ser esta la que requiere mayor cantidad de aire respecto a un sistema TH. Las herramientas a seleccionar están de acuerdo al diámetro de hoyo según el diseño del anclaje. Se muestra la Tabla 24 con los datos de las herramientas DTH seleccionadas.

Tabla 24: Características de las herramientas DTH seleccionadas.

Fuente Robit Plc (2019).

Herramienta	Marca	Código	$\phi_{bp}$ (mm.)	$\phi_{bp}$ (in.)	Aire requerido
Martillo DTH	Robit	BR2	64	2.5	7 bar @ 30 CFM
Broca	Robit	BR2 70 BIT	70	2.8	-

---

Tubería	Robit	RD50	50	2.0	-
---------	-------	------	----	-----	---

---

Con los datos de las herramientas DTH seleccionadas se puede proceder a realizar el cálculo de la velocidad de barrido.

Para acotar la capacidad nominal del compresor a seleccionar ( $Q_{nc}$ ), de la ecuación de la velocidad de barrido se despeja, en función a su límite superior e inferior de 7000 y 4000 CFM, respectivamente. Entonces se tiene:

$$\frac{4000 \times F_{cq} \times (\phi_{bp}^2 - \phi_t^2)}{183.4} \leq Q_{nc} \leq \frac{7000 \times F_{cq} \times (\phi_{bp}^2 - \phi_t^2)}{183.4} \quad (32)$$

La temperatura máxima registrada en la zona del proyecto es de 21.7 °C, una mínima de -6.1 °C y un promedio anual de 8.4 °C, y las estructuras se ubican a una altitud máxima de 4000 m.s.n.m. (Copemi, 2019a). Con esta información, y según la tabla de  $F_{cq}$  se selecciona:

$$F_{cq} = 1.60$$

Reemplazando el valor de  $F_{cq}$  y de las herramientas de perforación, acotamos el  $Q_{nc}$ , resultando:

$$130.84 \text{ CFM} \leq Q_{nc} \leq 228.98 \text{ CFM}$$

A este último valor se le debe añadir la demanda de aire requerida por el equipo perforador, según la Tabla 23, de 70 CFM. En tal sentido, la capacidad mínima del compresor debe ser de 200 CFM a 7 bar.

Se selecciona el equipo compresor con las características según Tabla 25 con información técnica del equipo.

*Tabla 25: Características del equipo compresor seleccionado (Elaboración propia).*

---

<b>Denominación:</b>	Atlas Copco - XAS 300 DD7
<b>Caudal de aire:</b>	265 CFM
<b>Presión de aire:</b>	8.5 bar.
<b>Salidas de aire:</b>	3 x 3/4"
<b>Potencia:</b>	70 Hp
<b>Motor:</b>	Deutz TD
<b>Peso:</b>	900 kg.

---

### 6.5.2.3 Selección de equipo de inyección

La fuerza motriz otorgada por el aire comprimido debe ser aprovechada también por el equipo inyector, es decir, un equipo neumático con una moderada

capacidad y que sea de fácil transporte a una ubicación lo razonablemente cercana a los anclajes a instalar.

Las características del equipo seleccionado se muestran en la Tabla 26, con información especificada por el fabricante:

*Tabla 26: Características del equipo inyector seleccionado.*

*Fuente: Italswiss (s.f.).*

<b>Denominación:</b>	Italswiss - Furetto
<b>Componentes:</b>	Agitador-mezclador integrado y bomba.
<b>Peso:</b>	80 kg.
<b>Capacidad de mezcla:</b>	80 l.
<b>Velocidad de agitación:</b>	60 - 300 rpm.
<b>Caudal máximo de bomba:</b>	38 l/min.
<b>Presión máxima de bomba:</b>	40 bar.
<b>Demanda de aire:</b>	4 -7 bar. @ 70 CFM.

### 6.5.3 Configuración de los equipos

Los equipos se configuran con las herramientas y accesorios según la secuencia de ejecución y/o de instalación del anclaje. Pudiendo ser autoperforante con top hammer o perforación con martillo en cabeza.

Para ambos sistemas de instalación la secuencia es la de perforación – colocación de acero de refuerzo – inyección, con la particularidad que en un anclaje autoperforante el acero de refuerzo haces las veces de columna de perforación por lo que su colocación es simultánea, lo mismo que la inyección.

#### 6.5.3.1 Configuración para instalación con sistema TH - Autoperforante

Los elementos para la instalación del anclaje (equipos, herramientas y accesorios) quedan configurados según lo que a continuación se describe.

El equipo perforador Mini Troner quedó montado con el cabezal drifter BBC 120F que entrega la percusión en superficie para perforación TH y un adaptador drifter – barra, el cual cuenta con una geometría interior que permite el paso de lechada de cemento desde la manguera proveniente desde la inyectora Furetto hacia el eje hueco de la barra Titán 30/11. La fuerza motriz, tanto para la perforadora como para la inyectora fue suministrada por aire comprimido.

Un detalle importante a considerar en el caso de anclajes autoperforantes es que, al necesitar inyección simultánea a la perforación y ambos equipos ser de

accionamiento neumático, se requirió contar con dos compresores para evitar la descompensación de presión y/o caudal de aire en determinados momentos de la operación, tanto en perforación como en inyección.

La columna de perforación la conformo la broca de sacrificio, barras Titán 30/11, conectores tipo coplas manguito y centralizadores de acero. La acción de barrido la realiza la inyección simultánea de lechada de cemento pobre.

Una vez que la barra llegue a la profundidad deseada se realiza la inyección definitiva hasta lograr que esta última desplace a la lechada de barrido, mediante su rechazo por boca según la Figura 22.

En la Figura 22 y Figura 23 se muestra la disposición de los elementos involucrados en la operación y un detalle del anclaje dentro del terreno, respectivamente.

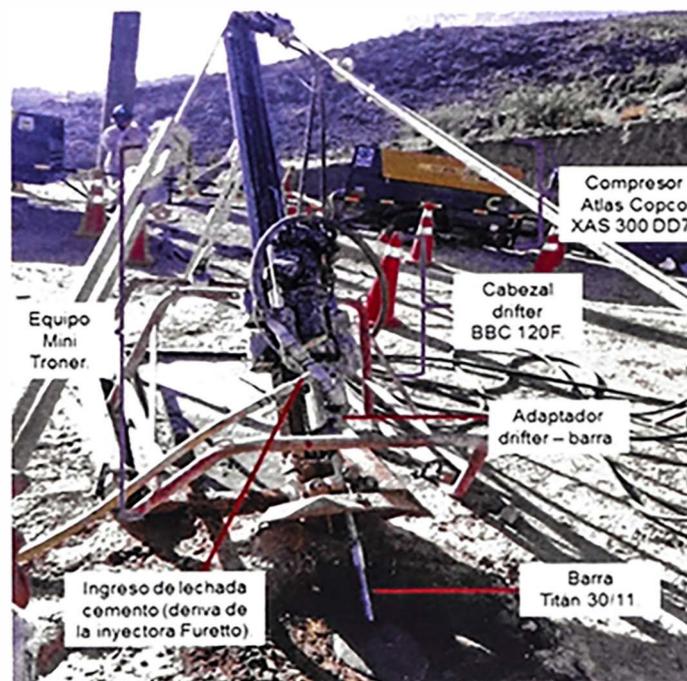


Figura 22: Configuración del equipo para anclaje autopercorante.

En la Figura 22 se muestra el equipo, herramientas y accesorios en plena operación.

En la Figura 23 se muestra la secuencia de instalación como anclaje autopercorante dentro del terreno. Véase la broca, centralizador, acople, barra y lechada de cemento.

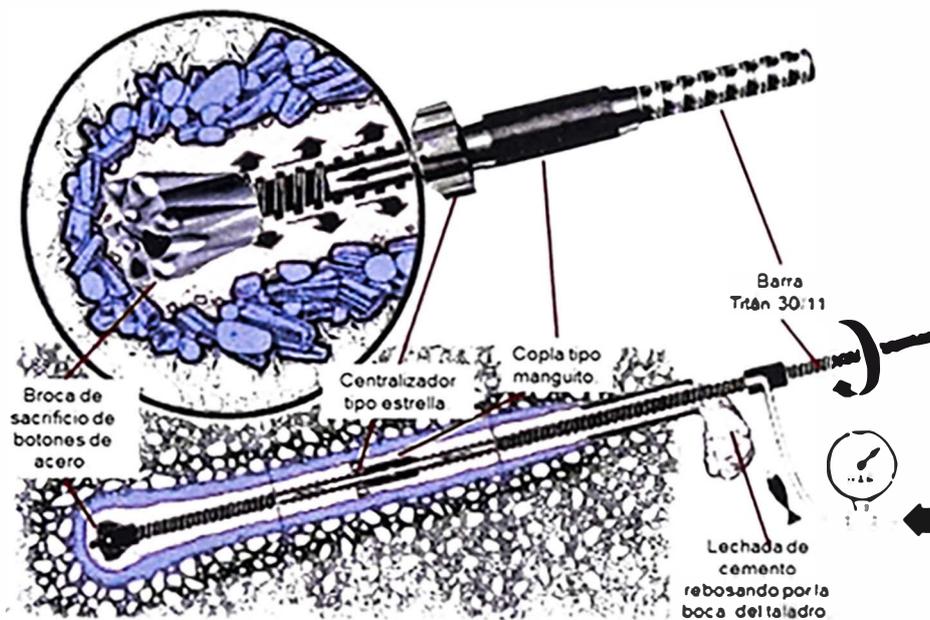


Figura 23: Disposición de elementos del anclaje autopercutor.

Fuente Ischebeck (s.f.).

#### 6.5.3.2 Configuración para instalación con perforación DTH

Los elementos para la instalación del anclaje (equipos, herramientas y accesorios) quedan configurados según lo que a continuación se describe.

Al equipo perforador Mini Troner se le monta el cabezal / unidad de rotación MPL-22/007 para perforación DTH. La columna de perforación la compone broca DTH-C, convencional tipo "button bit", de cara plana y botones esféricos de carburo de tungsteno de 70 mm, martillo DTH BR2 y varillas tipo RD50. Con este sistema se logra generar el agujero que permitirá la colocación del acero de refuerzo del anclaje, constituido por barras Titán 30/11, acoples manguito y centralizadores de acero tipo estrella.

La barra de refuerzo es colocada por medios manuales con la precaución de no perturbar las paredes del taladro para evitar derrumbes dentro del mismo. Posterior a ello, se efectúa la inyección de cemento a través del eje hueco de la barra Titán 30/11 a manera de un sistema IGU hasta lograr el rechazo.

Los esquemas gráficos de la configuración de los elementos para la instalación del anclaje con perforación DTH se muestran en la Figura 24 y Figura 25.

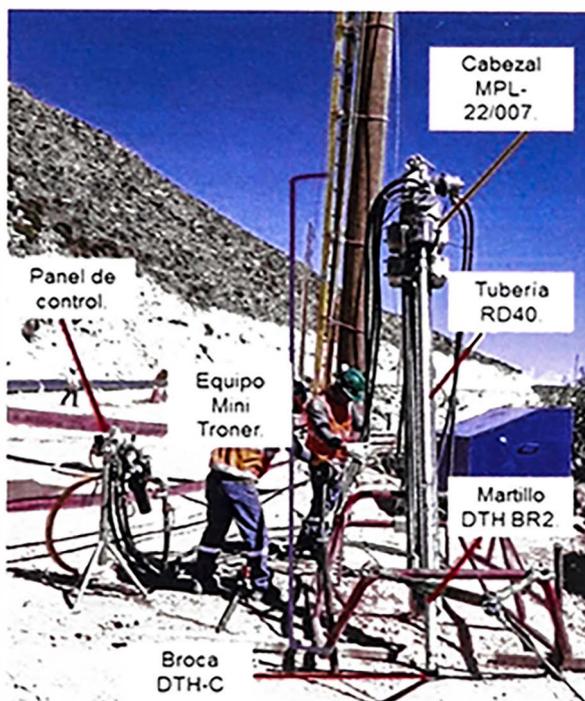


Figura 24: Configuración del equipo para perforación DTH.

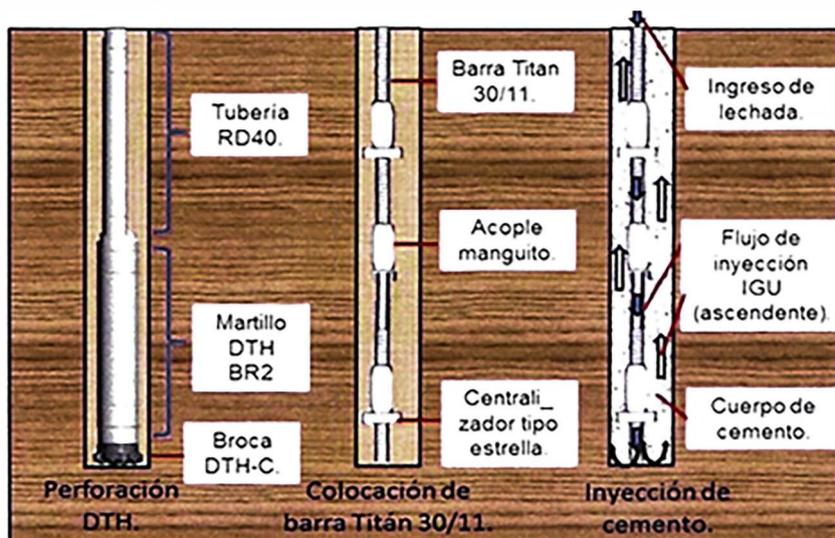


Figura 25: Disposición de elementos para instalación con perforación DTH.

En la Figura 25 se muestra la secuencia de inyección con perforación DTH y su disposición dentro del terreno.

#### 6.5.4 Desarrollo de la ejecución

En el presente apartado se resume el trabajo realizado con la finalidad de generar los entregables de este paquete de trabajo que son los anclajes post tensados que serán utilizados para sujetar las retenidas de los postes que integran la línea de distribución 22.9 kV de la unidad minera Quellaveco durante su etapa de

construcción. Se hace énfasis en los problemas operativos identificados y las acciones tomadas para mejorar y superarlos; además de mencionar las lecciones aprendidas a partir de los mismos.

La instalación de anclajes post tensados para retenidas fue un paquete de trabajo, la cual sería la primera experiencia del uso de anclajes en terreno como soporte para retenidas de postes para la compañía ejecutora, por lo que significó un reto desde lo logístico, contratación de personal especializado y calificado, de planeamiento y desarrollo en si. En tal sentido atravesó por etapas las cuales se diferenciarán en el tiempo y en el desempeño logrado de acuerdo a la experiencia que se va acumulando a lo largo del desarrollo de la ejecución.

#### 6.5.4.1 Etapa 1

Se le denominara así al arranque de la ejecución o a la ejecución temprana. Se podría decir que es una etapa adaptativa e iterativa, donde en cada anclaje instalado se van ajustando y mejorando alguna condición que sea explotable y/o sea deficiente.

Tabla 27: Resumen del trabajo ejecutado en la Etapa 1 (Elaboración propia).

<b>Periodo:</b>	Septiembre - noviembre 2019
<b>Líneas trabajadas:</b>	Línea 7, Línea 8 y Línea 31.
<b>Estructuras:</b>	L7 (16; 18; 19; 19A; 20A; 21; 22; 23; 23A; 24A y 25), L8 (21 y 19) y L31-2
<b>Nº estructuras / postes (und.)</b>	L7(11) + L8(2) + L31 (1) = 14
<b>Nº anclajes instalados:</b>	62 und.
<b>Long. anclaje instalado:</b>	355.6 ml.
<b>Sistemas utilizados:</b>	Autoperforante y DTH.

En la Tabla 27 se muestra el trabajo realizado en esta etapa, líneas trabajadas, estructuras y cantidad de trabajo ejecutado. Mientras se fue ejecutando, y desde el principio, se identificaron variables operativas que necesitaron atención.

Si bien, la secuencia de instalación y configuración de elementos para la instalación de los anclajes se mantuvieron según lo descrito líneas arriba, fue necesario realizar adaptaciones a la necesidad y realidad del proyecto.

Se iniciaron los trabajos con el sistema autoperforante lo que supuso dos principales problemas de arranque.

En primer lugar, la baja energía mecánica en los equipos de perforación e inyección debido a que era suministrados por un compresor en común. Esto perjudicaba principalmente al equipo inyector Furetto debido a su necesidad de impulsar la lechada de cemento a elevadas presiones ( $> 15$  bar) para vencer la resistencia ejercida por el suelo para barrer el detritus de la perforación. La medida inmediata a tomar fue la de contar con dos compresores independientes para cada equipo. Con esto se mejoró el barrido con lechada de cemento durante la inyección, pero significó un incremento en el coste operativo debido a la puesta en operación de un segundo compresor, sin embargo, la compañía contaba con los equipos propios necesarios.

En segundo lugar se identificó bajo rendimiento de perforación ( $R_p$ ) de 5.5 m. en 2 horas en promedio, tanto en suelo tipo II y tipo III, esto supuso dos potenciales causas: baja calidad de la broca de sacrificio, broca de botones de acero, y/o baja energía de percusión en el drifter BBC 120F. Sea la causa, una de ellos o la conjugación de ambas, la solución inmediata viable no era reemplazarlas, sino acotar el uso de sistema autoperforante cuando se identifique suelos blandos y evaluar el desempeño con un sistema de instalación de anclajes con sistema DTH. Una vez comprobado del rendimiento con sistema autoperforante, se procedió a configurar los elementos para perforación DTH. El resultado esperado con perforación DTH era reservado, debido a que la columna de perforación con la que se disponía era sugerida para roca medianamente sana y/o suelos estables cohesivos, sin embargo, las estructuras comprendidas en esta etapa, y en general, fueron en su mayoría tipo II y III. Esto supondría que para tener éxito en una perforación DTH sería necesario el uso de sistemas con camisa temporal, lo cual para el equipo Mini Troner sería muy difícil de concebir debido a su capacidad. La recomendación operativa para proceder con sistema DTH, e intentar controlar los riesgos a los que se está expuesto, fueron: asegurar el barrido mediante la visualización de la evacuación de detritus, arrancar los primeros 2 m. de perforación con bajo caudal de aire, realizar pequeños ciclos de barrido y re-perforación cada 0.50 m. para verificación continua de no intento de atascamiento de la línea y supervisión constante del especialista de la actividad. Pese a ello, el resultado óptimo esperado era lograr incrementar significativamente la velocidad de penetración, mejora del rendimiento global, y prescindir de un compresor.

El arranque de la instalación de anclajes con sistema de perforación DTH entregó resultados positivos desde el principio, obteniendo un rendimiento de perforación ( $R_p$ ) de 6.5 m. en 40 minutos, donde la mayor parte del tiempo se dedicó a

asegurar el barrido y repase del taladro. Sin embargo, la colocación manual de la barra de refuerzo tuvo algunos inconvenientes debido a que el taladro sufría, algunas veces, de derrumbes focalizados de finos y de piedras de tamaño moderado. Esto se solucionó introduciendo aire comprimido por el eje hueco de la barra Titán 30/11 mientras se colocaba manualmente la barra con la finalidad de barrer y limpiar los derrumbes focalizados dentro del taladro para permitir colocar la barra hasta la profundidad deseada.

De lo descrito hasta el momento, se presenta la siguiente tabla con los aspectos identificados para mejora.

*Tabla 28: Aspectos operativos resaltantes en la Etapa 1 (Elaboración propia).*

<b>Aspecto</b>	<b>TH - Autoperforante</b>	<b>DTH</b>
<b>Equipo Mini Troner Rp (ml./hr)</b>	Con BBC 120F 5.5 m. / 2 hr.	Con MPL-22/007 6.5 m. / 0.6 hr.
<b>Problemas identificados</b>	Baja Vp y añadir un compresor para equipo inyector.	Derrumbes focalizados en el taladro.
<b>Acción correctiva propuesta / implementada</b>	Mejorar el desempeño de broca y/o cabezal drifter y añadir un compresor a la operación.	Colocar la barra Titán 30/11 con aire comprimido para barrido.
<b>Limitación del correctivo</b>	Inviabile económicamente.	Aplica para derrumbes poco agresivos.

De la Tabla 28 se concluye, sin mayor análisis, que la instalación de anclajes con sistema DTH resulta mejor respecto al TH – Autoperforante. En tal sentido, para los postes posteriores, se priorizó la ejecución haciendo uso del sistema DTH, tanto para suelo tipo II y III.

En el **Anexo 3** se muestra un registro fotográfico de lo más resaltante indicado en la Etapa 1.

#### 6.5.4.2 Etapa 2

Se le denominara así a la etapa a partir de la cual se logró cierta “madurez” respecto a la metodología de ejecución aplicada, se superaron los problemas que se presentaron en el arranque y se definió que el sistema de instalación con mayor eficiencia fue mediante la perforación DTH.

Se presenta la Tabla 29 donde se indican los detalles de la cantidad del trabajo ejecutado en esta etapa.

Los números expresados en la Tabla 29 corresponden la mayor cantidad de trabajo y, sumado a lo ejecutado en la Etapa 1, abarca el total de anclajes instalados contractualmente a noviembre 2021.

*Tabla 29: Resumen del trabajo ejecutado en la Etapa 2 (Elaboración propia)*

<b>Periodo total:</b>	Diciembre 2019 - noviembre 2021
<b>Paralización por Covid-19:</b>	Marzo - septiembre 2020
<b>Líneas trabajadas:</b>	Línea 1, Línea 2, Línea 3, Línea 5, Línea 6, Línea 7, Línea 8, Línea 11, Línea 12, Línea 121, Línea 13, Línea 14, Línea 31 y Línea LC
<b>N° estructuras / postes (und.):</b>	L1 (18) + L2 (7) + L3 (9) + L5 (17) + L6 (7) + L7 (5) + L8 (8) + L11 (5) + L12 (8) + L13 (5) + L14 (4) + L31 (3) + LC (13) = 109
<b>N° anclajes instalados:</b>	384 und.
<b>Long. anclaje instalado:</b>	2127.9 ml.
<b>Sistemas utilizados:</b>	DTH.

Como se evidencia, la mayor cantidad del trabajo ejecutado se realizó con sistema DTH y en los párrafos siguientes se estarán describiendo algunas situaciones complejas, operativamente hablando, que tuvieron que ser superadas. Esto va más allá del bagaje ganado desde la etapa anterior y actual, sino el de dar soluciones con los recursos disponibles en obra.

#### Situación 1:

Es referido al derrumbamiento agresivo de las paredes del taladro en determinadas estructuras. En estas condiciones el parámetro de velocidad de barrido es aleatorio debido a la inestabilidad del hoyo. La consecuencia más crítica, además de la posibilidad de perder el hoyo, es la del atrapamiento de la línea de perforación donde lo más crítico es la pérdida del martillo y broca DTH. Esto sucede cuando las paredes del hoyo colapsan aprisionando toda la sarta y la fuerza del equipo perforador, en conjunción con el barrido y energía de percusión del martillo DTH, no puede recuperarlos. Esta situación se materializo

en la estructura L8-11A, en diciembre 2019, cuando la perforación llegaba a los 4.0 m.

La acción a tomar fue contar con un compresor de mayor capacidad que permita entregar mayor aire para la energía mecánica del equipo perforador y para el barrido en la limpieza de hoyos con derrumbamiento agresivo. Se optó por un compresor Atlas Copco XVAS 400 con capacidad nominal de 16 bar @ 400 CFM. Es necesario aclarar que el uso de un sistema de perforación con revestimiento (DTH-R) no era viable por contar con un equipo perforador liviano.

#### Situación 2:

Es referido a la ubicación topografía de los puntos a perforar, los cuales muchas veces, según la disposición del poste, se localizaban en zonas inaccesibles debido a la existencia de roca de sobre tamaño, taludes, interferencias físicas, entre otras. La única alternativa para reubicar los puntos de perforación fue, debido a que el poste tiene una ubicación definida y fue imposible plantear su desplazamiento, fue incrementar o reducir el ángulo vertical de la retenida.

El modificar el ángulo de la retenida supone cambiar la componente horizontal, que contribuye a compensar el tiro ejercido por los conductores sobre el poste, y componente vertical, que transmite esfuerzo de compresión al poste, de la fuerza de tiro y ello, a la vez, a rediseñar el anclaje post tensado en el caso más desfavorable.

La forma de proceder en estos casos fue enviar una solicitud de cambio con la propuesta de desplazamiento del anclaje incrementando o reduciendo el ángulo vertical de la retenida. Esta era evaluada por el área de diseño electro mecánico, el cual entregaba una nueva carga de trabajo de la retenida sobre el cual se efectuaría la evaluación y rediseño del anclaje post tensado.

#### Situación 3:

Es referido a terrenos inestables a la perforación DTH-C. Se los denominara cuando se manifieste derrumbamiento agresivo desde los primeros metros, su naturaleza suele ser granular con presencia de finos de arena y/o limo-arcilla, fragmentos de roca angulosas y/o redondeadas, y que al contacto con la percusión del martillo DTH no ofrece resistencia a la penetración, pero si la tendencia al atrapamiento de la sarta. Si bien para lograr la profundidad deseada se puede recurrir a repetidos ciclos de barrido y re-perforación, esto no garantiza que el hoyo se mantenga estable durante la colocación del acero de refuerzo, aun inyectando aire comprimido por el eje hueco de la barra Titán 30/11, y peor aún, que se

mantenga estable cuando la lechada de cemento ascienda por el taladro y se logre una inyección exitosa.

La condición es tal que, para lograr el éxito de la instalación del anclaje, el hoyo debe ser generado de modo que las paredes se mantengan estables todo el proceso de perforación e inyección.

La alternativa, un tanto híbrida por así decirlo, un criterio similar al sistema autoperforante, de estabilizar las paredes con lechada de cemento, pero para ese caso debería ser una relación a/c rica en cemento pese a que su uso es exclusivamente para crear una capa de revestimiento en el hoyo. Esta lechada de cemento debía ser colocada por gravedad por la boca del taladro y su fragua debería ser forzada por el calor generado por la fricción entre el martillo DTH y las paredes con ciclos relativamente prolongados de rotación pura. Para asegurar que un tramo, y antes de proseguir con profundizar el taladro, se verificaba el retorno de aire y/o evacuación libre de detritus, y baja resistencia a la rotación de la sarta. El riesgo tomado con esa forma es que el martillo quedaba sumergido peligrosamente en lechada de cemento mientras se estabilizaba el hoyo, lo que suponía potenciales daños de los componentes internos del martillo (válvulas, resortes, distribuidor de aire y pistón), esto se controló manteniendo el flujo de aire para evitar que el cemento ingrese a los componentes internos del martillo, o el riesgo de pérdida de línea.

Con la forma descrita se logró instalar con éxito anclajes en terrenos muy agresivos. Mediante la estabilización de las paredes del hoyo con lechada de cemento previa a la colocación de la armadura de acero.

Situación 4:

Es referida respecto a postes con accesibilidad limitada, entendiéndose por accesibilidad limitada cuando la estructura no cuenta con acceso carrozable para el transporte de equipos, principalmente, y cuando la ubicación de los anclajes está en zonas de difícil acceso. Si la condición de accesibilidad lo permite, el equipo perforador era trasladado con el apoyo de un tirfor, pero en situaciones críticas fue necesario desarmar el equipo para su traslado a pulso y volver a montarlo una vez ubicado en la zona de perforación.

De las situaciones mostradas en el **Anexo 4** se muestra el registro fotográfico según lo indicado en cada una y, en general, de la Etapa 2.

### 6.5.4.3 Etapa 3

Se denominará así a los procesos de cierre de cada línea, donde fue necesario la instalación de retenidas adicionales, que no forman parte del paquete contractual, con la finalidad de corregir la verticalidad de determinados postes.

En la Tabla 30 se detalla la cantidad de trabajo ejecutado en esta etapa y son de carácter de remediación, salvaguardar determinadas estructuras y/o daño al anclaje provocados por eventos ajenos a la actividad en sí.

*Tabla 30: Resumen del trabajo ejecutado en la Etapa 3 (Elaboración propia).*

<b>Periodo:</b>	N.A. (según necesidad electro-mecánica)
<b>Estructuras intervenidas:</b>	L6-6; L3-10; L3-11; L121-7; L121-8 y L7-7
<b>N° anclajes instalados:</b>	$L6-6 (3) + L3-10 (1) + L3-11 (1) + L121-7 (1) + L121-8 (2) + L7-7 (2) + L11-4 (1) + L6-8 (1) = 12$
<b>Longitud de anclaje instalado:</b>	$L6-6 (14.4 \text{ m.}) + L3-10 (3.8 \text{ m.}) + L3-11 (3.8 \text{ m.}) + L121-7 (4.8 \text{ m.}) + L121-8 (7.6 \text{ m.}) + L7-7 (5.8 \text{ m.}) + L11-4 (6.8 \text{ m.}) + L6-8 (6.8 \text{ m.}) = 53.8 \text{ m.}$
<b>Sistemas utilizados:</b>	DTH.

Algunos de los anclajes instalados en esta etapa tuvieron la finalidad de compensar algunos esfuerzos no previsibles en la etapa de diseño, en el caso de vanos flojos, o por errores operacionales al momento de realizar el flechado de los conductores. Estos se manifiestan afectando la verticalidad del poste fuera de su tolerancia.

En el caso de la estructura biposte se presume un error operativo al momento del flechado de los vanos, tanto adelante como atrás de 105 m. y 190 m. respectivamente. El área electro mecánica solicitó la colocación de tres (3) retenidas adicionales con sus respectivos anclajes para compensar el desbalance de fuerzas, una retenida atrás, una adelante y una en la bisectriz. Los anclajes fueron de 5.8 m. de profundidad y de 5 ton. de carga de trabajo.

En el caso de la estructura L7-7, el vano adelante fue de 603.65 m., presentó un vano muy grande para una estructura de biposte, lo que sugirió, necesariamente

una retenida en la bisectriz externa con anclaje de 4.8 ton. y longitud de 5.8 m. para estabilizar al poste.

En la Figura 26 se muestra la estructura a tratar, biposte L6-6, posterior al flechado y que después de la verificación topográfica y evaluación por el área de ingeniería electro mecánica se recomendó la instalación de retenidas adicionales.



Figura 26: Disposición del biposte L6-4 después del flechado.

En la Figura 27 se evidencia la instalación de los anclajes de refuerzo. Nótese que las demás retenidas ya están con carga incorporada. Véase a la izquierda la instalación del anclaje hacia atrás y a la derecha la inyección del anclaje hacia adelante.



Figura 27: Instalación de anclajes adicionales en pi-poste L6-4.

En el caso de los postes L3-10 y L3-12, y L121-7 y L121-8, los vanos comprendidos en ellos, a nivel de diseño se suponían "flojos". Es decir, que el tiro ejercido por los conductores bastaría con ser compensados por la fuerza

resistente del poste, pero en el ejercicio no fue así. El vano aparentemente flojo de L3-10 y L3-12, requirió una retenida hacia atrás en el caso del primer poste y una retenida hacia adelante en el caso del segundo poste. El otro vano con similar condición fue el comprendido por los postes L121-7, que requirió una retenida hacia atrás, y L121-8, que requiero dos retenidas hacia adelante cuya resultante tenga la dirección de alineamiento.

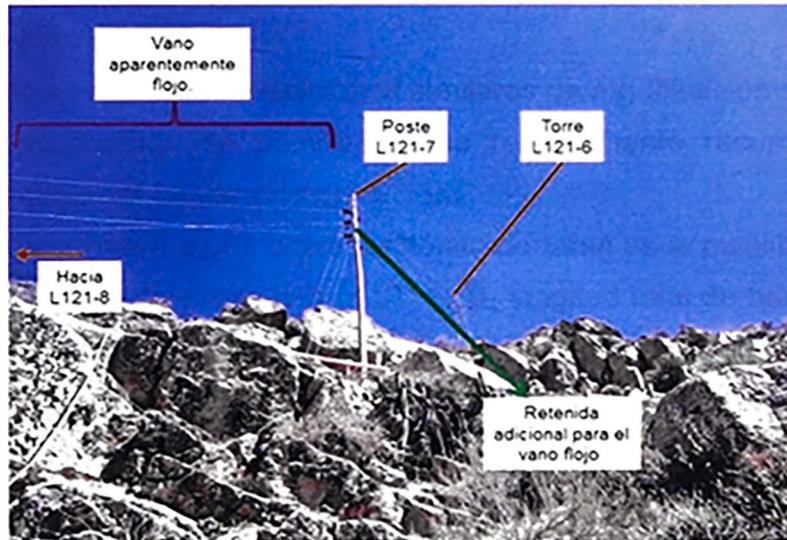


Figura 28: Esquema del poste L121-7 para retenida adicional.



Figura 29: Postes L121-7 y L121-8 siendo reforzados con anclajes adicionales.

La descripción y el registro fotográfico de algunos casos de estructuras que necesitaron alguna retenida adicional o de reposición se muestran en el Anexo 5.

### 6.5.5 Actualización de planillas de anclajes

Las planillas de anclajes contienen la información de la estructura – postes, tipo de terreno, cantidad de retenidas, cantidad de anclajes, y características de este último, tal como LA, LT, y Pw. Estas planillas se agrupan por líneas.

El primer caso de actualización de planilla se realizó después de la modificación del ángulo de retenida indicado en la “Situación 2” de la “Etapa 2” y evidenciado con su respectivo anexo.

Posterior a ello se replicaron situaciones similares de modificación de ángulo que requirieron actualización de planillas y fue relativamente recurrente, cuando aplicaba, a lo largo del periodo de ejecución.

Otro hecho que conllevó a una actualización importante de la planilla fue el definir longitudes de anclaje de modo que la  $LT + LS$ , longitud total de barra, resulte en un valor entero. Esto debido que con las longitudes actuales suponían pérdida de material en algunos casos. Por ejemplo, cuando la planilla indicaba que la LT sea de 4 m, entonces la longitud total de barra necesariamente debería ser de 5 m, teniendo un desperdicio de barra de 0.8 m debido a que LS es de 0.20 m; además de la sobre perforación que supone ello.

La actualización según lo descrito en el último plano se realizó durante la paralización por Covid-19 y consistió básicamente en definir una LA para que la longitud total de barra sea un número entero. Con esto, se aprovechó en definir un rango de cargas que se podría asignar a un anclaje con determinada LA con la finalidad de que, cuando se modifiquen el ángulo de la retenida y se calcule la nueva carga de retenida Pw, se le asigne inmediatamente la LA y así poder agilizar los cambios.

Dado que LL tiene el valor de 0.50 m y LS el de 0.20 m, y para cumplir el nuevo requerimiento de longitud de LA, este debería tener las siguientes longitudes: 3.3 m; 4.3 m; 5.3 m; 6.3 m y 7.3 m. Entonces sobre estos valores de LA se definirá el rango de cargas para cada una de ellos.

Bajo ese criterio y manteniendo los valores de FS,  $\tau_{(ult.)}$  se construye la Tabla 31.

Tabla 31: Rangos de Pw según las LA definidas (Elaboración propia).

LA o Lb	$\phi_b$	Zona II Pw	Zona III Pw	Zona IV Pw	Zona II Pw	Zona III Pw	Zona IV Pw
(m.)	(m.)	(ton.)	(ton.)	(ton.)	(ton.)	(ton.)	(ton.)
3.30	0.05	3.70	5.28	7.93	$Pw \leq 3.7$	$Pw \leq 5.3$	$Pw \leq 7.9$

4.30	0.05	4.82	6.89	10.33	3.7<Pw≤4.8	5.3<Pw≤6.9	7.9<Pw≤10.3
5.30	0.05	5.94	8.49	12.73	4.8<Pw≤5.9	6.9<Pw≤8.5	10.3<Pw≤12.7
6.30	0.05	7.07	10.09	15.14	5.9<Pw≤7.0	8.5<Pw≤10.1	12<Pw<13.63
7.30	0.05	8.19	11.69	17.54	7.0<Pw≤8.2	10.1<Pw≤11.7	

La Tabla 31 muestra el rango de Pw para determinada Lb según la Ecuación 30 y considerando el mismo diámetro de bulbo de la Tabla 21 ( $\phi_b=0.05$  m.), en el que contemplaba que la instalación se realizaría como autoperforante.

Sin embargo, ya habiendo progresado en la ejecución y determinado que la perforación DTH-C estaba entregando mejores resultados, se podría replicar el equivalente a la Tabla 31 pero con el cambio del diámetro del bulbo según el diámetro de la broca de perforación especificado en la Tabla 24 ( $\phi_{bp}=0.07$  m.). Con este diámetro de broca, y contemplando su desgaste, se puede asumir el diámetro de bulbo generado por perforación DTH-C equivalente a  $\phi_b = 0.06$  m.. En términos generales el  $\phi_b$  depende el diámetro del hoyo generado y si bien este último depende del  $\phi_{bp}$ , depende también, para el caso de perforación DTH-C, de lo abrasivo que puede ser el aire comprimido en su acción de barrido. Por ejemplo, para suelos blandos como el limo o arcilla con arena la acción de barrido del aire comprimido incrementa significativamente el diámetro del hoyo resultante respecto al  $\phi_{bp}$ , pero es algo que no se puede controlar.

Para este caso en específico, el incremento en el diámetro de bulbo, aparentemente insignificante, derivado como consecuencia de cambiar de perforación TH - autoperforante a DTH-C, contribuye al incremento del Pw del anclaje como se muestra en la Tabla 32.

Tabla 32: Rangos de Pw considerando mayor  $\phi_b$  (Elaboración propia).

LA o Lb	$\phi_b$	Zona II	Zona III	Zona IV	Zona II	Zona III	Zona IV
		Pw	Pw	Pw	Pw	Pw	Pw
(m.)	(m.)	(ton.)	(ton.)	(ton.)	(ton.)	(ton.)	(ton.)
3.30	0.06	4.44	6.34	9.51	Pw<4.4	Pw≤6.3	Pw≤9.5
4.30	0.06	5.79	8.26	12.40	4.4<Pw≤5.7	6.3<Pw≤8.2	9.5<Pw≤12.4
5.30	0.06	7.13	10.19	15.28	5.7<Pw≤7.1	8.2<Pw≤10.1	12.4<Pw<13.63
6.30	0.06	8.48	12.11	18.16	7.1<Pw≤8.4	10.1<Pw≤12.1	
7.30	0.06	9.82	14.03	21.05	8.4<Pw≤9.8	12.1<Pw≤13.63	

En la Tabla 32 se ve que los límites superiores de cada rango se han incrementado respecto a la Tabla 31 debido al incremento del diámetro de bulbo en 1 cm.

La única finalidad de la construcción de la Tabla 32 es mostrar que existe cierta holgura al momento de asignar la  $L_b$  para determinada  $P_w$  según la Tabla 1. Es decir, por ejemplo, si se tiene un  $P_w$  de 3.8 ton. se le puede asignar  $L_b$  de 3.3 m., pese a saber que está fuera de rango, pero relativamente cercano a su límite superior, según la Tabla 1, empero lo razonablemente aceptable según la Tabla 32 y su uso se limita para las cargas  $P_w$  que estén en los bordes de los rangos mostrados en la Tabla 31 y su aplicabilidad sujeta a consulta al área electromecánica.

Las planillas con las características de los anclajes generados, actualizados y definitivos se muestran en **Anexo 6** abarcando el de todas las líneas.

### 6.5.6 Ensayo de anclajes tipo Pull Test y validación del trabajo

Para la aceptación y validación de los anclajes instalados se debió efectuar una prueba de carga tipo pull test por cada estructura o poste.

La carga del ensayo ( $P_e$ ) estuvo en proporción a la carga de trabajo del anclaje ( $P_w$ ). La secuencia de carga se tomó según lo especificado en el ensayo de recibimiento indicado en MVCS (2018), es decir, según la Tabla 33.

*Tabla 33: Secuencia de carga para ensayo pull test (Elaboración propia).*

Fasos o ciclos de carga y descarga												
1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°	13°
0.1 $P_w$	0.3 $P_w$	0.6 $P_w$	0.8 $P_w$	1.0 $P_w$	1.2 $P_w$	1.4 $P_w$	1.2 $P_w$	1.0 $P_w$	0.8 $P_w$	0.6 $P_w$	0.3 $P_w$	0.1 $P_w$
$\delta_1$	$\delta_2$	$\delta_3$	$\delta_4$	$\delta_5$	$\delta_6$	$\delta_7$	$\delta_8$	$\delta_9$	$\delta_{10}$	$\delta_{11}$	$\delta_{12}$	$\delta_{13}$

En cada fase y a partir de la carga de alineamiento se registraron las deformaciones. La carga de alineamiento es 0.1 $P_w$  es una carga inicial para que se acomoden todos los elementos antes de empezar en ensayo en sí.

El tiempo de observación de cada carga es de 10 minutos y este debe ser considerado desde el momento que la carga, ósea la presión manométrica indicada en el equipo de ensayo, se estabilice.

El criterio de aceptación del ensayo fue la especificada en el tópico 3.3.1 y sigue las consideraciones de ASTM D4435 y es  $\delta_{max} = 12.7$  mm.

Se realizaron tantos ensayos de pull test como la cantidad de postes con retenidas, y en todos ellos se cumplió el criterio de aceptación indicado.

La realización de los ensayos pull test se realizaron siete (7) días después de haber realizado la inyección con la finalidad que se asegure que la resistencia mínima de 210 kg/cm<sup>2</sup> haya sido superada.

La aceptación y validación de los anclajes se realizaba mediante la firma por parte de la supervisión de los registros generados, a manera de protocolo, de la instalación, ensayo a la compresión simple de testigos cúbicos de lechada de cemento y ensayo de pull test.

En el **Anexo 7** se muestra algunos protocolos de instalación y de pull test de los anclajes de algunos postes de la Línea 1, mientras que en **Anexo 8** se muestra resultados de ensayo a compresión de testigos cúbicos de lechada de cemento utilizados para la inyección de los anclajes de algunos postes de la Línea 6. Ambos como evidencia a la aceptación y la validación de los trabajos realizados.

#### 6.5.7 Activación de los anclajes

Se entiende por activación de anclaje cuando se le incorpora carga de tracción para su puesta en servicio. La orden de proceder con la activación derivaba inmediatamente de haber realizado el ensayo de pull test sobre el poste en cuestión y que este haya pasado el criterio de aceptación y posterior validación.

Esta activación es una actividad exclusiva del área electro mecánica y consiste entregar carga al anclaje y retenida con la finalidad que los conductores involucrados adquieran la catenaria contemplada en el diseño y que el poste adquiera una condición estática con la adecuada verticalidad.

Este apartado se menciona únicamente con la finalidad de hacer entender que el anclaje es activado antes de su puesta en servicio por lo cual adquiere el nombre de anclaje post-tensado.

#### 6.5.8 Resumen de casos con lecciones aprendidas

En este apartado se desea mostrar un resumen explicado de lecciones aprendidas que surgieron de mejor al proceso de ejecución.

Se muestra el **Anexo 9** con el registro fotográfico explicado de los casos en cuestión.

## CAPÍTULO VII: OTRAS VENTAJAS DE LOS SISTEMAS DE PERFORACIÓN EN PROYECTOS DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

Contar con equipos y personal calificado y especialidad; además de la experiencia acumulada en el proyecto, respecto a trabajos de perforación DTH permitió la oportunidad de plantear su utilización para fines convenientes en caso aplicara. Fue el caso de instalación de puesta a tierra vertical con electrodos de cobre o de acero con recubrimiento de cobre (cooper well) e instalación de micropilotes a tracción o anclajes para cimentación de torres de celosía.

### 7.1 INSTALACIÓN DE JABALINA PARA PUESTA A TIERRA

Las jabalinas son electrodos de cobre o cooper well que forman parte del cuerpo de la puesta a tierra vertical. El electrodo es recubierto por cemento conductor, tal y como se muestra en la Figura 30.

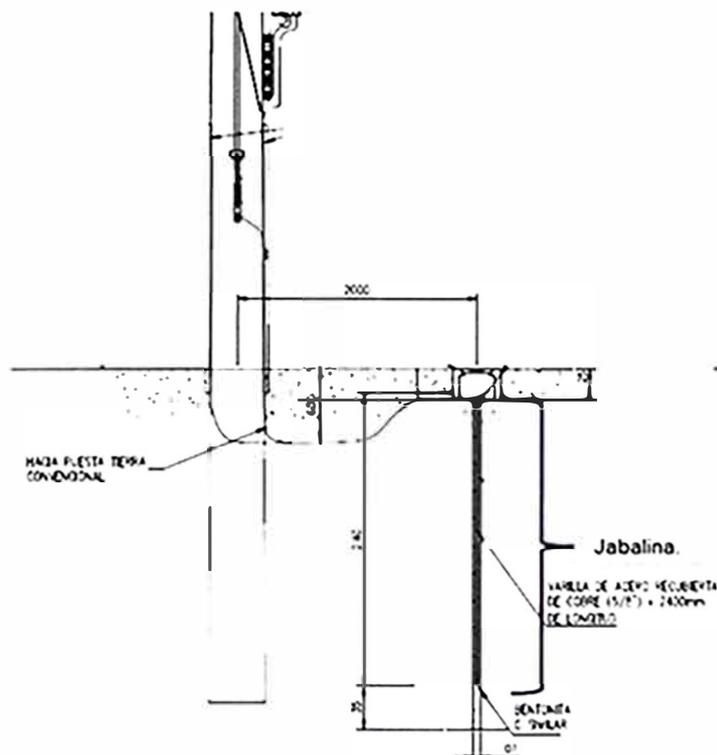


Figura 30: Disposición de la jabalina respecto al poste.

Toda estructura, sea poste o torre, cuenta con un sistema de puesta a tierra, este es horizontal y se le conoce como contra peso. Sin embargo, la jabalina, para el caso del proyecto, fueron instalados en determinados postes que contaban con equipamiento eléctrico, tales como seccionador, recloser y pararrayo. Los dos primeros tienen funciones de desconectar y reconectar el circuito eléctrico

formado por los postes, mientras que el último es un equipo de protección. Estos equipos se conectan a tierra mediante la jabalina.

De acuerdo a la necesidad del diseño eléctrico, se instalaron jabalinas en todas las líneas de postes.

La secuencia de instalación de la jabalina consta de perforación DTH, llenado por gravedad de cemento conductor y colocación del electrodo.

La profundidad de cada perforación para instalar la jabalina fue de 3.0 m. Esto resulta de 2.4 m. de longitud de electrodo, 0.35 m. de base para el electrodo y 0.25 m. para colocación de la caja de registro. Estas longitudes eran estándar para cada jabalina.

Además, se colocaron jabalinas en pequeñas subestaciones de llegada de determinadas líneas.

*Tabla 34: Resumen de las jabalinas instaladas (Elaboración propia).*

Línea	Poste - N° Jabalinas	N° Jabalinas
Línea 1:	L1-1(1); L1-16(2); L1-17(2) y L1-30(1)	6
Línea 2:	L2-1(1); L2-15(1)	2
Línea 3:	L3-1(1); L3-12(1) y L32-1(2)	4
Línea 5:	L5-1(1); L5-17(2); L53-1(1); L53-2(1); L54-2(2) y L55-1A(2)	9
Línea 6:	L6-1(2); L6-16(2) y L6-17(2).	6
Línea 7:	L7-1B(1); L7-1C(1); L7-2(1); L7-19A(1); L7-20(1); L7-20A(1); L7-23A(1); L7-20(1); L7-24A(1).	9
Línea 8:	L8-2(1); L8-3(1); L8-4(1); L8-11A(1); L8-11B(1); L8-11C(1); L8-19(1); L8-20(1); L8-21(1)	9
Línea 11:	L11-3(1), L11-4(1) y L11-5(1).	3
Línea 12:	L12-8(2); L20-2(1); L121-8(2)	5
Línea 13 y 14:	L13-5(1); L15-2(2); L14-6(2)	5
Líneas TS	L17-2(2); L18-3(2); L19-2(1); LR1-3(1) y LR2-2(1)	7
Línea 31:	L31-7(2)	2
Líneas C:	LC1-6(2); LC2-2(2); LC3-1(2); LC4-3(2); LC5-1(2); LC6-3(2); LC7-3(2)	14
S.E. Agua Fresca	Llegada de Línea 11 (5)	5
S.E. Salviani	Llegada de Línea 5, ramal L54 (5)	5
S.E. Polvorín	Llegada de Línea 14 (5)	5

De la Tabla 34, donde se indica el número de jabalinas instaladas en determinada estructura y línea, se tiene que se colocaron ochenta y uno (96) jabalinas, lo que

se traduce en doscientos ochenta y ocho (288) metros de perforación por este concepto.

La eficacia de la jabalina instalada se determina mediante la realización en la medición de su resistencia eléctrica mediante la toma de datos con un telurómetro. Si esta medición está por encima de la requerida según el diseño eléctrico, se realizaba la colocación de uno o dos jabalinas adicionales para que en conjunto entreguen una baja resistencia del sistema de puesta a tierra.

Para cumplir lo anterior en el caso de los postes se realizaba una perforación adicional y se la dejaba sin electrodo ni cemento conductor, la cual sería instalada si así lo determinara el técnico electricista una vez realizada la medición de resistencia con el telurómetro.

En el **Anexo 10** se muestra el registro fotográfico de la ejecución e instalación de jabalinas para puesta a tierra con sistema de perforación DTH-C.

## 7.2 INSTALACIÓN DE ANCLAJES PARA CIMENTACIÓN DE TORRES DE CELOSIA

El área de diseño de obras civiles, aprovechando el hecho de contar con la logística y equipamiento, propuso la instalación de anclajes en roca para la cimentación de determinadas torres, e incluso para algunas cimentaciones de pedestales para el apoyo de estructuras metálicas.

*Tabla 35: Resumen de la cantidad de anclajes instalados (Elaboración propia).*

Línea	Estructura / Torre	Long. (m.)	Cantidad (und.)	Long. Tot. (m.)	Tipo de suelo
LT2-60 kV.	LT2-1	3.6	16	57.6	IV
LT2-60 kV.	LT2-3	3.6	16	57.6	IV
LT2-60 kV.	LT2-5	3.6	16	57.6	IV
L7-22.9kV.	L7-3	3.8	24	86.4	III
	Edificio Administrativo	1.5 - 1.0	12	16	II

En la Tabla 35 se resume la cantidad de trabajo ejecutado de micropilotes / anclajes y que fueron empleados con fines de cimentación. Esto se traduce en ochenta y cuatro (84) elementos instalados, equivalente a doscientos setenta y cinco (275) metros lineales de micropilote / anclajes colocados. Todos estos fueron instalados con sistema de perforación DTH-C.

En el **Anexo 11** se muestra el registro fotográfico de la ejecución e instalación de anclajes para cimentación con sistema de perforación DTH-C.

## CONCLUSIONES

- La técnica de anclajes post-tensados fue aplicada para el sistema de retenidas de un importante proyecto de línea de transmisión con postes. En este proyecto se desarrolló todos los tópicos enunciados tanto en etapa de diseño como en etapa de ejecución con resultados satisfactorios. De modo que se concluye que todo lo abarcado en la presente tesis, cumple los objetivos propuestos.

- Quedó definida la secuencia de diseño de anclajes aplicados como retenida para poste a partir de normas y recomendaciones orientadas al diseño de anclajes para sostenimiento (MVCS, 2018; PTI, 2004; FHWA, 1999 y ABNT, 1996) en conjugación y cumplimiento con los fundamentos mecánicos de retenidas en postes en una línea de transmisión (DGE, 2011 y DGE, 2015). Permitiendo calcular las características del anclaje de LA, LL y LS, tipo de armadura de refuerzo y diseño de la lechada de cemento como medio de fijación. Para el caso de la lechada de cemento se muestra diseños realizados en laboratorio con distintas marcas y tipos de cemento para asegurar la  $R_{MR}$  y estabilidad de mezcla.

- Quedó definida la secuencia de ejecución, abarcando tópicos de importancia como la selección de equipos, sistemas de perforación e inyección, parámetros de perforación y ensayos para verificación y/o validación de los anclajes instalados.

- Como parte importante del diseño del anclaje y para que a nivel operativo se asegure la adecuada conformación del bulbo, se desarrolló diseños de lechada de cemento (a/c) para que puedan ser utilizados como referencia, así como los criterios que deben cumplir estos.

- La secuencia de diseño y ejecución definidos se materializó en la realización de un caso de aplicación de anclajes aplicados para líneas de distribución durante la etapa de construcción del proyecto minero Quellaveco. En este se instalaron un total de 2614.3 metros de anclaje en 474 anclajes con longitudes que varían desde 3.8 m. hasta 7.8 m, con armadura de acero tipo autoperforante Titán 30/11 o equivalente, usando la técnica de perforación DTH-C para la gran mayoría de anclajes.

- El desarrollo de la técnica permitió ampliar su uso para anclajes tipo micropilotes para cimentación de torres de celosía y pedestales, logrando instalar 275.2 metros de anclaje tanto en suelo como en roca; además, se aplicó la

perforación DTH-C para instalación de electrodos tipo "cooper well" para sistema de puesta a tierra para equipamiento eléctrico de postes, instalando un total de 288 metros de jabalina.

- El desarrollo del caso de aplicación real permitió reforzar lo indicado en las secuencias de diseño y ejecución previamente definidas. Además de mostrar situaciones y lecciones aprendidas a tener en consideración frente a situaciones similares.
- Se logra introducir la técnica de anclaje post-tensado como una alternativa válida para su uso como retenida para líneas de transmisión con postes, y en general, para proyectos que requieran contrarrestar esfuerzos de tracción.

## RECOMENDACIONES

- La variable crítica para el diseño de anclajes es el valor de adherencia último  $\tau_{(ult.)}$ , en tal sentido se sugiere la recopilación de información de experiencias en terrenos y condiciones similares, y que estos sean confiables y coherentes. Y si el proyecto lo permite, se sugiere realizar ensayos de arrancamiento según Puelles, J. (2011) para obtención de  $\tau_{(ult.)}$  o en su defecto usar Pull Test según ASTM D4435 (ASTM, 2014) para su validación.

- El tipo de terreno, sea suelo y/o roca, será preponderante al momento de diseñar y ejecutar, ambos van de la mano y se hace hincapié en ello. Tanto diseño y ejecución deben ser compatibles, no se diseña sin considerar la ejecución y no se ejecuta sin considerar al diseño. En tal sentido, se recomienda definir los equipos, metodologías y sistemas de inyección y perforación para proceder a realizar el diseño de anclajes, y si en etapa de ejecución se necesita realizar modificaciones o adaptaciones a los términos operativos, verificar si estos atentan contra los criterios de diseño previamente asumidos.

- Considerar la interacción diseño – ejecución como un proceso ágil, es decir, iterativo e incremental. Esto debido a que el ejecutor debe ir entregando retroalimentación al otro para mejorar o asegurar el cumplimiento del diseño en etapas tempranas y/o cuando se detecta alguna variación en las condiciones reales versus las asumidas, y en contra parte, el diseñador deberá sugerir recomendaciones en consecuencia a la retroalimentación. Y en general, priorizar un ambiente colaborativo entre ambas partes.

- A nivel normativo, contemplar las recomendaciones de diseño y ejecución indicadas en PTI (2004), FHWA (1999) y ABNT (1996), debido a que el Reglamento Nacional de Edificaciones, MVCS (2018) en su apartado para anclajes se basa en estos tres documentos. Además, que en los documentos mencionadas se abarca muchos tópicos referidos a anclajes.

- El caso de aplicación dejó muchas lecciones aprendidas, dentro de las que resalta: a) Para terrenos poco conocidos priorizar la retroalimentación temprana para ajustar algunas variables de diseño y evitar sobre costo por retrabajo y/o desperdicio de material. b) Llevar control estricto de desgaste de herramientas de perforación y contemplar su reposición inmediata y/o stock de contingencia. c) Priorizar el uso de equipos livianos para zonas de montaña. d) Priorizar el aseguramiento de calidad sobre el control de calidad. e) Contar con personal altamente especializado para el desarrollo de la actividad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT (1996). *Execução de Tirantes Acorados no Terreno – NBR5629/1996*. Asociación Brasileira de Normas Técnicas.

ASTM (2001). *Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars - Using 2-in or 50-mm Cube Specimens (ASTM C109)*.

ASTM (2004). *Standard Test Method for Compressive Strength of Grouts for Preplaced – Aggregate Concrete in the Laboratory (ASTM C942)*.

ASTM (2010). *Standard Practice for Proportioning Grout Mixtures for Preplaced – Aggregate Concrete (ASMT D938)*.

ASTM (2011). *Standard Test Method for Marsh Funnel Viscosity of Clay Construction Slurries (ASTM D6910)*.

ASTM (2014). *Standard Test Method for Rock Bolt Anchor Pull Test (ASTM D4435)*.

Atlas Copco (2008). *Overburden Drilling Catalogue*. Atlas Copco Craelius.

Atlas Copco (2009). *Sistema de Symmetrix de perforación con tubería de revestimiento*. Atlas Copco Craelius.

Atlas Copco (2011). *Martillos DTH Terranox – Instrucciones de seguridad y uso*. Atlas Copco Craelius.

Chema (2018). *Hoja Técnica Chema Plast*.

Comacchio S.p.A (2022). *MC Line Foundation Equipment*.

Copemi (2019a). *Criterios de Diseño Electromecánico para Líneas 22.9 kV*.

Copemi (2019b). *Estudio Geológico – Geotécnico Líneas de Distribución 22.9 kV*.

CPSAA (2022a). *Ficha Técnica – Cemento Pacasmayo Extraforte*.

CPSAA (2022b). *Ficha Técnica – Cemento Pacasmayo Fortimax*.

Dirección General de Electricidad – DGE (2011). *Código Nacional de Electricidad (Suministro 2011)*.

Dirección General de Electricidad - DGE (2015). *Bases para el diseño de líneas y redes primarias para electrificación rural.*

Dirección General de Carreteras de España – DGC (2005). *Guía para el proyecto y la ejecución de micropilotes en obras de carreta.*

DSI (2014). *Gama de Productos Geotécnicos DYWIDAG.* DSI Geotechnics.

Fell, R., MacGregor, P., Stapledon, D., Bell, G. y Foster, M. (2015). *Geotechnical Engineering of Dams.* CR Press.

FHWA (1999). *Ground Anchor and Anchored Systems.* U.S Department of Transportation.

Hidalgo, N. (2007). *Tejedores de Luz: Un homenaje a los forjadores de la transmisión eléctrica en el Perú.*

Ingetrol (s.f.). *DTH Ultra Light Rig – Minitroner.*

Ischebeck GmbH (2006). *Micropilotes, anclajes y bulones autoperforantes Titán.*

Italswiss (s.f.). *Furetto Mixer – User and maintenance manual.*

Leoni, A. y Facondini, C. (2006). *Ensayos de anclajes inyectados autoperforantes, contruidos con barras tipo Ischebeck 40/16, para la LA L.E.A.T. de 500 kV Gran Mendoza – San Juan, Argentina.*

Leyva, D. (2016). *Remodelación y ampliación de la electrificación en los centros poblados de Cochalan y Ancash del distrito de San Jose del Alto de la provincia de Jaén, departamento de Cajamarca [Trabajo de suficiencia profesional].* Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

López, C., López, E. y Garcia, P. (2017). *Manual de Perforación, Explosivos y Voladuras – Minería y Obras Públicas.* Graficas Arias Comunicación.

Mapei (2018). *CABLEJET: Plasticizing and expanding agent for preparing shrinkage-free, highly-fluid pumpable slurries for injection.*

MVCS (2018). *E.050 Suelos y Cimentaciones.* Reglamento Nacional de Edificaciones.

Neyra, A. (2018). *Diseño de una línea de transmisión de 13.2 kV a la subestación Punta Arenas – Refinería Talara* [Trabajo de suficiencia profesional]. Universidad Nacional del Callao.

Numa (2017). *Technical Manual*. Numa.

PTI (2004). *Recommendations for Prestressed Rock and Soil Anchors*. Post-tensioning Intitute.

Puelles, J. (2011). *Determinación de la Capacidad de Adherencia con Fines de Diseño Optimizado de Anclajes en Suelo* [Tesis de Maestría]. Universidad Nacional de Ingeniería.

Robit Plc (2019). *Robit DTH Product Catalogue*.

Sandvik (2018). *Down The Hole – Rock Drilling Tools*. Sandvik.

Sosa, E. y Vilchez, R. (2017). *Optimización del diseño de anclajes post-tensados aplicados a la ejecución de muros anclados en el proyecto Centro Comercial Plaza Surco* [Tesis de grado]. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

Suárez, J. (2009). *Deslizamientos – Técnicas de Remediación*. Instituto de Investigaciones Sobre Erosión y Deslizamientos.

UNE (1996). *Norma española UNE-EN 445 - Lechadas para tendones de pretensado – Métodos de ensayo*. Asociación Española de Normalización y Certificación.

Unacem (2022a). *Ficha Técnica – Cemento Andino Tipo HS*.

Unacem (2022b). *Ficha Técnica – Cemento APU Tipo GU*.

Unacem (2022c). *Ficha Técnica – Cemento Sol Tipo I*.

Viettel (2019). *Sistema de utilización en media tensión en 19.1 kV, monofásico, para la EBC HUN0115 Yuyapichis de Viettel Perú S.A.C.*

Yura (2021a). *Ficha Técnica – Cemento Yura Tipo HE*.

Yura (2021b). *Ficha Técnica – Cemento Yura Tipo IP*.

# ANEXOS

**TABLA PARA OBTENCION DEL FACTOR DE CORRECCION DE CAUDAL DEL COMPRESOR (F<sub>cq</sub>)**

Fuente: Numa (2017).

Altitud		0	1,000	2,000	3,000	4,000	5,000	6,000	7,000	8,000	9,000	10,000	11,000	12,000	13,000	14,000	15,000
Pies																	
Metros		0	305	610	914	1,219	1,524	1,829	2,134	2,438	2,743	3,048	3,353	3,658	3,962	4,267	4,572
Temperatura																	
°F	°C																
-40	-40	0.805	0.835	0.866	0.9	0.932	0.968	1.004	1.048	1.084	1.127	1.17	1.217	1.266	1.317	1.371	1.426
-30	-34	0.824	0.855	0.889	0.92	0.954	0.991	1.028	1.068	1.11	1.154	1.198	1.246	1.297	1.349	1.403	1.46
-20	-29	0.844	0.875	0.907	0.94	0.976	1.014	1.052	1.092	1.136	1.18	1.226	1.275	1.327	1.38	1.436	1.494
-10	-23	0.863	0.895	0.928	0.96	0.999	1.037	1.076	1.117	1.161	1.207	1.254	1.304	1.357	1.411	1.469	1.528
0	-18	0.882	0.915	0.948	0.98	1.021	1.06	1.1	1.142	1.187	1.234	1.282	1.333	1.387	1.443	1.501	1.562
10	-12	0.901	0.935	0.969	1.01	1.043	1.083	1.123	1.167	1.213	1.261	1.31	1.362	1.417	1.474	1.534	1.596
20	-7	0.92	0.954	0.99	1.03	1.065	1.106	1.147	1.192	1.239	1.288	1.338	1.391	1.447	1.506	1.566	1.63
30	-1	0.939	0.974	1.01	1.05	1.087	1.129	1.171	1.217	1.265	1.315	1.365	1.42	1.478	1.537	1.599	1.664
40	4	0.959	0.994	1.031	1.07	1.11	1.152	1.195	1.241	1.29	1.341	1.393	1.449	1.508	1.568	1.632	1.698
50	10	0.978	1.014	1.051	1.09	1.132	1.175	1.219	1.299	1.316	1.368	1.421	1.478	1.538	1.6	1.664	1.732
60	16	0.997	1.034	1.072	1.11	1.154	1.198	1.243	1.291	1.342	1.395	1.449	1.507	1.568	1.631	1.697	1.766
70	21	1.016	1.054	1.093	1.13	1.176	1.221	1.267	1.316	1.368	1.422	1.477	1.536	1.598	1.662	1.73	1.8
80	27	1.035	1.074	1.113	1.16	1.198	1.244	1.291	1.341	1.394	1.449	1.505	1.565	1.628	1.694	1.762	1.834
90	32	1.055	1.094	1.134	1.18	1.221	1.267	1.315	1.365	1.419	1.475	1.533	1.594	1.658	1.725	1.795	1.868
100	38	1.074	1.114	1.154	1.2	1.243	1.29	1.339	1.39	1.445	1.502	1.56	1.623	1.689	1.756	1.828	1.902
110	43	1.093	1.133	1.175	1.22	1.265	1.313	1.363	1.415	1.471	1.529	1.588	1.652	1.719	1.783	1.86	1.936
120	49	1.112	1.153	1.196	1.24	1.287	1.336	1.336	1.44	1.497	1.556	1.616	1.681	1.749	1.819	1.893	1.97

**GRÁFICOS DE RESULTADOS  $f_c$  Y REGISTRO FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS DE LABORATORIO.**

Gráficos  $f_c$  vs. edad y evidencia de los ensayos realizados para diseño de lechada de cemento.

**Andino Tipo HS / AN-HS**

Gráfico de  $f_c$  vs tiempo de los diseños de lechada con cemento con Andino Tipo HS.

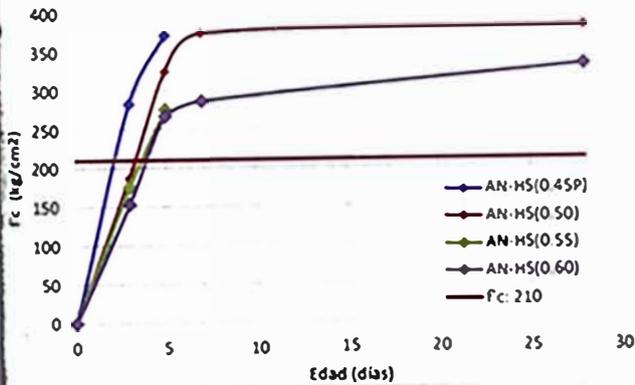
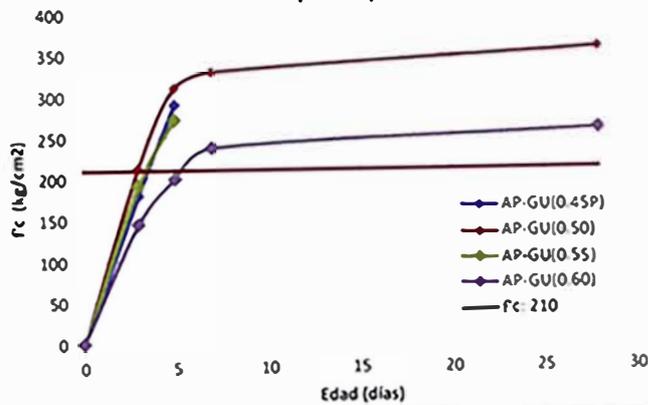


Gráfico de  $f_c$  vs tiempo de los diseños de lechada con cemento APU Tipo GU.

**APU Tipo GU / AP-GU**



**Sol Tipo I / SO-TI**

Gráfico de  $f_c$  vs tiempo de los diseños de lechada con cemento con Sol Tipo I.

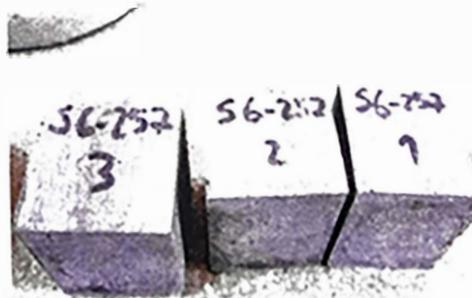
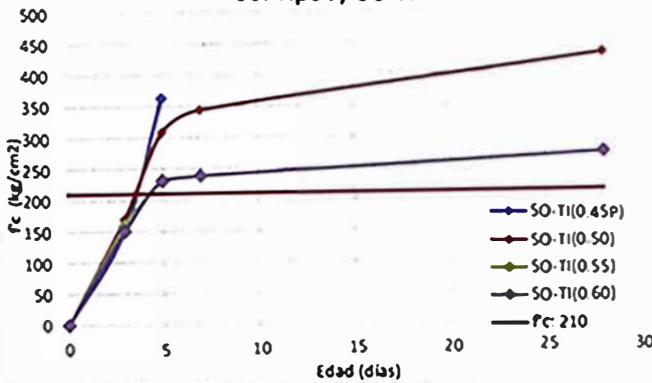
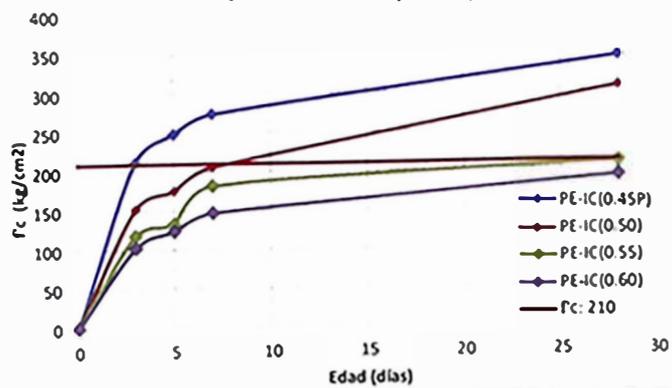


Gráfico de  $f_c$  vs tiempo de los diseños de lechada con cemento Pacasmayo Extraforte Tipo ICo.

**Pacasmayo Extraforte Tipo ICo / PE-IC**



**GRÁFICOS DE RESULTADOS  $f_c$  Y REGISTRO FOTOGRÁFICO DE ENSAYOS DE LABORATORIO.**

Gráficos  $f_c$  vs. edad y evidencia de los ensayos realizados para diseño de lechada de cemento.

**Pacasmayo Fortimax Tipo MS / PF-MS**

Gráfico de  $f_c$  vs tiempo de los diseños de lechada con cemento con Pacasmayo Fortimax Tipo MS.

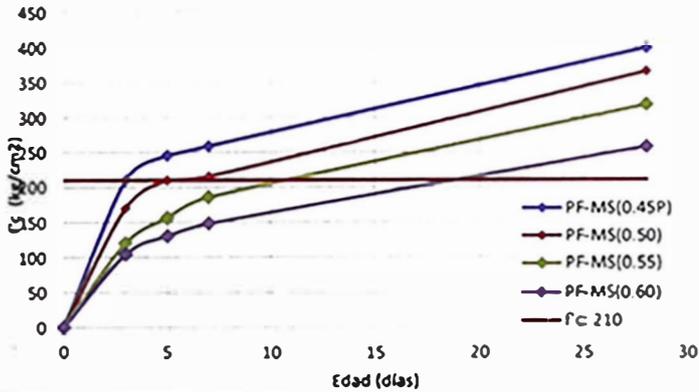
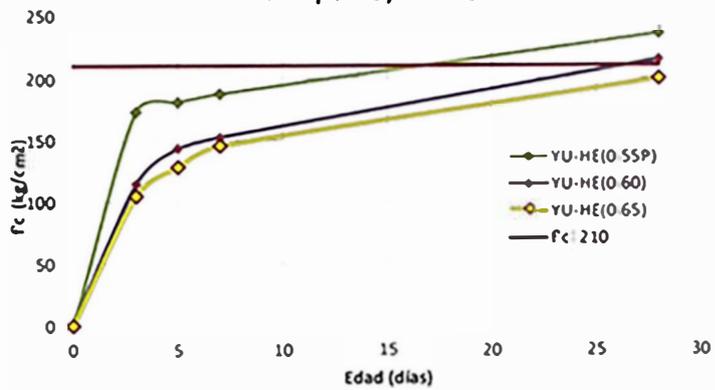


Gráfico de  $f_c$  vs tiempo de los diseños de lechada con cemento Yura Tipo HE.

**Yura Tipo HE / YU-HE**



**Imagen:** Equipo de batido y ensayo de densidad húmeda.  
**Descripción:** Preparación de la lechada según ASTM C938 (ASTM, 2010) y densidad según ASTM C108 (ASTM, 2017).



**Imagen:** Probeta graduada y cono Marsh.  
**Descripción:** Obtención de %H según ASTM C940 (ASTM, 2009) y fluidez según ASTM D6910 (ASTM, 2011).



**Imagen:** Moldeo de lechada y poza de curado.  
**Descripción:** El moldeo en cubos de 2" y el curado en agua con cal según recomendaciones de laboratorio.



**Imagen:** Ensayo a compresión simple.  
**Descripción:** Realizado mediante ASTM C109 (ASTM, 2001).



## REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA ETAPA 1 DE LA EJECUCIÓN DEL CASO REAL

## Etapa 1 de ejecución.

<p><b>Imagen:</b> Arranque del proyecto</p> <p><b>Descripción:</b> Se inician los trabajos con sistema de anclaje autopercutor. El equipo perforador fue montado con cabezal drifter BBC 120F.</p> 	<p><b>Imagen:</b> Uso de dos compresores.</p> <p><b>Descripción:</b> La necesidad de energía para el equipo perforador e inyector sugiere la necesidad de contar con dos (02) compresores Atlas Copco XAS 300 DD7.</p> 
<p><b>Imagen:</b> Equipo Inyector Furetto.</p> <p><b>Descripción:</b> Este requiere de un compresor independiente para poder impulsar la mezcla. Debido a ello se abre la opción de realizar las perforaciones con sistema DTH-C.</p> 	<p><b>Estado:</b> Cambio de sistema a DTH-C.</p> <p><b>Descripción:</b> Aplicar la perforación DTH-C sugiere mejorar el Rp, pero es necesario destinar ciclos de barrido para evacuar el material derrumbado dentro del taladro.</p> 
<p><b>Imagen:</b> Re perforación para limpieza de taladro.</p> <p><b>Descripción:</b> Es necesario re-perforar el taladro para asegurar la limpieza del hoyo previo a la colocación de la barra de acero.</p> 	<p><b>Imagen:</b> Derrumbamiento e inestabilidad del taladro.</p> <p><b>Descripción:</b> Véase en la imagen el incremento significativo del diámetro de hoyo generado con DTH C pero también el derrumbe en terrenos inestables.</p> 
<p><b>Imagen:</b> Barras Titan 30/11.</p> <p><b>Descripción:</b> Para colocar las barras dentro del hoyo generado con DTH-C, se aprovecha su ojo hueco por donde se inyecta aire comprimido para limpieza del taladro.</p> 	<p><b>Imagen:</b> Colocación de barras.</p> <p><b>Descripción:</b> Colocar la barra con la ayuda del barrido por aire comprimido instalar anclajes en terrenos moderadamente inestables al derrumbe.</p> 

**REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA ETAPA 2 DE LA EJECUCIÓN DEL CASO REAL**

Etapa 2 de ejecución.

**Estado:** Situación 1: Aire insuficiente para bardo  
**Descripción:** El compresor XAVS 300 DD7 seleccionado inicialmente resultaba insuficiente para salir de situaciones de derrumbe agresivo en el taladro.



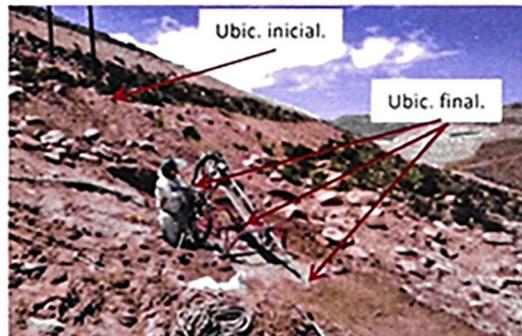
**Estado:** Situación 1: Aire insuficiente para bardo  
**Descripción:** Se equipa con un compresor XAS 400 mayor capacidad para salvar situaciones con riesgo de atrapamiento de línea de perforación.



**Estado:** Situación 2: Reubicación de los anclajes.  
**Descripción:** Se muestra la ubicación la ubicación de los anclajes con el ángulo vertical de 40° en el bi poste L6 4.



**Estado:** Situación 2: Reubicación de los anclajes.  
**Descripción:** Se incrementa el ángulo vertical convenientemente para que los anclajes se ubiquen en una zona explanada.



**Estado:** Situación 3: Terrenos inestables a la perforación DTH-C.  
**Descripción:** Perforación DTH-C en situaciones de derrumbamiento agresivo en suelos sueltos e incluso relleno. Imagen en el poste L13-5.



**Estado:** Situación 3: Terrenos inestables a la perforación DTH-C.  
**Descripción:** Se controló creando una capa de cemento como fuste mediante inyección por gravedad por la boca del taladro mientras se iba perforando.



**Estado:** Situación 4: Postes con accesibilidad limitada.  
**Descripción:** Accesibilidad limitada para el transporte del equipo hasta la zona de perforación. Para se tuvo que demontar el equipo para su traslado.



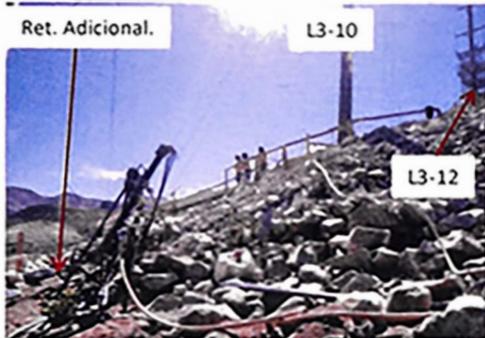
**Estado:** Situación 4: Postes con accesibilidad limitada.  
**Descripción:** En la imagen se ve el ensamblado del equipo perforador en la zona de perforación. Véase la dificultad de acceso en el poste L121-7.



**REGISTRO FOTOGRÁFICO DE LA ETAPA 3 DE LA EJECUCIÓN DEL CASO REAL**

Etapa 3 de ejecución.

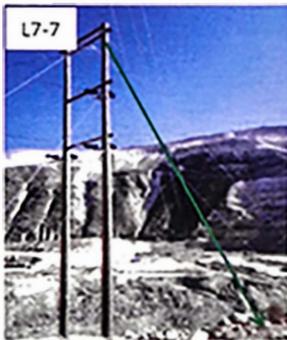
**Estructura:** L3-10  
**Descripción:** Se muestra la disposición del anclaje adicional en el poste L3-10 para compensar el vano aparentemente flojo hacia L3-12



**Estructura:** L3-12  
**Descripción:** Se muestra la disposición del anclaje adicional en el poste L3-12 para compensar el vano aparentemente flojo hacia L3-10



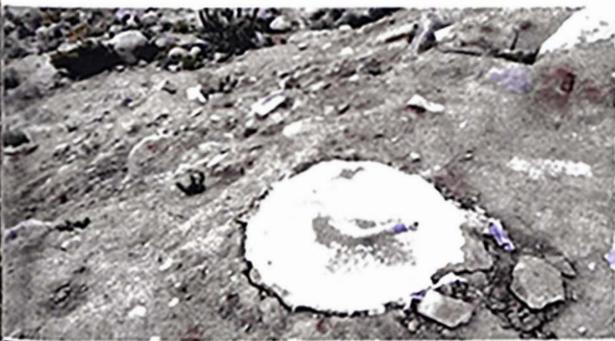
**Estructura:** L7-7  
**Descripción:** El vano delantero de esta estructura es mayor a 600 m. Se requiere refuerzo con una retenida adicional en la bisectriz según la flecha verde de la imagen



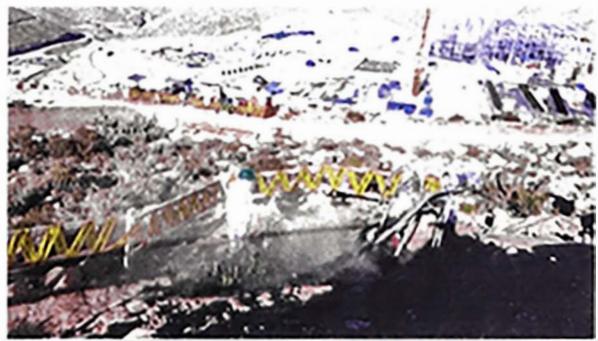
**Estructura:** L7-7  
**Descripción:** Perforación para instalación de anclaje adicional en la bisectriz externa para vorticalizar correctamente el poste.



**Estructura:** L6-8  
**Descripción:** El anclaje que se muestra fue instalado en rollo no no controlado. Se detectó que frente a la mínima aplicación de fuerza el anclaje se movía sin otorgar garantías.



**Estructura:** L6-8  
**Descripción:** El anclaje tuvo que ser reemplazado por otro instalado en terreno más competente



**Estructura:** L11-4  
**Descripción:** En la imagen se muestra la perforación del anclaje cuando la faja overlaid estaba iniciando su construcción y el poste aun era inexistente

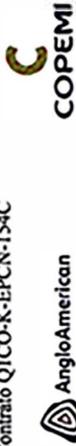


**Estructura:** L11-4  
**Descripción:** Cuando el poste se instaló y se dispuso a colocar la retenida se detectó que el anclaje estaba cubierto por rollo no o fue removido por lo que necesitó ser reemplazado



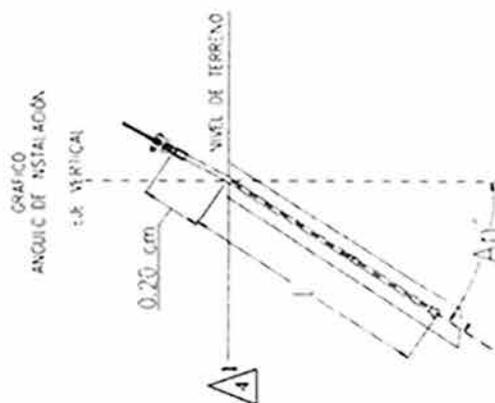
**ANEXO 6:**

**PLANILLAS DE LOS ANCLAJES, SEGÚN LÍNEA Y ESTRUCTURA.**



PLANILLA DE INSTALACION DE RETENIDAS CON ANCLAJES AUTOPERFORANTES - LINEA S210-1LA-001

ID	N° DE ESTRUCTURA	TIPO DE ANCLAJE	COORDENADAS UTM		VERTICE	CANTIDAD DE ANCLAJES	TIPO DE SUELO/ROCA (R.B.P.M)		ANCLAJE AUTOPERFORANTE (VER GRAFICO)		OBSERVACIONES	
			EASTE	NORTE			ESTRUC TURA	RETENIDA	LONGITUD DE INSTALACION (m)	ANGULO DE INSTALACION RESPECTO A LA VERTICAL (gr)		CARGA DE TRABAJO Pn (Ton)
1	L1-1	PTT	322645.95	8105425.40	V1-00	0	0	0	0	0	0	0
2	L1-4	PA1	322810.49	8105431.72	V1-03	6	0	0	0	39	Ver Anexo	6.50
3	L1-5	PA3	322927.99	8105384.43	V1-04	6	0	0	0	39	Ver Anexo	6.50
4	L1-6	PA1	322976.57	8105452.53	V1-05	6	0	0	0	39	Ver Anexo	6.50
5	L1-7	TA-6	322973.02	8105334.73	V1-07	0	0	0	0	0	Ver Anexo	6.50
6	L1-8	PA1	322970.17	8105600.67	V1-08	6	0	0	0	39	Ver Anexo	6.50
7	L1-9	PK	323076.65	8105700.09	V1-09	0	0	0	0	0		
8	L1-10	AI-6	323194.03	8105809.70	V1-11	0	0	0	0	0		
9	L1-11	AI-6	323653.97	8106229.70	V1-12	0	0	0	0	0		
10	L1-12	AI-0	324219.17	8106719.99	V1-13	0	0	0	0	0		
11	L1-13	AI-6	324909.95	8106830.95	V1-14	0	0	0	0	0		
12	L1-14	T1-3	324711.42	8107204.78	V1-15A	0	0	0	0	0		
13	L1-15	MTT	324803.10	8107200.53	V1-15B	4	0	0	0	30	40°	6.50
14	L1-16	MTT	324877.54	8107271.25	V1-16C	4	0	0	0	30	40°	6.50
15	L1-17	PA1	324878.64	8107349.64	V1-16	6	0	0	0	30	40°	6.50
16	L1-18	PK	324938.55	8107453.03	V1-17	0	0	0	0	0		
17	L1-19	TA-6	325040.70	8107629.13	V1-17	0	0	0	0	0		
18	L1-21	T1-6	325103.54	8107373.52	V1-21	0	0	0	0	0		
19	L1-22	AI-0	325609.56	8108143.19	V1-21	0	0	0	0	0		
20	L1-23	T1-3	325681.60	8108406.84	V1-23C	0	0	0	0	0		
21	L1-24	PA3	325777.95	8108423.00	V1-24	2	0	0	0	38	40°	Pn=3.38
22	L1-25	PA1	325815.93	8108429.33	V1-25	2	0	0	0	38	40°	Pn=2.76
23	L1-26	PA3	326024.11	8108514.31	V1-26	2	0	0	0	38	40°	Pn=3.38
24	L1-27	PA3	326087.33	8108618.05	V1-27A	2	0	0	0	38	40°	Pn=3.38
25	L1-28	PA3	326109	8108617	V1-28	2	0	0	0	63	40°	TIPO E40 EN SIECTRAZ
26	L1-29	PA1	326115.72	8108620.28	V1-29	2	0	0	0	38	40°	TIPO E40 PARA DERIVACION
27	L1-29A	PA1	326134.50	8108696.73	V1-29	2	0	0	0	38	40°	RETENIDA TIPO G40
28	L1-30	PT	326442	8108773	V1-30	2	0	0	0	38	40°	RETENIDA TIPO G40 EN SIECTRAZ
						2	0	0	0	38	40°	RETENIDA TIPO G40 PARA DERIVACION
						2	0	0	0	38	40°	RETENIDA TIPO P40



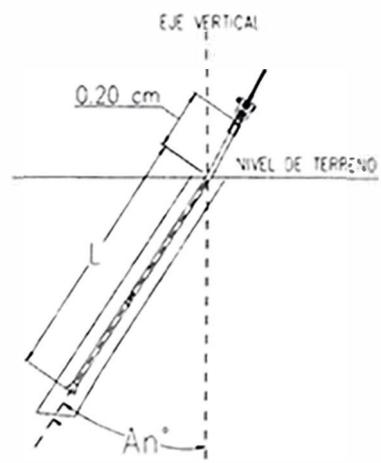


PLANILLA DE INSTALACION DE RETENIDAS CON ANCLAJES AUTOPERFORANTES - LINEA S210-LA-002

ITEM	N DE ESTRUCTURA	TIPO DE ARMA DO	COORDENADAS UTM			VERTICE	CANTIDAD DE CABLES	CANTIDAD DE ANCLAJES	TIPO DE SUBLOTTICA (R B M)			ANCLAJE AUTOPERFORANTE (VER GRAFICO)				OBSERVACIONES
			PSAD 56		VANO ADELANT E				RETENIDA			LONGITUD DE INSTALACION MINIMA (m)		ANGULO DE INSTALACION RESPECTO A LA VERTICAL (An)	CARGA DE TRABAJO Pn (Tons)	
			ESTE	NORTE					ESTRUC TURA	ANCLAJES	ANCLAJES	POR RETENIDA (L)	TOTAL POR ESTRUCTUR A			
1	L2-1	PTI	322647.02	8105429.27	185.61	V2-00	0	0	I							
2	L2-4	PA1	322831.92	8105445.54	102.47	V2-03	6	1	I	I	I	6.5	39	40	6.50	
3	L2-5	PA3	322326.88	8105407.04	65.77	V2-04	6	1	I	I	I	6.5	39	32	6.50	
4	L2-6	PA1	322365.92	8105459.97	144.70	V2-05	6	1	I	I	I	6.5	39	40	6.50	
5	L2-7	PA1	322362.03	8105604.62	102.63	V2-06	6	1	I	I	I	6.5	39	40	6.50	
6	L2-8	PR	323034.01	8105677.77	55.61	V2-07	2	1	I	I	I	4.8	9.6	40	5.00	
7	L2-9	PS	323074.26	8105716.15	152.65				I							
8	L2-10	A1-6	323184.74	8105821.43	602.29	V2-09	0	0	II							
9	L2-12	A1-3	323623.12	8106234.49	140.29		0	0	II							
10	L2-13	PS	323725.24	8106130.68	110.52				II							
11	L2-14	PA1	323805.70	8106406.47	172.10	V2-3A	6	6	I	I	I	6.8	28.8	40	6.00	TIPO B40 EN DISECTALZ
12	L2-15	PT	323893.84	8106554.28		V2-11	3	3	II	II		3.8	11.4	SUP 63 S MED 66 ING 68.7	5.00	

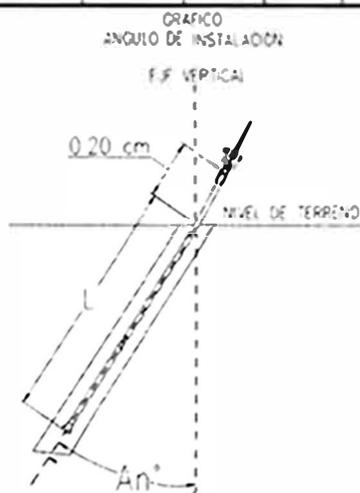


GRAFICO  
 ANGULO DE INSTALACION



**PLANILLA DE INSTALACION DE RETENIDAS CON ANCLAJES AUTOPERFORANTES - LINEA 5210-LA-003 / 5210-LA-031**

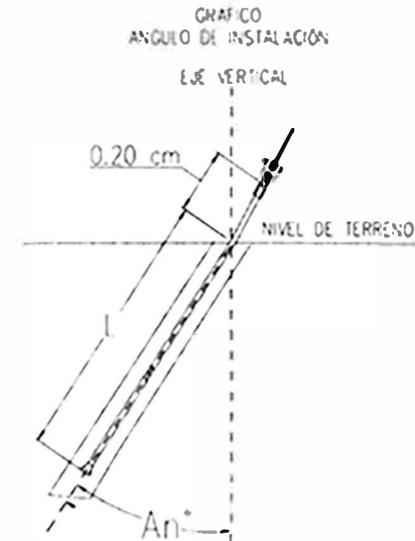
ITEM	N DE ESTRUCTURA	TIPO DE ARMADO	COORDENADAS UTM		VANO ADELANTE	VERTICE	CANTIDAD RETENIDAS POR CABLE	CANTIDAD RETENIDAS ANCLADAS	TIPO DE SUELO/ROCA (B, B y M)			ANCLAJE AUTOPERFORANTE (VER GRAFICO)			OBSERVACIONES	
			PSAD 56						RETENIDA			ANCLAJE AUTOPERFORANTE (VER GRAFICO)				
			ESTE	NORTE					ESTRUC TURA	ATRAS	ADELANTE	LONGITUD DE INSTALACION MAXIMA (m)		ANGULO DE INSTALACION RESPECTO A LA VERTICAL (An)		CARGA DE TRABAJO Pv (Ton)
m	m	m			POR RETENIDA (L)	TOTAL POR ESTRUCTURA										
<b>LINEA 5210-LA-003</b>																
1	L3-1	PT	322471.79	8105352.58	206.95	V3-01A	3	3	III		III	4.8	14.4	40°	4.00	
2	L3-3	PAJ	322383.98	8105205.15	70.14	V3-02	3	3	II	II	II	4.8	14.4	40°	4.00	RETENIDAS EN BISECTRIZ PLANO NQ13-189-DR-5210-EE4349
3	L3-4	PAJ	322350.81	8105143.38	44.70	V3-04	4	2	II	II	II	6.8	13.6	40°	5.50	RETENIDA TIPO B40
4	L3-5	HR	322306.15	8105145.24	408.59		4	2	II	II	II	6.8	13.6	40°	4.00	2 RETENIDAS POR ANCLA
5	L3-6	HR	321897.91	8105162.26	137.99		4	2	II	II	II	6.8	13.6	40°	4.00	2 RETENIDAS POR ANCLA
6	L3-7	PA1	321760.03	8105168.00	129.51	V3-05	4	2	II	II	II	6.8	13.6	40°	5.50	RETENIDA TIPO B40
7	L3-9	PAJ-1	321659.10	8105249.16	66.42	V3-06	2	2	II	II	II	3.8	7.6	40°	Pv= 3.2	RETENIDA TIPO G40
							4	2	II	II	II	6.8	13.6	40°	Pv= 6.4	
8	L3-10	PR	321698.22	8105302.83	118.32				II							SIN RETENIDA
9	L3-11	PT	321767.90	8105358.45	0.00	V3-07	4	4	II		II	5.8	23.2	40°	4.50	
<b>LINEA 5210-LA-031</b>																
	L3-3	PA1	322383.99	8105205.20	35.45		3	3								VER LINEA 5210-LA-003
	L3-1	SAB	322348.56	8105206.32			2	1	II		II	5.8	5.8	40°	4.80	2 RETENIDAS POR ANCLA





PLANILLA DE INSTALACION DE RETENIDAS CON ANCLAJES AUTOPERFORANTES - I.LINEA 5210-LA-005 Y I.LINEAS 5210-LA-052/053/054/055

ITEM	N DE EPMPLA TURA	TIPO DE APARTE DO	COORDENADAS (UTM)		VANO ACCLANT E	VERTICE	ELEVACION DEL PUNTO DE REFERENCIA	CANTIDAD DE RETENIDAS	TIPO DE SUELO/ROCA (L.B.M)			ANCLAJE AUTOPERFORANTE (VER GRAFICO)				OBSERVACIONES
			PLAZA						ESTRUC TURAL	TIPO	PARTI	LONGITUDES DE INSTALACION (M)		ANGULO DE INSTALACION RESPECTO A LA VERTICAL (A°)	CARGA DE TRABAJO Pu (Tn)	
			ESTE	NORTE								FOR RETENIDA (L)	FORAL FOR (TRACTIVA A)			
1	L5-1	P15	322641.32	8102413.26	20.80	V5-01									EN RETENIDA	
2	L5-2	PA18	322646.38	8102330.09	43.87	V5-02	3	3	1	1		4.8	14.4	40	4.50	RETENIDA TIPO A (RETENIDAS ATRAS)
3	L5-3	PA13	322632.73	8102345.11	32.60	V5-04										
4	L5-4	MA1	322630.24	8102302.52	172.88	V5-05	2	2	1	1	1	3.8	7.6	40	Pu= 3.2	RETENIDA TIPO H
							4	2	1	1	1	6.8	13.6	40	Pu= 6.4	
5	L5-5	PA1	322498.62	8104735.44	305.42	V5-5A	1	1	1	1	1	3.8	3.8	60	Pu= 3.2	RETENIDA TIPO G EN BISECTRIZ
							2	1	1	1	1	5.8	5.8	60	Pu= 5.4	
6	L5-6	PS	322232.56	8104771.01	153.07											
7	L5-7	PR	322038.76	8104628.66	128.74	V5-5B										
8	L5-8	PS	322038.80	8104629.56	145.68											
9	L5-9	TA-3	321884.57	8104553.64	170.37											
10	L5-3A	TA-3	321770.38	8104496.12	64.56											
							2	2				5.8	11.6	60	5.00	VER PLANO EN REFERENCIA MOTI-189-CR-5210-EE-4351
							2	2	1			5.8	11.6	60	5.00	
12	L5-11	PA1	321429.04	8104408.19	175.05	V5-3A	1	1	1	1	1	3.8	3.8	60	Pu= 3.2	RETENIDA TIPO G EN BISECTRIZ
							2	1	1	1	1	5.8	5.8	60	Pu= 5.4	
13	L5-12	PR	321313.90	8104407.71	232.46											
14	L5-13	PA1-0	321081.53	8104405.76	182.72	V5-10										VER PLANO EN REFERENCIA MOTI-189-CR-5210-EE-4351
							2	1	1	1	1	5.8	5.8	40	Pu= 5.4	
15	L5-15	PA1	320303.93	8104363.81	137.70	V5-12	1	1	1	1	1	3.8	3.8	60	Pu= 3.2	RETENIDA TIPO G EN BISECTRIZ
							2	1	1	1	1	5.8	5.8	60	Pu= 5.4	
16	L5-14	PR	320787.42	8104290.63	149.71											
17	L5-16	PA1	320660.74	8104270.85	63.65	V5-12A	2	2	1	1	1	5.8	7.6	40	Pu= 3.2	RETENIDA TIPO G40
							4	2	1	1	1	6.8	13.6	40	Pu= 6.4	
18	L5-17	SAB	320654.83	8104117.27	0.00	V5-12B	2	2	1	1	1	4.8	9.6	35	3.80	
<b>LÍNEA 5210-LA-052</b>																
1	L5-10	PA1	321715.33	8104462.50	90.93	V5-06	1	1	1	1	1	5.8	5.8	40.0	5.00	VER PLANO EN REFERENCIA MOTI-189-CR-5210-EE-4351
2	L52-1	PS	321738.09	8104429.39	163.08											
3	L53-1	PA2	321043.63	8104355.80	0.00		1	1	1	1	1	5.8	5.8	40	5.00	VER PLANO EN REFERENCIA MOTI-189-CR-5210-EE-4352
<b>LÍNEA 5210-LA-053</b>																
1	L53-1	PA2	321043.63	8104355.80	252.10	V5-08	3	3	1	1	1	3.8	11.4	40	3.50	VER PLANO EN REFERENCIA MOTI-189-CR-5210-EE-4352
2	L53-2	MT	321700.05	8104290.45	00.00	V5-07	2	2	1	1	1	4.8	9.6	40	3.50	
<b>LÍNEA 5210-LA-054</b>																
1	L53-1	PA1	321043.63	8104355.80	215.53	V5-08	3	3	1	1	1	3.8	11.4	40	3.50	VER PLANO EN REFERENCIA MOTI-189-CR-5210-EE-4352
2	L54-2	MT	322084.05	8104192.26	0.00	V5-07	2	2	1	1	1	4.8	9.6	40	3.50	
<b>LÍNEA 5210-LA-055</b>																
1	L5-13	PA1	321081.54	8104406.75	32.44	V5-10	1	1	1	1	1	3.8	3.8	40	Pu= 3.2	RETENIDA TIPO G EN BISECTRIZ
							2	1	1	1	1	5.8	5.8	40	Pu= 5.4	VER PLANO EN REFERENCIA MOTI-189-CR-5210-EE-4351
2	L55-1A	PA1	321710.61	8104392.36	8.34	V5-11A	2	1	1	1	1	6.8	6.8	20	6.50	RETENIDA TIPO I20
3	L55-1	SAB	321711.72	8104394.09	0.00	V5-11										





COPEMI

A - PROCEED FLUOR.

Autenticado por el sistema de control de cambios de Fluor. No se permite la modificación de los datos de este documento.  
 By: Roberto, Domingo del 19, 2020

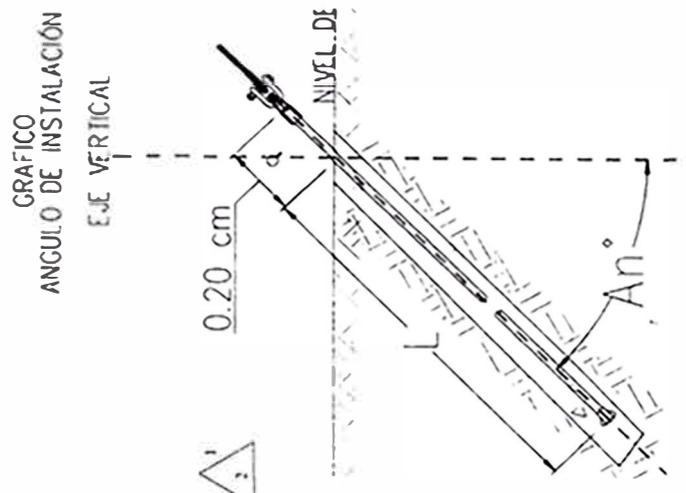
PLANILLA DE INSTALACION DE RETENIDAS CON ANCLAJES AUTOPERFORANTES - LINEA 2030-LA-001

ITEM	N° DE IDENTIFICACION	COORDENADAS UTM		VANO (M)	SEÑAL	CANTIDAD DE ANCLAJES	TIPO DE ANCLAJE (M x D)		ANCLAJES AUTOPERFORANTES (M x D)		OBSERVACIONES
		ESTE	NORTE				RETENIDA	ANCLAJE	TIPO DE ANCLAJE	ANCLAJE	
1	16-1A	322643.79	8105419.78	191.10	V6-03	0	II				
2	16-1B	322643.79	8105419.78	191.10	V6-03	32	II				
3	16-3	322932.43	8105379.97	44.13	V6-04	10	II				
4	16-6	322962.21	8105412.54	42.00	V6-05	10	II				
5	16-7	322962.21	8105412.54	42.00	V6-05	10	II				
6	16-8	322962.21	8105412.54	42.00	V6-05	10	II				
7	16-9	322962.21	8105412.54	42.00	V6-05	10	II				
8	16-10	322962.21	8105412.54	42.00	V6-05	10	II				
9	16-11	322962.21	8105412.54	42.00	V6-05	10	II				
10	16-12	322962.21	8105412.54	42.00	V6-05	10	II				
11	16-13	322962.21	8105412.54	42.00	V6-05	10	II				
12	16-14	322962.21	8105412.54	42.00	V6-05	10	II				
13	16-15	322962.21	8105412.54	42.00	V6-05	10	II				
14	16-16	322962.21	8105412.54	42.00	V6-05	10	II				
15	16-17	322962.21	8105412.54	42.00	V6-05	10	II				
16	16-18	322962.21	8105412.54	42.00	V6-05	10	II				
17	16-19	322962.21	8105412.54	42.00	V6-05	10	II				
18	16-20	322962.21	8105412.54	42.00	V6-05	10	II				
19	16-22	322962.21	8105412.54	42.00	V6-05	10	II				
20	16-23	322962.21	8105412.54	42.00	V6-05	10	II				
21	16-24	322962.21	8105412.54	42.00	V6-05	10	II				

Modificación de acuerdo a plano MQ13-184-DR-5310-EE-4365-AB-RL1

Miguel Angel Lopez Lopez  
 11/12/20 de 10:11 AM

COPEMI CONSTRUCTORES  
 INC. BENJAMIN ORTEGA  
 INGENIEROS EN GEOTECNICA



15/10/20

COPEMI CONSTRUCTORES  
 INC. BENJAMIN ORTEGA  
 INGENIEROS EN GEOTECNICA



COPEMI

FLUOR.

A - PROCEED

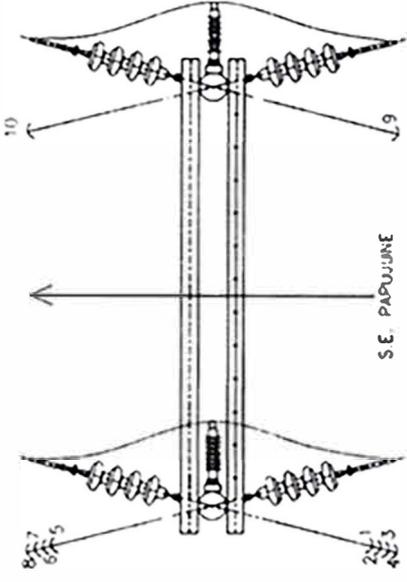
Authorization is granted does not release Contractor/Supplier of its responsibility of safety under the Contract and for Purchase Order  
 By Roberto Ovalando at Nov 19, 2020

PLANILLA DE INSTALACION DE RETENIDAS CON ANCLAJES AUTOPERFORANTES - LINEA 2030-LA-001

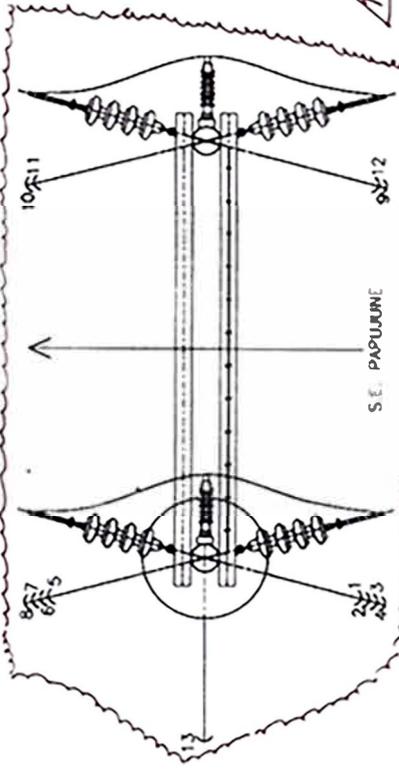
ITEM	N° DE ESTRUCTURA	TIPO DE ARMADURA	CANTIDAD/RETENIDA		ANCLAJE AUTOPERFORANTE (ANCLAJE)			OBSERVACIONES
			RETENIDA	OTRAS	LONGITUD DE INSTALACION (MUNDA)	ANGULO DE INSTALACION RESPECTO A LA VERTICAL (GR)	ESPESOR DE TRABAJOS (mm)	
2	L6-4	HA32	1	-	6,5	60°	6,50	Vano corto y tiro de cables redondos
2	L6-4	HA32	1	-	6,5	50°	6,50	Vano corto y tiro de cables redondos
2	L6-4	HA32	1	-	6,5	58°	6,50	Vano corto y tiro de cables redondos
2	L6-4	HA32	4	-	6,5	56°	6,50	Vano corto y tiro de cables redondos
2	L6-4	HA32	5	-	6,5	36°	6,50	Vano corto y tiro de cables redondos
2	L6-4	HA32	6	-	6,5	42°	6,50	Vano corto y tiro de cables redondos
2	L6-4	HA32	7	-	6,5	47°	6,50	Vano corto y tiro de cables redondos
2	L6-4	HA32	8	-	6,5	45°	6,50	Vano corto y tiro de cables redondos
2	L6-4	HA32	9	-	6,5	38°	6,50	Vano corto y tiro de cables redondos
2	L6-4	HA32	10	-	6,5	37°	6,50	Vano corto y tiro de cables redondos
2	L6-4	HA32	11	-	6,5	46°	6,50	Vano corto y tiro de cables redondos
2	L6-4	HA32	12	-	6,5	47°	6,50	Vano corto y tiro de cables redondos
2	L6-4	HA32	13	-	6,5	22°	6,50	Recomienda en la Dirección
3	L6-5	HA32	1	-	6,5	32°	6,50	Vano corto y tiro de cables redondos
3	L6-5	HA32	2	-	6,5	33°	6,50	Vano corto y tiro de cables redondos
3	L6-5	HA32	3	-	6,5	31°	6,50	Vano corto y tiro de cables redondos
3	L6-5	HA32	4	-	6,5	32°	6,50	Vano corto y tiro de cables redondos
3	L6-5	HA32	5	-	6,5	48°	6,50	Vano corto y tiro de cables redondos
3	L6-5	HA32	6	-	6,5	47°	6,50	Vano corto y tiro de cables redondos
3	L6-5	HA32	7	-	6,5	47°	6,50	Vano corto y tiro de cables redondos
3	L6-5	HA32	8	-	6,5	47°	6,50	Vano corto y tiro de cables redondos
3	L6-5	HA32	9	-	6,5	32°	6,50	Vano corto y tiro de cables redondos
3	L6-5	HA32	10	-	6,5	47°	6,50	Vano corto y tiro de cables redondos
5	L6-7	HA32	1	-	6,5	47°	6,50	Vano corto y tiro de cables redondos
5	L6-7	HA32	2	-	6,5	46°	6,50	Vano corto y tiro de cables redondos
5	L6-7	HA32	3	-	6,5	46°	6,50	Vano corto y tiro de cables redondos
5	L6-7	HA32	4	-	6,5	46°	6,50	Vano corto y tiro de cables redondos
5	L6-7	HA32	5	-	6,5	51°	6,50	Vano corto y tiro de cables redondos

RL1 : Modificación de acuerdo a plano HOB-189-DR-5710-EC4365.RB.RL1

GRAFICO DISPOSICION DE RETENIDAS



ESTRUCTURA TIPO HA32



ESTRUCTURA TIPO HA32-R

COPEMI S.A.C. CONSTRUCTORES  
 INGENIERO MARAVI ORTEGA  
 R. D. DE INGENIERIA MECANICA

FERNANDO PATINO  
 INGENIERO CIVIL  
 R. D. DE INGENIERIA MECANICA

Civil

15/01/21



COPEMI

FLUOR.

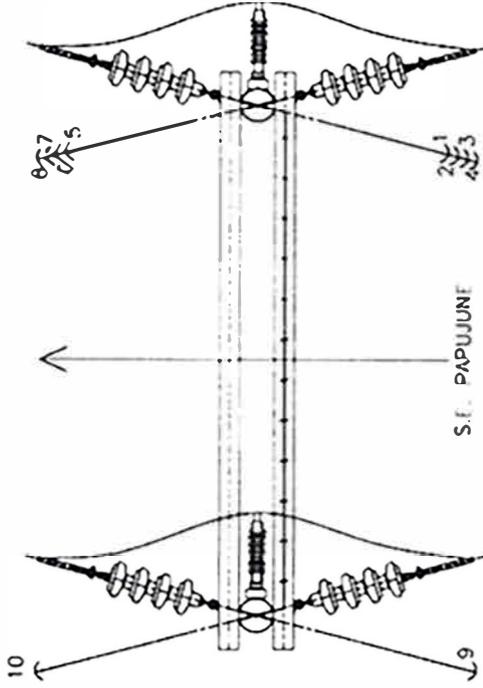
A - PROCEED

Authorizer to proceed does not constitute Contractor/Supplier of its responsibility or liability, under the Contract and/or Purchase Order.  
 By Roberto Ovalle on 11 Nov 19, 2020

PLANILLA DE INSTALACION DE RETENIDAS CON ANCLAJES AUTOPERFORANTES - LÍNEA 2030-1.A-001

ITEM	N° DE ESTRUCTURA ARMADA	CANTIDAD DE RETENIDA		ANCLAJE AUTOPERFORANTE (MEXGRABAR)			OBSERVACIONES
		# RETENIDA	RETENIDA	LONGITUD DE INSTALACION EN METROS	ANGULO DE INSTALACION RESPECTO A LA VERTICAL (GR)	CARGA DE TRACCION (TON)	
5	16-7	HA32	6	1	6,5	50	Varios tipos y tross de cables reducidos
5	16-7	HA32	7	1	6,5	80	Varios tipos y tross de cables reducidos
5	16-7	HA32	8	1	6,5	29	Varios tipos y tross de cables reducidos
5	16-7	HA32	9	1	6,5	47	Varios tipos y tross de cables reducidos
5	16-7	HA32	10	1	6,5	45	Varios tipos y tross de cables reducidos
6	16-8	HA32	1	1	6,5	42	Varios tipos y tross de cables reducidos
6	16-8	HA32	2	1	6,5	41	Varios tipos y tross de cables reducidos
6	16-8	HA32	3	1	6,5	42	Varios tipos y tross de cables reducidos
6	16-8	HA32	4	1	6,5	43	Varios tipos y tross de cables reducidos
6	16-8	HA32	5	1	6,5	42	Varios tipos y tross de cables reducidos
6	16-8	HA32	6	1	6,5	80	Varios tipos y tross de cables reducidos
6	16-8	HA32	7	1	6,5	50	Varios tipos y tross de cables reducidos
6	16-8	HA32	8	1	6,5	48	Varios tipos y tross de cables reducidos
6	16-8	HA32	9	1	6,5	53	Varios tipos y tross de cables reducidos
6	16-8	HA32	10	1	6,5	41	Varios tipos y tross de cables reducidos

GRAFICO DISPOSICION DE RETENIDAS



*Magel Rojas Davila*  
 LIDER DE OBRAS DE OBRAS

COPEMI S.A. CONSTRUCTORES  
 E.G. JOSE MARANTORTIGA  
 INGENIERO EN ELECTROMECANICAS

COPEMI S.A. CONSTRUCTORES  
 E.G. JOSE MARANTORTIGA  
 INGENIERO EN ELECTROMECANICAS



15/01/21

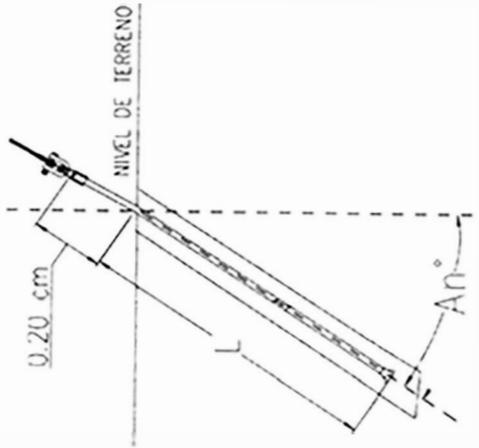


PLANILLA DE INSTALACION DE RETENIDAS CON ANCLAJES AUTOPERFORANTES - LINEA 2030-LA-002

NDA	N.º DE ESTAC. TUBO	COORDENADAS UTM		VANO ANCLAJE	VERTICE	CANTIDAD ANCLAJES	ESTAC. TUBO	TIPO DE SUELO RCP (LEY N°)		ANGULO AUTOPERFORANTE (DEGRADOS)				OBSERVACIONES
		ESTE	NORTE					ANCLAJE	RETENIDA	LONGITUD ANCLAJE (m)	ANGULO DE INSTALACION RESPECTO A VERTICAL (An)	CARGA DE TRABAJO (Ton)	TIPO DE RETENIDA	
1	L-24	375265.00	810910.72	31.26	V-49									
2	L-18	375238.22	810912.22	22.61										
3	L-10	375215.74	810915.09	26.93										
4	L-2	375191.18	810916.65	32.23	V-00									RETENIDA TIPO 24° SENTIDO HACIA L-10 RETENIDAS SENTIDO HACIA L-18
5	L-3	375162.57	810918.22	20.15	V-1A									
6	L-5	375131.85	810919.89	14.20	V-01									
7	L-6	375094.93	810921.00	12.01	V-02									
8	L-7	375050.36	810922.15	60.85	V-03									
9	L-8	375005.92	810923.20	39.23	V-04									
10	L-9	374963.52	810924.20	57.47	V-05									
11	L-11	374918.52	810925.20	57.47	V-06									
12	L-12	374874.04	810926.24	100.00	V-07A									
13	L-13	374829.52	810927.28	405.79										
14	L-14	374785.23	810928.25	416.22	V-08									
15	L-15	374740.38	810929.24	323.84	V-09									
16	L-16	374695.31	810930.23	61.00	V-08									
17	L-17A	374650.05	810931.23	65.35										
18	L-18	374604.24	810932.23	27.00										
19	L-19A	374558.99	810933.26	62.18										
20	L-20	374513.79	810934.29	373.38	V-09									
21	L-21	374468.28	810935.33	381.83										
22	L-22	374422.60	810936.36	71.51										
23	L-23A	374376.90	810937.39	93.28										
24	L-24	374331.11	810938.42	91.61										
25	L-24A	374285.44	810939.45	142.62										
26	L-25	374239.74	810940.48	148.00	V-10									
27	L-26	374194.00	810941.51	356.22	V-11									
28	L-27	374148.24	810942.54	228.44	V-11A									
29	L-28	374102.48	810943.57	0.00	V-12									

GRAFICO  
ANGULO DE INSTALACION

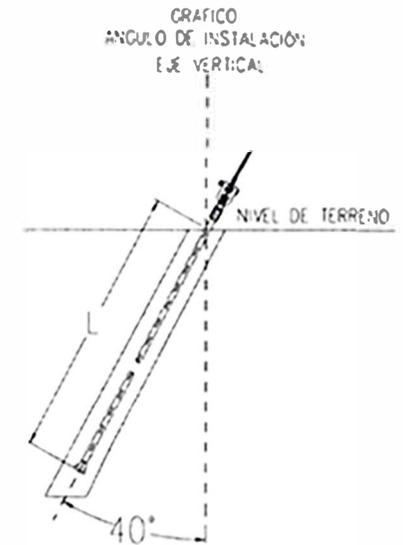
EJF VERTICAL





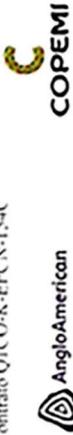
PLANILLA DE INSTALACION DE RETENIDAS CON ANCLAJES AUTOPERFORANTES – LINEA 2030-LA-003

ITEM	N° DE ESTRUCTURA	TIPO DE ARMAZO	COORDENADAS UTM		VANO ADELANTE	VERTICE	CANTIDAD RETENIDAS	TIPO DE SUELO/ROCA (D.B y M)			ANCLAJE AUTOPERFORANTE (VER GRAFICO)			OBSERVACIONES	
			PSAD 56					RETENIDA			LONGITUD DE INSTALACION MINIMA (M)				
			ESTE	NORTE				ESTRUC TURA	ATRAS	ADELANTE	DESECTAC	FOR RETENIDA (R)	TOTAL POR ESTRUCTURA (A)		ANGULO DE INSTALACION RESPECTO A LA VERTICAL (I)
1	18-24	T2-B-D	326265.76	8109101.72	33.80	18-09	0	III							
2	18-1	EDENADA													
3	18-2	PA1SEC	326267.10	8109089.04	31.54		0	III							
4	18-3	PR2C	326326.43	8109117.20	20.82		0	III	III	III		0.0	0	40°	0.00
5	18-4	PA1SEC	326345.79	8109069.42	32.40	18-01	0	III	III	III		5.0	25	40°	6.50
6	18-5	PS	326402.31	8109099.57	204.17			III							
7	18-6	A1-0	326538.58	8107817.80	290.72		0	II							
8	18-7	T1-4	326735.01	8107649.11	470.24	18-02	0	III							
9	18-8	T1-4	327161.01	8107444.07	788.88	18-03	0	III							
10	18-11	T1-4	327929.71	8107612.50	167.86	18-04	0	III							
11	18-11A	PA1SEC	328067.10	8107707.54	26.79		2	III	III	III		5.0	10	40°	6.50
12	18-11B	PR2C	328113.58	8107749.57	23.39		0	III							
13	18-11C	PA1SEC	328127.25	8107771.22	79.37		2	III	III	III		5.0	10	40°	6.50
14	18-12	HR	328222.21	8107814.82	320.87		4	II	II	II		5.0	20	40°	5.00
15	18-13	HA1	328484.97	8108002.17	107.96	18-05	0	II	II	II		6.5	30	40°	6.50
16	18-14	PR	328577.00	8108027.42	83.42			II							
17	18-15	PR	328648.22	8108100.90	178.93		2	III	III	III		4.0	8	40°	6.00
18	18-16	PA1	328800.94	8108154.23	193.65	18-09	0	III	III	III		5.0	20	40°	6.50
19	18-17	T1-4	328823.62	8108274.81	626.40	18-07	0	II							
20	18-18	T1-4	328757.59	8109000.21	74.67	18-08	0	III							
21	18-19	PA1SEC	328724.99	8109044.59	71.18		2	III	III	III		5.0	10	40°	6.50
22	18-20	PR2C	328673.85	8109088.73	60.55		0	III							
23	18-21	PA1SEC	328600.20	8109141.41	67.51		2	II	II	II		6.5	33	40°	6.50
24	18-22	T1-4-D	328545.29	8109180.69	0.00	18-10	0	II							



Nota:

- Si durante la perforación se evidencia que el suelo/roca cambia a uno de mayor resistencia (II a III, II a IV y III a IV) antes de los dos (2) metros, se podrá reducir la profundidad de perforación en 0.5 m



AngloAmerican

**FLUOR.**

**D - DATA ACCEPTED FOR INFORMATION ONLY**

Authorization to proceed does not release Contractor/Supplier of its responsibility or liability under the Contract and/or Purchase Order.  
 By Jose Coronel at Dec 29, 2020

PLANILLA DE INSTALACION DE RETENIDAS CON ANCLAJES AUTOPERFORANTES - LINEA 5210-LA-011

3.0 PLANILLA DE INSTALACION DE RETENIDAS

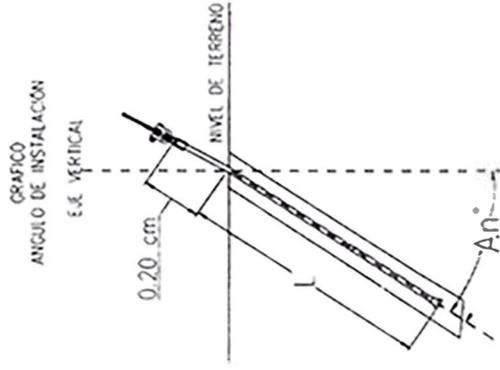
ITEM	N° DE IDENTIFICACION	COORDENADAS UTM		USO ANCLAJE	VOLUMEN	TIPO DE ANCLAJE		ANCLAJES AUTOPERFORANTES (VER TABLA)			CARGA DE TRABAJO (TONELADAS)	
		ESTE	NORTE			TIPO DE ANCLAJE	TIPO DE ANCLAJE	LONGITUD DE INSTALACION (M)	ANCLAJES AUTOPERFORANTES (VER TABLA)	CARGA DE TRABAJO (TONELADAS)		
1	L11-7	323181.02	4155907.51	4x37	V1-07	II	II	II	58	58	35'	4.23
2	L11-1	324119.34	4155934.06	32x61	V1-07A	II	II	II	43	43	33'	5.61+1.13
3	L11-2A	324130.29	4156006.29	18x97	V1-07B	II	II	II	78	78	33'	5.62+9.2
4	L11-3	324115.79	4156068.54	33x66	V1-08	II	II	II	38	38	30'	5.61+2.8
5	L11-4	323992.59	4156603.02	42x90	V1-09	II	II	II	68	68	30'	5.62+5.5
6	L11-4A	323985.07	4156115.06	55x28		II	II	II	68	68	30'	5.00
7	L11-4B	323974.06	4156189.25	30x26	V1-0A	II	II	II	58	58	40'	4.60
8	L11-5	323965.33	4156184.55		V1-10							

Modificación de Angulo de inclinación y Carga de Trabajo.



COPEMI S.A.P. OBRAS DE INFRAESTRUCTURA  
 PARA LA MINERIA  
 ALMACEN DE DISTRIBUCION

COPEMI S.A.P. OBRAS DE INFRAESTRUCTURA  
 PARA LA MINERIA  
 ALMACEN DE DISTRIBUCION





PLANILLA DE INSTALACION DE RETENIDAS CON ANCLAJES AUTOPERFORANTES - LINEA S210-LA-012 / S210-LA-020 / S210-LA-121

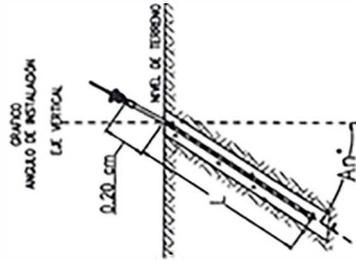
ITEM	N° DE ESTRUC. TUBA O ARMAJO	COORDENADAS UTM		VANO ADYACENTE	VERTECE	CANTIDAD KILÓMETROS CABLE	CANTIDAD KILÓMETROS ANCLAJES	TIPO DE SUELO ROCA (N.B.M)		ANCLAJE AUTOPERFORANTE (VER GRÁFICO)				OBSERVACIONES	
		ESTE	NORTE					ESTRUC. TUBA	RETENIDA	LONGITUD DE INSTALACION (M)	ANGULO DE INSTALACION RESPECTO A LA VERTICAL (Gr)	CARGA DE TRABAJO (TON)			
<b>LINEA S210-LA-01:</b>															
1	L12-1	A1-6	810645.80	324169.64	52.70	V1-12									
2	L12-1	EL ENCLAJE													
3	L12-2	PA4	810644.42	324218.27	23.96	V1-12A	1	1	II	4.5	4.5	60°	4.00	RETENIDAS ADELANTEZ DEBIDO DE CABLE OPCON (PLANO AVANZADO NQ13-119 DR. S210.EE4166 )	
4	L12-2A	PR	810644.09	324215.26	100.24		3	3	II	4.5	14.4	40°	4.50	RETENIDAS ATRAS (PLANO AVANZADO NQ13-119 DR. S210.EE4166 )	
5	L12-3	PA3	810648.91	324218.97	141.64	V1-12B	1	1	II	4.5	4.5	35°	4.00	RETENIDAS ATRAS	
6	L12-4	PS	810652.99	324210.24	140.09		2	2	II	4.5	4.5	40°	3.50	RETENIDA TIPO D1:	
7	L12-5	PA3	810649.14	324217.45	295.77	V1-12C	1	1	II	4.5	4.5	40°	3.50	RETENIDA TIPO F40: DERIVACION CABLE COCES PLANO NQ13-119 DR. S210.EE4166	
8	L12-6	PA3	810652.91	324211.15	151.15	V1-12D	1	1	II	4.5	4.5	50°	3.50	RETENIDA EN BIFURCA: DERIVACION PLANO NQ13-119 DR. S210.EE4166	
9	L12-7	PA3	810649.88	324203.83	136.48	V1-14	1	1	II	4.5	4.5	40°	3.50	RETENIDA TIPO D1:	
10	L12-8	S43	810648.93	324268.07		V1-15	2	2	II	4.5	9.6	40°	3.50	RETENIDA TIPO E40: DERIVACION PLANO NQ13-119 DR. S210.EE4166	
<b>LINEA S210-LA-020</b>															
1	L12-5	PA1	810652.45	324268.23	83.35	V1-14			II					VER LINEA S210-LA-12	
2	L20-1	PS	810652.45	324268.23	111.64				II						
3	L20-2A	PS	810652.45	324268.23	59.24				II						
4	L20-2	S43B	810652.91	324219.27	0.00	V1-13A			II						
<b>LINEA S210-LA-121</b>															
1	L12-6	PA1	810649.24	324222.57	229.24	V1-14			II					VER LINEA S210-LA-12	
2	L12-1	PS	810649.24	324222.57	57.50		0	0	II						
3	L12-2	PA-6	810652.68	324219.27	377.00		0	0	II						
4	L12-3	A1-3	810652.64	324248.80	27.40		0	0	II						
5	L12-4	El Enclaje													
6	L12-5	El Enclaje													
7	L12-6	A1-3	810649.24	324249.55	88.99		0	0	II						
8	L12-7	PA1	810652.66	324249.40	15.59	V1-15	3	3	II	4.5	14.4	25°	4.00	MIN. RETENIDA	
9	L12-8	PRECB	810652.64	324219.42	0.00	V1-16									

3



PLANILLA DE INSTALACION DE RETENIDAS CON ANCLAJES AUTOPERFORANTES – LINEA 5210-LA-013/014/015

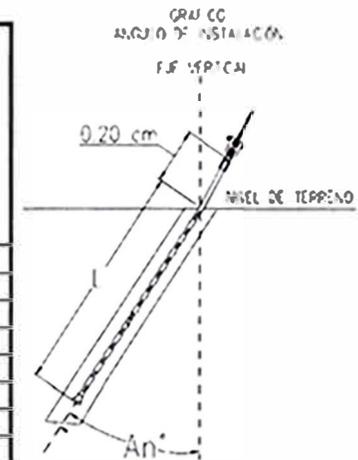
N° DE ITEM	TIPO DE ESTRUC. TUBA O TUNA	COORDENADAS UTM		VANTAJE	ANCLAJES AUTOPERFORANTES	TIPO DE RELOJEOCA (II III S V)		ANCLAJE AUTOPERFORANTE (VER GRAFICO)		OBSERVACIONES
		ESTE	NORTE			ESTRUC. TUNA	RETENIDA	LONGITUD DE INSTALACION MENSA (m)	ANGULO DE INSTALACION RESPECTO A LA VERTICAL (Gr)	
<b>LÍNEA 5210-LA-013</b>										
1	L13-9	225600.89	8107629.29	V13-28	0	II	ANCLAJES AUTOPERFORANTES	0		
2	L13-1	225170.01	8107636.17	V13-21	4	II	ANCLAJES AUTOPERFORANTES	7.9	25	RETENIDA TIPO B25
3	L13-2	225222.31	8107601.40	V13-18A	4	II	ANCLAJES AUTOPERFORANTES	6.9	20	RETENIDA TIPO B20
4	L13-3	225589.15	8107609.86	V13-18B	2	II	ANCLAJES AUTOPERFORANTES	5.9	25	RETENIDA TIPO D25
5	L13-4	225775.16	8107629.80	V13-19C	2	II	ANCLAJES AUTOPERFORANTES	5.8	25	RETENIDA TIPO D25
6	L13-5	225555.87	8107659.61	V13-19D	1	II	ANCLAJES AUTOPERFORANTES	5.8	25	RETENIDA TIPO C HACIA DERIVACION 5210-LA-14 PLANO ANCLAJES DR-5210-EE-23
<b>LÍNEA 5210-LA-014</b>										
1	L14-5	225555.87	8107659.61	V13-19D	2	II	ANCLAJES AUTOPERFORANTES	4.8	25	RETENIDA TIPO D25 ATRAS L13 + ADELANTE L15
2	L14-1	225714.60	8107651.92	V14-54		II	ANCLAJES AUTOPERFORANTES			
3	L14-2	225767.07	8107644.86	V14-56	4	II	ANCLAJES AUTOPERFORANTES	6.3	40	RETENIDA TIPO B40
4	L14-3	225883.62	8107624.45	V14-57	4	II	ANCLAJES AUTOPERFORANTES	6.3	40	RETENIDA TIPO B40
5	L14-4	225810.31	8107636.49	V14-57		II	ANCLAJES AUTOPERFORANTES			
6	L14-5	225709.15	8107659.29	V14-58	4	II	ANCLAJES AUTOPERFORANTES	6.3	40	RETENIDA TIPO B40
7	L14-6	225678.71	8107673.23	V14-59	2	II	ANCLAJES AUTOPERFORANTES	4.8	40	RETENIDA TIPO B40
<b>LÍNEA 5210-LA-015</b>										
1	L15-3	225555.87	8107659.61	V14-19D		II	ANCLAJES AUTOPERFORANTES			
2	L15-2	225653.48	8107657.71	V14-37		II	ANCLAJES AUTOPERFORANTES			SIN RETENIDA





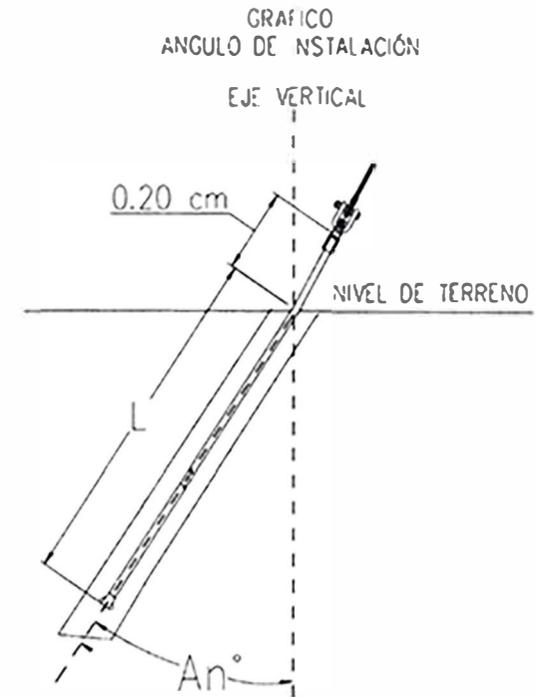
PLANILLA DE INSTALACION DE RETENIDAS CON ANCLAJES AUTOPERFORANTES – LINEA 2030-LA-031

ITEM	N° DE ESTRUCTURA	TIPO DE ARMADO	COORDENADAS UTM		VANO ADELANTE	VERTICE	CANTIDAD RETENIDAS DE CABLE	CANTIDAD RETENIDAS ANCLAJES	TIPO DE SUELO/ROCA (L, B y M)			ANCLAJE AUTOPERFORANTE (VER GRAFICO)			OBSERVACIONES	
			PSAD 56						RETENIDA			LONGITUD DE INSTALACION MINIMA (m)		ANGULO DE INSTALACION RESPECTO A LA VERTICAL (An)		CARGA DE TRABAJO Pw (Ton)
			ESTE	NORTE					ESTRUC TURA	ATRAS	ADELANTE	POR RETENIDA (L)	TOTAL POR ESTRUCTURA			
1	LS-18	T1-6	328797.60	8109000.21	73.97	V8-08		0	II							
2	L31-1	PR	328866.72	8108973.88	216.88			2	II	II	II	3.8	7.6	40°	3.00	
3	L31-2	PA1	329069.39	8108896.66	200.00	V8-10	4	2	II	II	II	4.8	9.6	40°	4.60	RETENIDA TIPO B
5	L31-3	PR	329186.48	8108734.52	99.99				II							
6	L31-5	PR	329245.02	8108653.45	104.53				II							
7	L31-6	PA1	329306.22	8108568.71	130.06	V8-11	4	2	II	II	II	4.8	9.6	40°	4.60	RETENIDA TIPO B
8	L31-7	SAB1	329327.16	8108440.35	0.00	V8-12		2	III	III		4.8	9.6	40°	4.00	



PLANILLA DE INSTALACION DE RETENIDAS CON ANCLAJES AUTOPERFORANTES - LINEAS POZAS CARACOLES 1140-LA-001 A 1140-LA-007

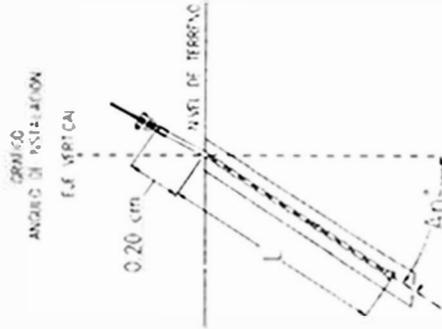
ITEM	CANTIDAD	UNIDAD	DESCRIPCION	COORDENADAS (m)			ALCANTARILLADO	MATERIAL	ESTRUC. TIPO	ESTRUC. TIPO	ANCLAJES AUTOPERFORANTES (m)				OBSERVACIONES	
				E	N	U					TIPO	LONGITUD	DIAMETRO	CANTIDAD		ESPACIAMIENTO
<b>Línea 1140-LA-001</b>																
0	LC-1	PA4	324750.27	870829.60	8.60	VC-A									SIN RETENIDA + VANO CON TIPO REDUCIDO	
1	LC-1	PAIC	324751.74	870829.00	70.50	VC-1	2	1	1	6.0	6.0	6.0	6.00	RETENIDA TIPO D40		
2	LC-2	PRC	324750.76	870828.53	24.30									SIN RETENIDA		
3	LC-3	PA3	324750.97	870754.58	225.37	VC-2	2	2	1	1	1	3.0	7.6	6.0	RETENIDA TIPO G40 / PLANO MQ2189 OR P40 E E + 4	
4	LC-4	PSC	324751.77	870726.34	73.30									SIN RETENIDA		
5	LC-5	PSC	324742.12	870725.56	12.61									SIN RETENIDA		
6	LC-6	SAB	324742.64	870754.58	0.00	VC-3	2	2	1	1	1	3.0	7.6	6.0	3.50	
<b>Línea 1140-LA-002</b>																
0	LC-3	PA3	324708.97	870875.12	18.41	VC-3	1	1	1	3.0	3.0	6.0	3.50	PLANO MQ2189 OR P40 E E + 340		
1	LC-1	PAJC	324705.79	870844.27	92.86	VC-1	2	1	1	5.0	5.0	6.0	5.30	RETENIDA TIPO G40		
2	LC-2	SAB	324722.91	870844.27	0.00	VC-2	2	2	1	1	1	3.0	7.6	6.0	3.50	
<b>Línea 1140-LA-003</b>																
1	LC-3	PAJC	324703.97	870745.58	8.41	VC-1								VER LINEA 1140-LA-001		
2	LC-3	SAB	324706.61	870754.58	0.00	VC-1								SIN RETENIDA		
<b>Línea 1140-LA-004</b>																
1	LC-2	PA15	324720.58	870674.90	108.17	VC-2	2	1	1	1	1	5.0	5.0	6.0	5.30	RETENIDA TIPO M21/MQ2189 OR P40 E E + 306
2	LC-1	PS	324705.00	870684.56	85.77	VC-1										
3	LC-2	PR	324714.95	870685.43	12.30									SIN RETENIDA		
4	LC-3	SAB	324722.37	870728.97	0.00	VC-2	2	2	1	1	1	3.0	7.6	6.0	3.50	
<b>Línea 1140-LA-005</b>																
0	LC-2	SABT	323883.92	870779.57	42.33	VC-3	2	2	1	1	1	3.0	7.6	6.0	3.00	RETENIDA TIPO M21 / VER PLANO MQ2189 OR P40 E E + 306
2	LC-1	PA1	323893.86	870729.50	0.00	VC-1	4	2	1	1	1	5.0	11.6	6.0	5.30	RETENIDA TIPO D40
<b>Línea 1140-LA-006</b>																
1	LC-1	PA1	324724.26	870625.54	4.89	VC-A										
2	LC-1	PA15	324724.34	870625.78	53.11	VC-1	2	1	1	1	1	5.0	5.0	6.0	5.30	RETENIDA TIPO M21/MQ2189 OR P40 E E + 306
3	LC-2	PA15	324720.62	870674.79	54.92	VC-2									VER LINEA 1140-LA-004	
4	LC-3	SAB	324725.63	870677.38	0.00	VC-3	2	2	1	1	1	3.0	7.6	6.0	3.50	
<b>Línea 1140-LA-007</b>																
1	LC-1	PAJC	323893.86	870729.74	90.06	VC-1									VER LINEA 1140-LA-005	
2	LC-1	PRC	323906.98	870729.52	48.97										SIN RETENIDA	
3	LC-2	PAIC	323906.81	870734.34	11.14										2 1 1 5.0 5.0 6.0 5.30	
4	LC-3	SAB	323910.12	870724.35	0.00										2 2 1 3.0 7.6 6.0 3.50	





PLANILLA DE INSTALACION DE RETENIDAS CON ANCLAJES AUTOPERFORANTES - LINEA S210-LA-016 / 017 / 018 / 019 Y 2830-LA-001/002

ITEM	N DE ESTRUC TUBA O APALO	COORDENADAS UTM		VANO ADYUANTE	VERTICE	CANTIDAD RETENIDAS	TIPO DE SUELO ROCA (N.B.M)		ANCLAJE AUTOPERFORANTE (VER GRAFICO)			OBSERVACIONES	
		ESTE	NORTE				ESTRUC TUBA	RETENIDA	LONGITUD DE INSTALACION PARA (m)	ANGULO DE INSTALACION RESPECTO A LA VERTICAL (GR)	CANTIDAD DE TRABAJO (TON)		
<b>LINIA S210-LA-016/017</b>													
1	L16-1	PAJ	325975.96	810823.50	V1-24	3	□	□	3.8	11.4	40°	4.00	Ver planilla NQ13-189-RE-S210-CE218*
2	L16-1	PAI	325982.22	810838.07	V1-25	3	□	□	3.8	3.8	22°	4.00	ANCLAJE VERTICAL RETENIDA EN BOLECTRIZ FASE EXTERIOR
3	L16-2	HR	326165.91	810840.36	V1-14	1	□	□	3.8	3.8	40°	4.00	Desplazar 10° en la horizontal para evitar el entranamiento a conductos
4	L16-3	PAJ	326402.22	810837.18	V1-23	6	□	□	3.8	22.5	40°	4.00	
5	L17-1	PAJ	326658.54	810840.65	V1-21A	3	□	□	3.8	11.4	40°	4.00	
6	L17-2	LAG	326672.61	810841.13	V1-19	2	□	□	4.8	4.8	40°	5.00	RETENIDA TIPO B40 PARA VANO ADELANTE
<b>LINIA S210-LA-018</b>													
1	L18-3	PAJ	326602.22	810837.18	V1-23								VER LINEA S210-LA-016/017
2	L18-1	PAI	326609.65	810838.95	V1-23B	2	□	□	6.8	6.8	40°	6.00	RETENIDA TIPO B40 PARA VANO ADELANTE
3	L18-3	LAG	326577.35	810837.18	V1-22	2	□	□	3.8	7.6	40°	3.50	
<b>LINIA S210-LA-019</b>													
1	L19-2	PAI	326108.51	810861.60	V1-2*								Ver planilla NQ13-189-RE-S210-CE218*
2	L19-1	PAI	326014.26	810866.11	V1-28A	2	□	□	3.8	3.8	40°	P=1=3.2 P=2=3.4	RETENIDA TIPO G40
3	L19-2	PT	326089.45	810848.39	V1-28	1	□	□	3.8	3.8	40°	P=1=3.2 P=2=3.4	RETENIDA TIPO P40
<b>2830-LA-001</b>													
1	L19-2A	PAI	326334.50	810866.73	V1-28A	1	□	□	3.8	3.80	40°	4.00	RETENIDA TIPO D40 (PARA DERIVACION)
2	L21-1	PR	326397.90	810882.65	V1-1	2	□	□	4.8	4.8	40°	5.00	RETENIDA TIPO B40
3	L21-3	PRECT	326431.66	810887.28	V1-1	2	□	□	4.8	4.8	40°	5.00	
<b>2830-LA-002</b>													
1	L22-1	PAJ	326687.33	810858.07	V1-26A								Ver planilla NQ13-189-RE-S210-CE218*
2	L22-2	PRECT	326691.33	810858.56	V1-36	2	□	□	4.8	4.8	40°	5.00	RETENIDA TIPO D40



**REGISTRO FOTOGRÁFICO Y PROTOCOLOS DE INSTALACIÓN Y PULL TEST.**

Evidencia fotográfica de los ensayos pull test y evidencia de la validación de los trabajos.

<p>Estructura: L2-6</p> <p>Descripción: Ensayo de pull test en anclaje de retenida para el poste L2-6.</p> 	<p>Estructura: L2-4</p> <p>Descripción: Ensayo de pull test en anclaje de retenida para el poste L2-4.</p> 
<p>Estructura: L2-7</p> <p>Descripción: Ensayo de pull test en anclaje de retenida para el poste L2-7.</p> 	<p>Estructura: L13-5</p> <p>Descripción: Ensayo de pull test en anclaje de retenida para el poste L13-5.</p> 
<p>Estructura: L16-1</p> <p>Descripción: Ensayo de pull test en anclaje de retenida para el poste L16-1.</p> 	<p>Estructura: L7-21</p> <p>Descripción: Detalle de como queda el anclaje una vez activada producto de la transmisión de fuerza desde el poste a través del cable de retenida.</p> 
<p>Estructura: L7-21</p> <p>Descripción: Vease la disposición de 8 anclajes para retenida en el bi-poste L7.</p> 	<p>Estructura: L6-5, L1-5 y L2-5</p> <p>Descripción: En la imagen se ven, confundidas con los cables conductores, un total de 22 retenidas soportadas por anclajes, 10 en L6-4, 6 en L1-5 y 6 en L2-5.</p> 



**REGISTRO DE INSTALACIÓN DE BARRAS AUTO-PERFORANTES**

Descripción del Tag: <i>Retenidas y accesorios L1-4</i>		No. de Tag: <i>5210-6001-S-035</i>
No. de Contrato: <i>K-EPCN-154C</i>	Clasificación de Inspección	Área/Unidad: <i>5210</i>
Contratista: <i>Copemi SAC Constructores</i>	Contratista <input checked="" type="checkbox"/> Cliente <input type="checkbox"/>	Sistema Transferido: <i>5210 01</i>
	SMI <input checked="" type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/>	Subsistema: <i>5210-6001</i>

Plano de Referencia: <i>M013-189-0A-5210 CE4500-R0</i>	Estructura: <i>L1-4</i>	Tramo: <i>5210-LA-001</i>
Nº Especificación: <i>M013-189-10-5210-CE4100-R2</i>		

**1.- CARACTERÍSTICAS DE ANCLAJE**

Tipo de barra: <i>Auto perforante -Ti tan</i>	Diámetro de barra: <i>30/11 mm</i>	Longitud de la barra: <i>2m y 1m</i>	Nº barras por retenida: <i>4 x 8 x</i>
---	------------------------------------	--------------------------------------	--

**2.- CARACTERÍSTICAS DE EQUIPOS**

Equipo	Marca	Nº Serie	Certificado	Fecha de calibración
<i>Estación Total</i>	<i>Top Con</i>	<i>625654</i>	<i>K-EPCN-154C-QA-CE4115</i>	<i>08-01-20</i>

**3.- DATOS DE DISEÑO DE LECHADA**

Diseño de lechada: <i>K-EPCN-154C-QA-DM-009</i>	Relación A/C: <i>0.5</i>	Cemento: <i>YURA 1P</i>	Agua: <i>P33A C2</i>	Aditivo: <i>table 3e1</i>
---	--------------------------	-------------------------	----------------------	---------------------------

**4.- EJECUCIÓN DE PERFORACIÓN**

Nº Taladro (Agujero)	Teórico según planos		Real obtenido en campo		Observaciones
	Longitud de taladro	Ángulo de inclinación	Longitud de taladro	Ángulo de inclinación	
<i>R1</i>	<i>6.50 m</i>	<i>50°</i>	<i>6.80 m</i>	<i>31°</i>	<i>inyección 09/03/20 (1 bolsa de cemento)</i>
<i>R2</i>	<i>6.50 m</i>	<i>50°</i>	<i>6.80 m</i>	<i>30°</i>	<i>inyección 09/03/20 (1 bolsa de cemento)</i>
<i>R3</i>	<i>6.50 m</i>	<i>50°</i>	<i>6.80 m</i>	<i>35°</i>	<i>inyección 09/03/20 (1 bolsa de cemento)</i>
<i>R4</i>	<i>6.50 m</i>	<i>50°</i>	<i>6.80 m</i>	<i>46°</i>	<i>inyección 09/03/20 (1 bolsa de cemento)</i>
<i>R5</i>	<i>6.50 m</i>	<i>50°</i>	<i>6.80 m</i>	<i>46°</i>	<i>inyección 09/03/20 (1 bolsa de cemento)</i>
<i>R6</i>	<i>6.50 m</i>	<i>50°</i>	<i>6.80 m</i>	<i>48°</i>	<i>inyección 09/03/20 (1 bolsa de cemento)</i>

Notas:  
 \* Ángulo respecto a lo horizontal  
 \* Cantidad de agua 21.25 lt/bolsa de cemento  
 \* Longitud total de Retenida 7m

CONSTRUCCIÓN COPEMI	QA/QC COPEMI	CONSTRUCCIÓN SMI	QA SMI
Nombre: <i>Jorge Maravi Ortega</i>	Nombre: <i>Jorge Galjuf G.</i>	Nombre: <i>Enrique Rey</i>	Nombre: <i>Juan Pardo Sanchez</i>
Firma: <i>[Firma]</i>	Firma: <i>[Firma]</i>	Firma: <i>[Firma]</i>	Firma: <i>[Firma]</i>
Fecha: <i>09/03/20</i>	Fecha: <i>09/03/20</i>	Fecha: <i>9-3-20</i>	Fecha: <i>18/06/22</i>



REGISTRO DE PULL TEST DE BARRAS AUTO-PERFORANTES

Descripción del Tag: <i>Retenidas y Accesorios L14</i>		No. de Tag: <i>5210-6001-S-035</i>
No. de Contrato: K-EPCN-154C	Clasificación de Inspección	Área/Unidad: <i>5210</i>
Contratista: Copemi S.A.C. Constructores	Contratista <input checked="" type="checkbox"/> SMI <input type="checkbox"/>	Sistema Transferido: <i>5210-01</i>
	Cliente <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/>	Subsistema: <i>5210-6001</i>
Plano de Referencia: MQ13-189-DR-5210-EE4305_R2	Estructura: L1-4 (Retenida: R5)	Tramo: 5210-LA-001
N° Especificación: MQ13-189-TE-5210-CE4100_R2 / MQ13-189-CM-5210-CE2201_R1		

Tipo de barra: Autoperforante Titán	Diámetro de barra: 30/11 mm.	Carga de Trabajo (Ct): 6.5	Carga de ensayo (1.4x Ct): 9.1 ton
Longitud total: 7 m.	Longitud externa: 0.2 m.	Longitud libre: 0.5 m.	Longitud anclada: 6.3 m.

2- CARACTERÍSTICAS DE EQUIPOS

Equipo	Marca	N° Serie	Certificado	Fecha de calibración
K-EPCN-154C-QA-CER-151	ACCUD	8321022	MS-0169-2021	10/12/2019
K-EPCN-154C-QA-CER-146	ENERPAC	DS016K	INF-LE-354-19	4/12/2019

3- DATOS DE DISEÑO DE LECHADA

Diseño de lechada: DM-009	Relación A/C: 0.50	Cemento: Yura IP	Agua: Poza C2	Aditivo: Cable Jet
---------------------------	--------------------	------------------	---------------	--------------------

4- EJECUCIÓN DE ENSAYO

Hora	Tiempo de aplicación (min)	Fase de carga (% Ct)	Carga (Tn) (Fc x Ct)	Presión del manómetro (PSI)	Desplazamiento de barra autoperforante (mm)			
					Lectura	Δδ	Total	
14:06:00	0:10:00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	
14:16:00	0:10:00	0.10	0.65	146.135	0.10	0.00	0.00	
14:26:00	0:10:00	0.30	1.95	371.629	0.43	0.33	0.33	
14:36:00	0:10:00	0.60	3.90	709.828	1.20	0.77	1.10	
14:46:00	0:10:00	0.80	5.20	935.265	3.51	2.31	3.41	
14:56:00	0:10:00	1.00	6.50	1160.680	3.79	0.28	3.69	
15:06:00	0:10:00	1.20	7.80	1386.071	3.97	0.18	3.87	
15:16:00	0:10:00	1.40	9.10	1611.440	4.85	0.88	4.75	
15:26:00	0:10:00	1.20	7.80	1386.071	4.81	0.04	4.71	
15:36:00	0:10:00	1.00	6.50	1160.680	4.62	0.19	4.52	
15:46:00	0:10:00	0.80	5.20	935.265	4.39	0.23	4.29	
15:56:00	0:10:00	0.60	3.90	709.828	4.04	0.35	3.94	
16:06:00	0:10:00	0.30	1.95	371.629	3.55	0.49	3.45	
16:16:00	0:10:00	0.10	0.65	146.135	3.18	0.37	3.08	
							δ max. Registrado:	4.75

5- GRÁFICO

δmax (MQ13-189-TE-5210-CE4100- R2):

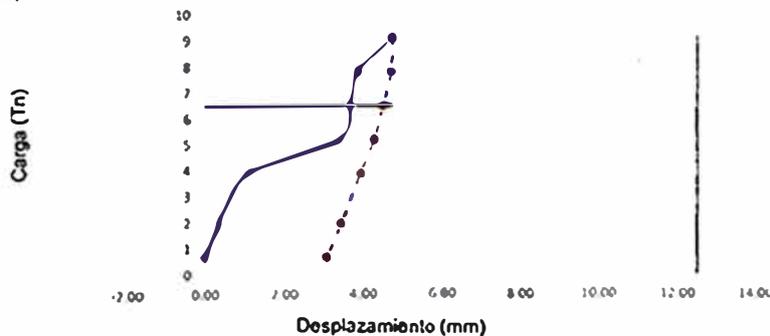
12.7 mm.

Conclusion:

4.75 < 12.7

SI Cumple

DESPLAZAMIENTO VS CARGA



DOCUMENTO DE REFERENCIA: MQ13-189-TE-5210-CE4100-R2

CONSTRUCCIÓN COPEMI	QA/QC COPEMI	CONSTRUCCIÓN SMI	QA SMI
Nombre: <i>Jorge Maraví Ortega</i>	Nombre: <i>Jorge Galjuf G.</i>	Nombre: <i>E. Navas</i>	Nombre: <i>Juan Antonio Sanchez</i>
Firma: <i>Jorge Maraví Ortega</i>	Firma: <i>Jorge Galjuf G.</i>	Firma: <i>E. Navas</i>	Firma: <i>Juan Antonio Sanchez</i>
Fecha: 16.03.20	Fecha: 16.03.20	Fecha: 16.3.20	Fecha: 16/03/20



REGISTRO DE INSTALACIÓN DE BARRAS AUTO-PERFORANTES					
Descripción del Tag: <i>Retenidas y alfileros L1.5</i>			No. de Tag: <i>5210-6001-5-036</i>		
No. de Contrato: <i>K-EPCN-154C</i>		Clasificación de Inspección		Área/Unidad: <i>5210</i>	
Contratista: <i>Opami SAC Constructoras</i>		Contratista <input checked="" type="checkbox"/>		Cliente <input type="checkbox"/>	
		SMI <input checked="" type="checkbox"/>		Otro <input type="checkbox"/>	
Plano de Referencia: <i>MQ13-189-UR-5210-GE4500-00</i>			Estructura: <i>L1.5</i>		Tramo: <i>5210-LA-001</i>
N° Especificación: <i>MQ13-189-TE-5210-CE4100-02</i>					
<b>1.- CARACTERÍSTICAS DE ANCLAJE</b>					
Tipo de barra: <i>Autoperforante Titan</i>		Diámetro de barra: <i>30 / 11 mm</i>	Longitud de la barra: <i>2 m y 1 m</i>		N° barras por retenida: <i>4</i>
<b>2.- CARACTERÍSTICAS DE EQUIPOS</b>					
Equipo		Marca	N° Serie	Certificado	Fecha de calibración
<i>Estacion Total</i>		<i>Top Con</i>	<i>625654</i>	<i>K-EPCN-154C-QA-UR-115</i>	<i>29.09.19</i>
-		-	-	-	-
<b>3.- DATOS DE DISEÑO DE LECHADA</b>					
Diseño de lechada: <i>K-GRU-154C-QA-01-009</i>		Relación A/C: <i>0.5</i>	Cemento: <i>YURA 1P</i>	Agua: <i>Pozca C2</i>	Aditivo: <i>Gble Jet</i>
<b>4.- EJECUCIÓN DE PERFORACIÓN</b>					
N° Taladro (Agujero)	Teórico según planos		Real obtenido en campo		Observaciones
	Longitud de taladro	Ángulo de inclinación	Longitud de taladro	Ángulo de inclinación	
<i>R1</i>	<i>6.50 m</i>	<i>58°</i>	<i>6.80 m</i>	<i>60°</i>	<i>Inyección 02/03/20 (1.5 bolsa de cemento)</i>
<i>R2</i>	<i>6.50 m</i>	<i>58°</i>	<i>6.80 m</i>	<i>59°</i>	<i>Inyección 02/03/20 (1.5 bolsa de cemento)</i>
<i>R3</i>	<i>6.50 m</i>	<i>58°</i>	<i>6.80 m</i>	<i>60°</i>	<i>Inyección 02/03/20 (1 bolsa de cemento)</i>
<i>R4</i>	<i>6.50 m</i>	<i>50°</i>	<i>6.80 m</i>	<i>51°</i>	<i>Inyección 02/03/20 (1 bolsa de cemento)</i>
<i>R5</i>	<i>6.50 m</i>	<i>50°</i>	<i>6.80 m</i>	<i>49°</i>	<i>Inyección 02/03/20 (1.5 bolsa de cemento)</i>
<i>R6</i>	<i>6.50 m</i>	<i>50°</i>	<i>6.80 m</i>	<i>50°</i>	<i>Inyección 02/03/20 (1.5 bolsa de cemento)</i>
<p>Notas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li><i>° Ángulo medido respecto a lo horizontal</i></li> <li><i>ab Cantidad de agua 21.5 litros / bolsa de cemento</i></li> <li><i>ab Longitud Total de Retenida 7 m</i></li> </ul>					
CONSTRUCCIÓN COPEMI		QA/QC COPEMI		CONSTRUCCIÓN SMI	
Nombre: <i>Jorge Maravi Ortég</i>		Nombre: <i>Opami SAC CONSTRUCTORES</i>		Nombre: <i>E. Rivas</i>	
Firma: <i>[Firma]</i>		Firma: <i>[Firma]</i>		Firma: <i>[Firma]</i>	
JORGE MARAVI ORTEG JEFE DE OBRAS ELECTROMECANICAS SERVICIOS MINERIA INC AERIAS DE DISTRIBUCION		ING. JORGE GALJUF G JEFE DE CALIDAD		ING. IVAN PABLO SANCHEZ JEFE DE OBRAS Proyecto Quellaveco	
Fecha: <i>02.03.20</i>		Fecha: <i>02.03.20</i>		Fecha: <i>18/06/22</i>	



REGISTRO DE PULI. TEST DE BARRAS AUTO-PERFORANTES

Descripción del Tag: <i>Retenidas y accesorios L1-5</i>		No. de Tag: <i>5210-1001-5-036</i>	
No. de Contrato: K-EPCN-154C	Clasificación de Inspección	Área/Unidad: <i>5210</i>	
Contratista: Copemi S.A.C. Constructores	Contratista <input checked="" type="checkbox"/> SMI	Sistema Transferido: <i>5210-01</i>	
	Ciente <input type="checkbox"/>	Subsistema: <i>5210-001</i>	
	Otro <input type="checkbox"/>		

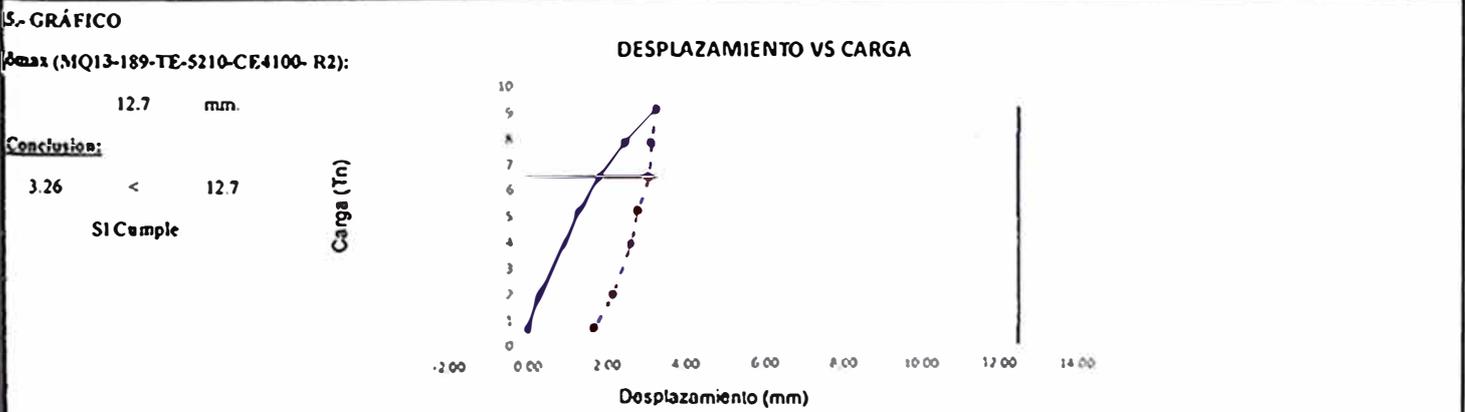
Plano de Referencia: MQ13-189-DR-5210-EE4305_R2	Estructura: L1-5 (Retenida: R6)	Tramo: 5210-LA-001
N° Especificación: MQ13-189-TE-5210-CE4100_R2 / MQ13-189-CM-5210-CE2201_R1		

Tipo de barra: Auto perforante Titán	Diámetro de barra: 30/11 mm.	Carga de Trabajo (Ct): 6.5	Carga de ensayo (1.4xCt): 9.1 ton
Longitud total: 7 m.	Longitud externa: 0.2 m.	Longitud libre: 0.5 m.	Longitud anclada: 6.3 m.

Equipo	Marca	N° Serie	Certificado	Fecha de calibración
K-EPCN-154C-QA-CER-151	ACCUD	8321022 /	MS-0169-2021	10/12/2019
K-EPCN-154C-QA-CER-146	ENERPAC	DS016K	INF-LE-354-19	4/12/2019

Diseño de lechada: DM-009	Relación A/C: 0.50	Cemento: Yura IP	Agua: Poza C2	Aditivo: Cable Jet
---------------------------	--------------------	------------------	---------------	--------------------

Hora	Tiempo de aplicación (min)	Fase de carga (% Ct)	Carga (Tn) (Fc x Ct)	Presión del manómetro (PSI)	Desplazamiento de barra auto perforante (mm)			
					Lectura	Δδ	Total	
14:06:00	0:10:00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	
14:16:00	0:10:00	0.10	0.65	146.135	0.02	0.00	0.00	
14:26:00	0:10:00	0.30	1.95	371.629	0.32	0.30	0.30	
14:36:00	0:10:00	0.60	3.90	709.828	0.93	0.61	0.91	
14:46:00	0:10:00	0.80	5.20	935.265	1.33	0.40	1.31	
14:56:00	0:10:00	1.00	6.50	1160.680	1.84	0.51	1.82	
15:06:00	0:10:00	1.20	7.80	1386.071	2.48	0.64	2.46	
15:16:00	0:10:00	1.40	9.10	1611.440	3.28	0.80	3.26	
15:26:00	0:10:00	1.20	7.80	1386.071	3.16	0.12	3.14	
15:36:00	0:10:00	1.00	6.50	1160.680	3.08	0.08	3.06	
15:46:00	0:10:00	0.80	5.20	935.265	2.81	0.27	2.79	
15:56:00	0:10:00	0.60	3.90	709.828	2.63	0.18	2.61	
16:06:00	0:10:00	0.30	1.95	371.629	2.17	0.46	2.15	
16:16:00	0:10:00	0.10	0.65	146.135	1.70	0.47	1.68	
							δ max. Registrado:	3.26



CONSTRUCCIÓN COPEMI	QA/QC COPEMI	CONSTRUCCIÓN SMI	QA SMI
Nombre: <i>Jorge Maravi Ortega</i>	Nombre: <i>Jorge Galjuf G.</i>	Nombre: <i>E. Reyes</i>	Nombre: <i>Juan Pardo Sanchez</i>
Firma: <i>[Signature]</i>	Firma: <i>[Signature]</i>	Firma: <i>[Signature]</i>	Firma: <i>[Signature]</i>
JEFE DE OBRAS ELECTROMECANICAS Fecha: 09.03.20	JEFE DE CALIDAD Fecha: 09.03.20	Fecha: 9.3.20	Fecha: 18/06/22



**REGISTRO DE INSTALACIÓN DE BARRAS AUTO-PERFORANTES**

Descripción del Tag: <i>Retenidas y sucesos L1-6</i>		No. de Tag: <i>5210-6001-5-033</i>
No. de Contrato: <i>K-GOCV-154C</i>	Clasificación de Inspección	Area/Unidad: <i>5210</i>
Contratista: <i>Copemi SAC Constructores</i>	Contratista <input checked="" type="checkbox"/> SMI	Sistema Transferido: <i>5210-01</i>
	Cliente <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/>	Subsistema: <i>5210-6001</i>

Plano de Referencia: <i>MQ13-189-00-5210-EE4500-00</i>	Estructura: <i>L1-6</i>	Tramo: <i>5210-LA-001</i>
Nº Especificación: <i>MQ13-189-Te-5210-CE4100-R2</i>		

**1.- CARACTERÍSTICAS DE ANCLAJE**

Tipo de barra: <i>Autoperforante T10</i>	Diámetro de barra: <i>30/11 mm</i>	Longitud de la barra: <i>2 m y 1 m</i>	Nº barras por retenida: <i>4 ***</i>
--	------------------------------------	--	--------------------------------------

**2.- CARACTERÍSTICAS DE EQUIPOS**

Equipo	Marca	Nº Serie	Certificado	Fecha de calibración
<i>Estacion Total</i>	<i>Top Con</i>	<i>G25654</i>	<i>K-EPCN-154C-QA-04-115</i>	<i>29-09-2019</i>
-	-	-	-	-

**3.- DATOS DE DISEÑO DE LECHADA**

Diseño de lechada: <i>DM-009</i>	Relación A/C: <i>0.5</i>	Cemento: <i>YUCA IP</i>	Agua: <i>Paga 12</i>	Aditivo: <i>Cable Jet</i>
----------------------------------	--------------------------	-------------------------	----------------------	---------------------------

**4.- EJECUCIÓN DE PERFORACIÓN**

Nº Taladro (Agujero)	Teórico según planos		Real obtenido en campo		Observaciones
	Longitud de taladro	Angulo de inclinación °	Longitud de taladro	Angulo de inclinación °	
<i>R1</i>	<i>6.50 m</i>	<i>40°</i>	<i>6.80 m</i>	<i>39°</i>	<i>inyección 27/02/20 (2 bolsas de cemento)</i>
<i>R2</i>	<i>6.50 m</i>	<i>40°</i>	<i>6.80 m</i>	<i>40°</i>	<i>inyección 27/02/20 (2 bolsas de cemento)</i>
<i>R3</i>	<i>6.50 m</i>	<i>40°</i>	<i>6.80 m</i>	<i>40°</i>	<i>inyección 27/02/20 (4 bolsas de cemento)</i>
<i>R4</i>	<i>6.50 m</i>	<i>40°</i>	<i>6.80 m</i>	<i>40°</i>	<i>inyección 27/02/20 (3 bolsas de cemento)</i>
<i>R5</i>	<i>6.50 m</i>	<i>40°</i>	<i>6.80 m</i>	<i>40°</i>	<i>inyección 27/02/20 (2 bolsas de cemento)</i>
<i>R6</i>	<i>6.50 m</i>	<i>40°</i>	<i>6.80 m</i>	<i>41°</i>	<i>inyección 27/02/20 (2 bolsas de cemento)</i>

Notas: \* *Angulo medido respecto a la vertical*  
 \*\* *Cantidad de agua utilizada: 21.5 l/bolsa de cemento*  
 \*\*\* *Longitud total de Retenida 7 m*

CONSTRUCCIÓN COPEMI	QA/QC COPEMI	CONSTRUCCIÓN SMI	QA SMI
Nombre: <i>Jorge Maraví Ortega</i>	Nombre: <i>Copemi S.A.C. CONSTRUCTORES</i>	Nombre: <i>E. Reyes</i>	Nombre: <i>SERVICIOS MINERÍA INC</i>
Firma: <i>[Firma]</i>	Firma: <i>[Firma]</i>	Firma: <i>[Firma]</i>	Firma: <i>[Firma]</i>
<i>JORGE MARAVÍ ORTEGA</i> JEFE DE OBRAS ELECTROMECANICAS	<i>ING. JORGE GALJUF G.</i> JEFE DE CALIDAD		<i>ING. WILY PARDÓ SANCHEZ</i> JEFE DE OBRAS ELECTROMECANICAS
Fecha: <i>27/02/20</i>	Fecha: <i>27/02/20</i>	Fecha: <i>27.2.20</i>	Fecha: <i>18/06/22</i>



REGISTRO DE PULL TEST DE BARRAS AUTO-PERFORANTES

Descripción del Tag: <i>Retenidas 7a y 8a de L1-6</i>		No. de Tag: <i>SEL-6001-S-037</i>
No. de Contrato: K-EPCN-154C	Clasificación de Inspección	Área/Unidad: <i>5210</i>
Contratista: Copemi S.A.C. Constructores	Contratista <input checked="" type="checkbox"/> SMI <input checked="" type="checkbox"/>	Sistema Transferido: <i>5210-01</i>
	Cliente <input type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/>	Subsistema: <i>5210-6001</i>

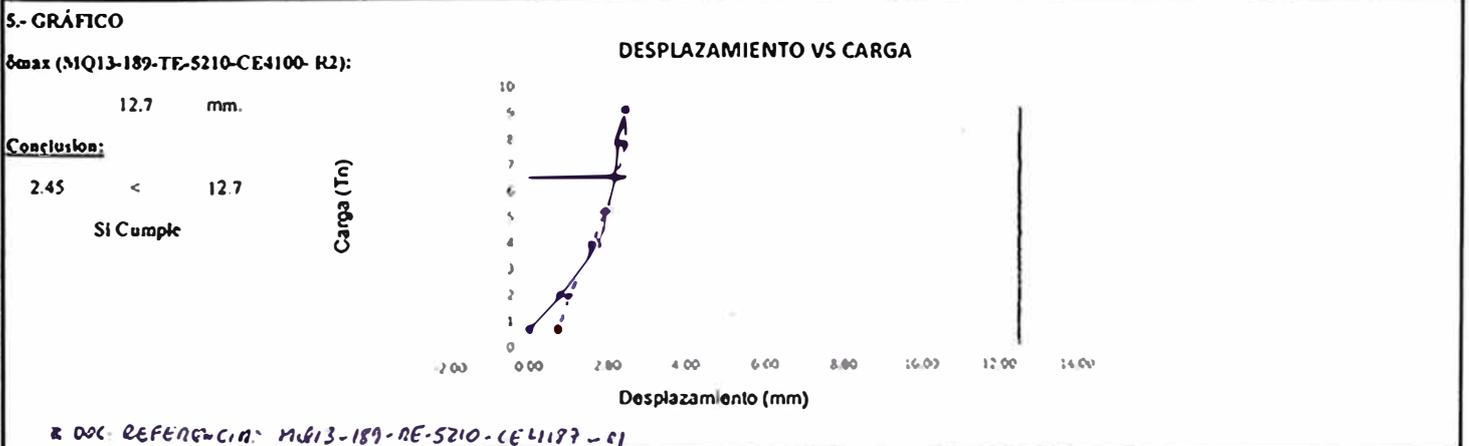
Plano de Referencia: MQ13-189-DR-5210-EE4305_R2	Estructura: L1-6 (Retenida: R1)	Tramo: 5210-LA-001
N° Especificación: MQ13-189-TE-5210-CE4100_R2 / MQ13-189-CM-5210-CE2201_R1		

2				
Tipo de barra: Autoperforante Titán	Diámetro de barra: 30/11 mm.	Carga de Trabajo (Ct): 6.5	Carga de ensayo (1.4xCt): 9.1 ton	
Longitud total: 7 m.	Longitud externa: 0.2 m.	Longitud libre: 0.5 m.	Longitud anclada: 6.3 m.	

2.- CARACTERÍSTICAS DE EQUIPOS				
Equipo	Marca	N° Serie	Certificado	Fecha de calibración
K-EPCN-154C-QA-CER-151	ACCUD	8321022	MS-0169-2021	10/12/2019
K-EPCN-154C-QA-CER-146	ENERPAC	D5016K	INF-1E-354-19	4/12/2019

3.- DATOS DE DISEÑO DE LECHADA				
Diseño de lechada: DM-009	Relación A/C: 0.50	Cemento: Yura IP	Agua: Poza C2	Aditivo: Cable Jet

4.- EJECUCIÓN DE ENSAYO								
Hora	Tiempo de aplicación (min)	Fase de carga (% Ct)	Carga (Tn) (Fc x Ct)	Presión del manómetro (PSI)	Desplazamiento de barra autoperforante (mm)			
					Lectura	Δδ	Total	
14:47:00	0:10:00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	
14:57:00	0:10:00	0.10	0.65	146.135	1.65	0.00	0.00	
15:07:00	0:10:00	0.30	1.95	371.629	2.44	0.79	0.79	
15:17:00	0:10:00	0.60	3.90	709.828	3.37	0.93	1.72	
15:27:00	0:10:00	0.80	5.20	935.265	3.64	0.27	1.99	
15:37:00	0:10:00	1.00	6.50	1160.680	3.82	0.18	2.17	
15:47:00	0:13:00	1.20	7.80	1386.071	3.92	0.10	2.27	
16:00:00	0:10:00	1.40	9.10	1611.440	4.10	0.18	2.45	
16:10:00	0:10:00	1.20	7.80	1386.071	4.08	0.02	2.43	
16:20:00	0:10:00	1.00	6.50	1160.680	3.88	0.20	2.23	
16:30:00	0:10:00	0.80	5.20	935.265	3.58	0.30	1.93	
16:40:00	0:10:00	0.60	3.90	709.828	3.26	0.32	1.61	
16:50:00	0:10:00	0.30	1.95	371.629	2.68	0.58	1.03	
17:00:00	0:10:00	0.10	0.65	146.135	2.40	0.28	0.75	
							δ max. Registrado:	2.45



CONSTRUCCIÓN COPEMI	QA/QC COPEMI	CONSTRUCCIÓN SMI	QA SMI
Nombre: <i>[Signature]</i>	Nombre: <i>[Signature]</i>	Nombre: <i>E. Reyes</i>	Nombre: <i>[Signature]</i>
Firma: <i>[Signature]</i>	Firma: <i>[Signature]</i>	Firma: <i>[Signature]</i>	Firma: <i>[Signature]</i>
<b>ING. JORGE GALJUF G.</b> JEFE DE CALIDAD	<b>ING. JORGE GALJUF G.</b> JEFE DE CALIDAD		<b>ING. JUAN PABLO SANCHEZ</b> CIP 129388
Fecha: 05.03.20	Fecha: 05.03.20	Fecha: 5.3.20	Fecha: 12/06/22





**REGISTRO DE PULL TEST DE BARRAS AUTO-PERFORANTES**

Descripción del Tag: <i>Retenidas y accesorios L1-8</i>		No. de Tag: <i>5210-6001-5-038</i>
No. de Contrato: K-EPCN-154C	Clasificación de Inspección	Área/Unidad: <i>5210</i>
Contratista: Copemi S.A.C. Constructores	Contratista <input checked="" type="checkbox"/> SMI	Sistema Transferido: <i>5210-01</i>
	Cliente <input type="checkbox"/>	Subsistema: <i>5210-6001</i>
Otro <input type="checkbox"/>		

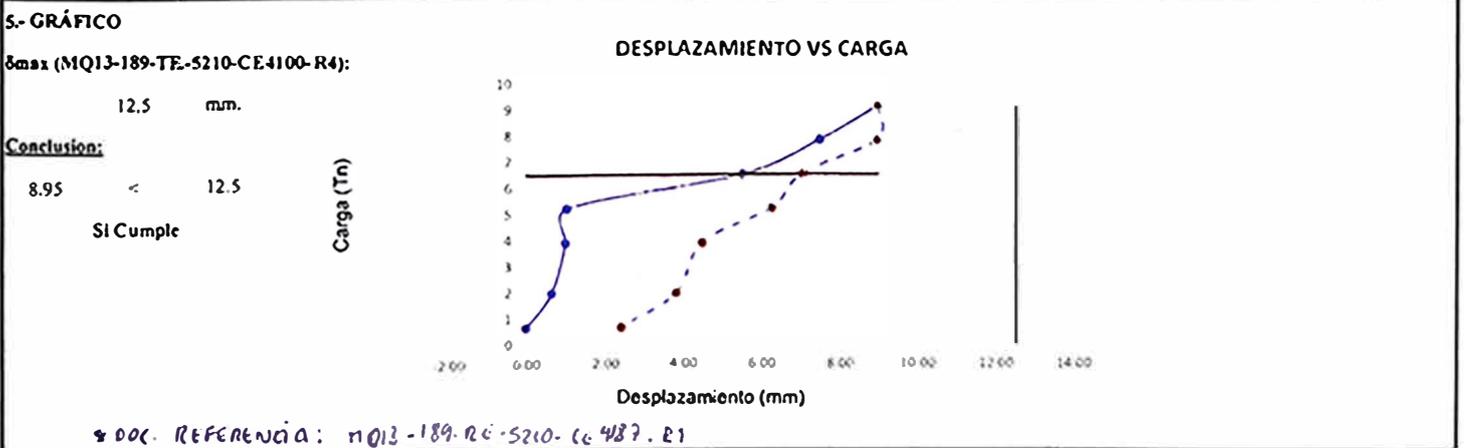
Plano de Referencia: MQ13-189-DR-5210-FE4305_R2	Estructura: L1-8 (Retenida: R4)	Tramo: 5210-1A-001
N° Especificación: MQ13-189-TE-5210-CE4100_R4 / MQ13-189-CM-5210-CE2201_R1		

2	Tipo de barra: Autoperforante Titán	Diámetro de barra: 30/11 mm.	Carga de Trabajo (Ct): 6.5	Carga de ensayo (1.4xCt): 9.1 ton
	Longitud total: 7 m.	Longitud externa: 0.2 m.	Longitud libre: 0.5 m.	Longitud anclada: 6.3 m

2.- CARACTERÍSTICAS DE EQUIPOS				
Equipo	Marca	N° Serie	Certificado	Fecha de calibración
K-EPCN-154C-QA-CER-151_R0	ACCLUD	8321022	MS-0169-2021	10/12/2019
K-EPCN-154C-QA-CER-146_R1	ENERPAC	D5016K	INF-LE-354-19	4/12/2019

3.- DATOS DE DISEÑO DE LECHADA				
Diseño de lechada: DM-009	Relación A/C 0.50	Cemento: Yura IP	Agua: Poza C2	Aditivo: Cable Jet

4.- EJECUCIÓN DE ENSAYO							
Hora	Tiempo de aplicación (min)	Fase de carga (% Ct)	Carga (Tn) (Fc x Ct)	Presión del manómetro (PSI)	Desplazamiento de barra autoperforante (mm)		
					Lectura	Δδ	Total
14:50:00	0:10:00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00
15:00:00	0:10:00	0.10	0.65	146.135	0.26	0.00	0.00
15:10:00	0:10:00	0.30	1.95	371.629	0.89	0.63	0.63
15:20:00	0:10:00	0.60	3.90	709.828	1.25	0.36	0.99
15:30:00	0:10:00	0.80	5.20	935.265	1.28	0.03	1.02
15:40:00	0:10:00	1.00	6.50	1160.680	5.77	4.49	5.51
15:50:00	0:10:00	1.20	7.80	1386.071	7.71	1.94	7.45
16:00:00	0:10:00	1.40	9.10	1611.440	9.21	1.50	8.95
16:10:00	0:10:00	1.20	7.80	1386.071	9.18	0.03	8.92
16:20:00	0:10:00	1.00	6.50	1160.680	7.26	1.92	7.00
16:30:00	0:10:00	0.80	5.20	935.265	6.50	0.76	6.24
16:40:00	0:10:00	0.60	3.90	709.828	4.74	1.76	4.48
16:50:00	0:10:00	0.30	1.95	371.629	4.08	0.66	3.82
17:00:00	0:10:00	0.10	0.65	146.135	2.68	1.40	2.42
δ max. Registrado:							8.95



CONSTRUCCIÓN COPEMI	QA/QC COPEMI	CONSTRUCCIÓN SMI	QA SMI
Nombre: <i>Jorge Maraví Ortega</i>	Nombre: <i>Jorge Galjuf G.</i>	Nombre: <i>E. Reyes</i>	Nombre: <i>Juan Pardo Sanchez</i>
Firma: <i>[Signature]</i>	Firma: <i>[Signature]</i>	Firma: <i>[Signature]</i>	Firma: <i>[Signature]</i>
Fecha: 10-10-20	Fecha: 10-10-20	Fecha: 10.10.20	Fecha: 10/10/22

**ANEXO 8:**

RESULTADOS DE ENSAYOS A COMPRESIÓN DE LECHADA DE  
CEMENTO PARA INYECCIÓN.



REGISTRO DE ENSAYOS A COMPRESIÓN DE TESTIGOS DE LECHADA DE CEMENTO (ASTM C-109)

Descripción del Tag: Lechada para retenida L6-4			No de Tag: 2030-6004-0-013		
Número de Contrato: K-EPCN-154C		Clasificación de Inspección		Área/Unidad: 2000/2030	
Contratista: COPEMI SAC CONSTRUCTORES		Contratista: <input checked="" type="checkbox"/>		Sistema Transferido: 2030-01	
Registro N°: 001		SMI: <input checked="" type="checkbox"/>		Subsistema: 2030-6001	
COD. MATRIZA: CL		TEMPERATURA DE MEZCLA		19.4 °C	
CUBILRATON: 035		TEMPERATURA AMBIENTE		23.8 °C	
FECHA: 09-03-20					

N° DE TESTIGO	UBICACIÓN / ELEMENTO	CLASE DE LECHADA (relación a/c)	CÓDIGO DE TESTIGO	FECHA DE ENSAYO		EDAD (días)	LARGO (mm)	ANCHO (mm)	ÁREA DE TESTIGO (mm²)	CARGA SOMETIDA (N)	RESISTENCIA ALCANZADA			RESISTENCIA REQUERIDA SEGÚN EZZT (Kg/cm²)	OBSERVACIÓN
				MOLDEO (fecha)	ROTURA (fecha)						RESIST.	RESIST. PROMEDIO (MPa)	RESIST. PROMEDIO (Kg/cm²)		
				(fecha)	(fecha)						(MPa)	(MPa)	(Kg/cm²)		
1		0.5	CL-035 A	09-03-20	16-03-20	7	50.9	51.2	2606.1	83300.0	31.3				Si Cumple
2	L6-4	0.5	CL-035 B	09-03-20	16-03-20	7	50.9	51.2	2606.1	76900.0	28.9	29.1	296.7	140	Si Cumple
3	RETENIDAS	0.5	CL-035 C	09-03-20	16-03-20	7	50.9	51.1	2601.0	71600.0	27.0				Si Cumple
4	R1 @ R10	0.5	CL-035 D	09-03-20	05-10-20	210	50.9	51.2	2606.1	157100.0	59.1				Si Cumple
5		0.5	CL-035 E	09-03-20	05-10-20	210	50.9	51.2	2606.1	161000.0	60.6	60.6	617.6	210	Si Cumple
6		0.5	CL-035 F	09-03-20	05-10-20	210	50.9	51.1	2601.0	164400.0	62.0				Si Cumple

OBSERVACIONES: Se realizaron las roturas fuera de la fecha correspondiente debido a la desmovilización por motivos de emergencia sanitaria. Los días de rotura equivalentes se enumeraron descritos en el cuadro.

TÉCNICO DE LABORATORIO		QC COPEMI		QA SMI	
Nombre: Doris María Grandeza	Nombre: COPEMI SAC CONSTRUCTORES	Nombre: Doris María Grandeza			
Firma:	Firma:	Firma:			
Fecha: 05-10-2020	Fecha: 05-10-20	Fecha: 10/11/2020			



REGISTRO DE ENSAYOS A COMPRESIÓN DE TESTIGOS DE LECHADA DE CEMENTO (ASTM C-109)

Descripción del Tag: <i>Lechada para retenidas L6-5</i>				No. de Tag: <i>2030-6001-A-014</i>			
Número de Contrato: <i>K-EPCN-154C</i>		Clasificación de Inspección		Área/Unidad: <i>2000/2030</i>		Sistema Transferido: <i>2030-01</i>	
Contratista: <i>COPEMI SAC CONSTRUCTORES</i>		Cocontratista <input checked="" type="checkbox"/>		Cliente <input type="checkbox"/>		Subsistema: <i>2030-6001</i>	
Registro N°: <i>001</i>		SMI <input checked="" type="checkbox"/>		Otro <input type="checkbox"/>			
COD MULTIPLO: <i>CL</i>		TEMPERATURA DE MEZCLA: <i>22.3 °C</i>		COD PLATINO: <i>032</i>		TEMPERATURA AMBIENTE: <i>22.7 °C</i>	
FECHA: <i>02-03-20</i>							

N° DE TESTIGO	UBICACIÓN / ELEMENTO	CLASE DE LECHADA (relación a/c)	CÓDIGO DE TESTIGO	FECHA DE ENSAYO		EDAD (días)	LARGO (mm)	ANCHO (mm)	ÁREA DE TESTIGO (mm²)	CARGA SONETIDA (N)	RESISTENCIA ALCANZADA			RESISTENCIA REQUERIDA SEGUN EETT (Kg/cm²)	OBSERVACIÓN
				MOLDEO (fecha)	ROTURA (fecha)						RESIST. (MPa)	RESIST. PROMEDIO (MPa)	RESIST. PROMEDIO (Kg/cm²)		
				1	L6-5 RETENIDAS R1 @R5						0.5	CL-032A	02-03-20		
2	0.5	CL-032B	02-03-20	09-03-20		7	51.0	50.3	2565.3	80600.0	30.8	Si cumple			
3	0.5	CL-032C	02-03-20	09-03-20		7	51.5	50.8	2616.2	78200.0	29.3	Si cumple			
4	0.5	CL-032D	02-03-20	05-10-20		217	51.3	51.3	2631.7	154200.0	57.5	55.4	565.0	210	Si cumple
5	0.5	CL-032E	02-03-20	05-10-20		217	51.0	51.2	2611.2	145400.0	54.6				Si cumple
6	0.5	CL-032F	02-03-20	05-10-20		217	51.3	51.0	2616.3	144800.0	54.2				Si cumple

OBSERVACIONES: *Se realizaron las roturas fuera de la fecha correspondiente debido a la desmontación por motivos de emergencia sanitaria. Los días de rotura equivalentes se encuentran descritos en el cuadro.*

TÉCNICO DE LABORATORIO		QC COPEMI		QA SMI	
Nombre: <i>BONS (Dora) Aranda?</i>	Nombre:	Nombre: <i>JOSE MORALES</i>	Nombre:	Nombre:	Nombre:
Firma:	Firma: <i>MARILEY ANTONIA PUCAR S.</i>	Firma:	Firma:	Firma:	Firma:
Fecha: <i>05-10-2020</i>	Fecha: <i>05-10-20</i>	Fecha: <i>10/11/2020</i>	Fecha:	Fecha:	Fecha:



REGISTRO DE ENSAYOS A COMPRESIÓN DE TESTIGOS DE LECHADA DE CEMENTO (ASTM C-109)

Descripción del Tag: <i>Lechadas para reténidas LB-5</i>				No. de Tag: <i>2030-6001-0-014</i>			
Número de Contrato: <i>K-EPCN-154C</i>		Clasificación de Inspección		Área/Unidad: <i>2000/2030</i>			
Contratista: <i>COPEMI SAC CONSTRUCTORES</i>		Contratista <input checked="" type="checkbox"/>		Sistema Transferido: <i>2030-01</i>			
Registro N°: <i>001</i>		SMI <input checked="" type="checkbox"/>		Subsistema: <i>2030-6001</i>			
COD. MUESTRA: <i>CL</i>		TEMPERATURA DE MUESTRA: <i>20.1 °C</i>					
CORRELATIVO: <i>033</i>		TEMPERATURA AMBIENTE: <i>16.4 °C</i>					
FECHA: <i>03-03-20</i>							

N° DE TESTIGO	UBICACIÓN / ELEMENTO	CLASE DE LECHADA (relación a/c)	CÓDIGO DE TESTIGO	FECHA DE ENSAYO		EDAD (días)	LARGO (mm)	ANCHO (mm)	ÁREA DE TESTIGO (mm²)	CARGA SOMETIDA (N)	RESISTENCIA ALCANZADA			RESISTENCIA REQUERIDA SEGÚN EETT (Kg/cm²)	OBSERVACIÓN
				MOLDEO (fecha)	ROTURA (fecha)						RESIST. (MPa)	RESIST. PROMEDIO (MPa)	RESIST. PROMEDIO (Kg/cm²)		
				1	<i>LB-5 RETENIDAS R6 @ R10</i>						<i>0.5</i>	<i>CL-033A</i>	<i>03-03-20</i>		
2	<i>0.5</i>	<i>CL-033B</i>	<i>03-03-20</i>	<i>10-03-20</i>		<i>7</i>	<i>50.8</i>	<i>51.2</i>	<i>2601.0</i>	<i>69400.0</i>	<i>26.2</i>	<i>28.9</i>	<i>294.6</i>	<i>140</i>	<i>Si cumple</i>
3	<i>0.5</i>	<i>CL-033C</i>	<i>03-03-20</i>	<i>10-03-20</i>		<i>7</i>	<i>51.0</i>	<i>50.7</i>	<i>2585.7</i>	<i>82000.0</i>	<i>31.1</i>				<i>Si cumple</i>
4	<i>0.5</i>	<i>CL-033D</i>	<i>03-03-20</i>	<i>05-10-20</i>		<i>216</i>	<i>50.6</i>	<i>50.6</i>	<i>2560.4</i>	<i>145400.0</i>	<i>55.7</i>				<i>Si cumple</i>
5	<i>0.5</i>	<i>CL-033E</i>	<i>03-03-20</i>	<i>05-10-20</i>		<i>216</i>	<i>50.9</i>	<i>50.7</i>	<i>2580.6</i>	<i>138300.0</i>	<i>52.6</i>	<i>52.4</i>	<i>534.8</i>	<i>210</i>	<i>Si cumple</i>
6	<i>0.5</i>	<i>CL-033F</i>	<i>03-03-20</i>	<i>05-10-20</i>		<i>216</i>	<i>50.8</i>	<i>50.9</i>	<i>2585.7</i>	<i>129400.0</i>	<i>49.1</i>				<i>Si cumple</i>

OBSERVACIONES: *Se realizaron las roturas justo a la fecha correspondientes debido a la desmenuzación por efectos de imbricación sucroca. Los días de rotura equivalentes se encuentran descritos en el cuadro.*

TÉCNICO DE LABORATORIO		QC COPEMI		QA SMI	
Nombre: <i>Boris Juan Gonzalez</i>	Nombre: <i>COPEMI SAC CONSTRUCTORES</i>	Nombre: <i>DR. ALVARO</i>			
Firma:	Firma:	Firma:			
Fecha: <i>05-10-2020</i>	Fecha: <i>05-10-20</i>	Fecha: <i>10/11/2020</i>			



REGISTRO DE ENSAYOS A COMPRESIÓN DE TESTIGOS DE LECHADA DE CEMENTO (ASTM C-109)

Descripción del Tag: <i>Lechada para retenidas L6-7</i>		No de Tag: <i>2030-6001-8-015</i>	
Número de Contrato: <i>K-EPCN-154C</i>	Clasificación de Inspección	Área/Unidad: <i>2000/2030</i>	
Contratista: <i>COPEMI SAC CONSTRUCTORES</i>	Contratista <input checked="" type="checkbox"/>	Cliente <input type="checkbox"/>	Sistema Transferido: <i>2030-01</i>
Registro N°: <i>CO1</i>	SMI <input checked="" type="checkbox"/>	Otro <input type="checkbox"/>	Subsistema: <i>2030-6001</i>
COD. MUESTRA: <i>CL</i>	TEMPERATURA DE MUESTRA: <i>19.4 °C</i>		
CORRELATIVO: <i>030</i>	TEMPERATURA AMBIENTE: <i>22.7 °C</i>		
FECHA: <i>27-02-20</i>			

N° DE TESTIGO	UBICACIÓN / ELEMENTO	CLASE DE LECHADA (relación a/c)	CÓDIGO DE TESTIGO	FECHA DE ENSAYO		EDAD (días)	LARGO (mm)	ANCHO (mm)	ÁREA DE TESTIGO (mm <sup>2</sup> )	CARGA SOMETIDA (N)	RESISTENCIA ALCANZADA			RESISTENCIA REQUERIDA SEGÚN EETT (Kg/cm <sup>2</sup> )	OBSERVACIÓN
				MOLDEO (fecha)	ROTURA (fecha)						RESIST. (MPa)	RESIST. PROMEDIO (MPa)	RESIST. PROMEDIO (Kg/cm <sup>2</sup> )		
				1	<i>L6-7 RETENIDAS 2- @ 210</i>						0.5	CL-030A	27-02-20		
2	0.5	CL-030B	27-02-20	05-03-20		7	50.7	50.9	2580.6	72800.0	27.7	<i>Si cumple</i>			
3	0.5	CL-030C	27-02-20	05-03-20		7	50.9	51.0	2595.9	74100.0	28.0	<i>Si cumple</i>			
4	0.5	CL-030D	27-02-20	05-10-20		221	50.8	50.9	2585.7	138300.0	52.5	51.6	526.1	210	<i>Si cumple</i>
5	0.5	CL-030E	27-02-20	05-10-20		221	50.7	50.6	2565.4	134700.0	51.5				<i>Si cumple</i>
6	0.5	CL-030F	27-02-20	05-10-20		221	51.0	51.1	2606.1	135100.0	50.8				<i>Si cumple</i>

OBSERVACIONES *Se realizaron las roturas a fines de la fecha correspondiente debido a la desmovilización por motivos de emergencia sanitaria. Los días de roturas equivalentes se encuentran descritas en el cuadro.*

TÉCNICO DE LABORATORIO		QC COPEMI		QA SMI	
Nombre: <i>IBENIS Dora Lorenz</i>	Nombre: <i>COPEMI S.A.C. CONSTRUCTORES</i>	Nombre: <i>FOX</i>	Nombre: <i>HWB</i>	Nombre: <i>FOX</i>	Nombre: <i>HWB</i>
Firma:	Firma:	Firma:	Firma:	Firma:	Firma:
Fecha: <i>05-10-2020</i>	Fecha: <i>05-10-20</i>	Fecha: <i>10/11/2020</i>	Fecha: <i>10/11/2020</i>	Fecha: <i>10/11/2020</i>	Fecha: <i>10/11/2020</i>



REGISTRO DE ENSAYOS A COMPRESIÓN DE TESTIGOS DE LECHADA DE CEMENTO (ASTM C-109)

Descripción del Tag: <i>Lechada para retencidos LG-8</i>		No. de Tag: <i>2030-6001-B-016</i>	
Número de Contrato: <i>K-EPCN-154C</i>		Clasificación de Inspección:	
Contratista: <i>COPEMI SAC CONSTRUCTORES</i>		Contratista: <input checked="" type="checkbox"/>	Ciente: <input type="checkbox"/>
Registro N°: <i>001</i>		SMI: <input checked="" type="checkbox"/>	Otro: <input type="checkbox"/>
COD MUESTRA: <i>CL</i>		TEMPERATURA DE MEZCLA: <i>17.1 °C</i>	
CORRELATIVO: <i>028</i>		TEMPERATURA AMBIENTE: <i>18.5 °C</i>	
FECHA: <i>24-02-20</i>			

N° DE TESTIGO	UBICACIÓN / ELEMENTO	CLASE DE LECHADA (relación a/c)	CÓDIGO DE TESTIGO	FECHA DE ENSAYO		EDAD (Días)	LARGO (mm)	ANCHO (mm)	ÁREA DE TESTIGO (mm <sup>2</sup> )	CARGA SOMETIDA (N)	RESISTENCIA ALCANZADA			RESISTENCIA REQUERIDA SEGUN EETT (Kg/cm <sup>2</sup> )	OBSERVACIÓN
				MOLDEO (fecha)	ROTURA (fecha)						RESIST. (MPa)	RESIST. PROMEDIO (MPa)	RESIST. PROMEDIO (Kg/cm <sup>2</sup> )		
				1	<i>LG-8 RETENIDAS</i>						<i>0.5</i>	<i>CL-028A</i>	<i>24.02.20</i>		
2	<i>0.5</i>	<i>CL-028B</i>	<i>24.02.20</i>	<i>02.03.20</i>		<i>7</i>	<i>50.6</i>	<i>51.4</i>	<i>2600.8</i>	<i>80800.0</i>	<i>30.5</i>	<i>30.3</i>	<i>309.3</i>	<i>140</i>	<i>Si cumple</i>
3	<i>0.5</i>	<i>CL-028C</i>	<i>24.02.20</i>	<i>02.03.20</i>		<i>7</i>	<i>50.9</i>	<i>51.3</i>	<i>2611.2</i>	<i>84100.0</i>	<i>31.6</i>				<i>Si cumple</i>
4	<i>0.5</i>	<i>CL-028D</i>	<i>24.02.20</i>	<i>05.10.20</i>		<i>224</i>	<i>51.3</i>	<i>51.0</i>	<i>2616.3</i>	<i>156500.0</i>	<i>58.7</i>				<i>Si cumple</i>
5	<i>0.5</i>	<i>CL-028E</i>	<i>24.02.20</i>	<i>05.10.20</i>		<i>224</i>	<i>50.7</i>	<i>50.6</i>	<i>2565.4</i>	<i>165100.0</i>	<i>63.1</i>	<i>59.7</i>	<i>608.3</i>	<i>210</i>	<i>Si cumple</i>
6	<i>0.5</i>	<i>CL-028F</i>	<i>24.02.20</i>	<i>05.10.20</i>		<i>224</i>	<i>51.0</i>	<i>50.9</i>	<i>2595.9</i>	<i>151400.0</i>	<i>57.2</i>				<i>Si cumple</i>

OBSERVACIONES: *Se realizaron las roturas fuera de las fechas correspondientes debido a la desmovilización por motivo de emergencia sanitaria. Los días de roturas equivalentes si estuvieran descritos en el cuadro.*

TÉCNICO DE LABORATORIO		QC COPEMI		QA SMI	
Nombre: <i>Boris Valdez</i>		Nombre: <i>COPEMI S.A.C. CONSTRUCTORES</i>		Nombre: <i>Felix Olmos</i>	
Firma: <i>[Signature]</i>		Firma: <i>[Signature]</i> <i>MARIALINDA PAUCAR S.</i> <i>SUPERVISOR DE SALUD</i>		Firma: <i>[Signature]</i>	
Fecha: <i>05-10-2020</i>		Fecha: <i>05-10-20</i>		Fecha: <i>10/11/2020</i>	



REGISTRO DE ENSAYOS A COMPRESIÓN DE TESTIGOS DE LECHADA DE CEMENTO (ASTM C-109)

Descripción del Tag: <i>Lechada para retenidas LG-8</i>		No. de Tag: <i>2030-6001-8-016</i>	
Número de Contrato: <i>K-EPCN-154C</i>		Clasificación de Inspección	
Contratista: <i>COPEMI SAC CONSTRUCTORES</i>		Contratista <input checked="" type="checkbox"/> Circulo <input type="checkbox"/>	
Registro N°: <i>001</i>		SNI <input checked="" type="checkbox"/> Otro <input type="checkbox"/>	
Área/Unidad: <i>2000/2030</i>		Sistema Transferido: <i>2030-01</i>	
Subsistema: <i>2030-6001</i>		Temperatura de Mezcla: <i>19.9 °C</i>	
Temperatura Ambiente: <i>18.3 °C</i>		Fecha: <i>25-02-20</i>	

N° DE TESTIGO	UBICACIÓN / ELEMENTO	CLASE DE LECHADA (relación a/c)	CÓDIGO DE TESTIGO	FECHA DE ENSAYO		EDAD (días)	LARGO (mm)	ANCHO (mm)	ÁREA DE TESTIGO (mm²)	CARGA SOMETIDA (N)	RESISTENCIA ALCANZADA			RESISTENCIA REQUERIDA SEGÚN EETT (kg/cm²)	OBSERVACIÓN
				MOLDEO (fecha)	ROTURA (fecha)						RESIST. (MPa)	RESIST. PROMEDIO (MPa)	RESIST. PROMEDIO (kg/cm²)		
1	LG-8 RETENIDAS R1 @ R5	0.5	CL-029A	25-02-20	03-03-20	7	51.4	51.1	2626.5	62900.0	23.3				Si Cumple
2		0.5	CL-029B	25-02-20	03-03-20	7	50.7	51.3	2600.9	61700.0	23.3	23.6	240.5	140	Si Cumple
3		0.5	CL-029C	25-02-20	03-03-20	7	51.1	51.1	2611.2	64300.0	24.1				Si Cumple
4		0.5	CL-029D	25-02-20	05-10-20	223	51.0	51.3	2616.3	129700.0	48.6				Si Cumple
5		0.5	CL-029E	25-02-20	05-10-20	223	51.2	51.1	2616.3	136600.0	51.2	51.1	521.1	210	Si Cumple
6		0.5	CL-029F	25-02-20	05-10-20	223	51.1	51.1	2611.2	142100.0	53.5				Si Cumple

OBSERVACIONES: *Se realizaron las roturas fuera de la fecha correspondiente debido a la desmovilización por motivos de emergencia sanitaria. Los días de roturas equivalentes se encuentran descritos en el cuadro.*

TÉCNICO DE LABORATORIO	QC COPEMI	QA SNI
Nombre: <i>Boris Diaz Estrada</i>	Nombre: <i>COPEMI S.A.S. CONSTRUCTORES</i>	Nombre: <i>JOSE ANTONIO</i>
Firma:	Firma: <i>MARIA ALEJANDRA PAUCARIS</i> SUPERVISOR DE CALIDAD	Firma:
Fecha: <i>05-10-2020</i>	Fecha: <i>05-10-20</i>	Fecha: <i>10/11/2020</i>

<b>COMPENDIO DE CASOS DE LECCIONES APRENDIDAS.</b>	
Casos identificados durante la ejecución que amerita ser resaltados para su valoración.	
<p><b>Caso:</b> Seleccionar el sistema de perforación.</p> <p><b>Descripción:</b> Pasar de sistema TH a DTH-C significó dejar de usar las brocas de sacrificio inicialmente contemplado. Material no usado que puede ser calificado como desperdicio.</p> <p style="text-align: center;">Broca contemplada inicialmente (TH).                      Broca usada mayoritariamente (DTH-C).</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">   </div>	<p><b>Caso:</b> Seleccionar el sistema de perforación.</p> <p><b>Descripción:</b> Pasar de sistema TH a DTH C significó cambiar de drifter BBC 120F a unidad de rotación MPL 22/007.</p> 
<p><b>Caso:</b> Priorizar la selección de equipos livianos.</p> <p><b>Descripción:</b> Esto permitió trasladar el equipo hacia ubicación de acceso limitado mediante medios manuales. Se visualiza el equipo perforador arrastrado a pulso hacia L31-6, carante de acceso carrosable.</p> 	<p><b>Caso:</b> Priorizar la selección de equipos livianos.</p> <p><b>Descripción:</b> Se visualiza la inyección en L2 14, poste carante de acceso carrosable. El equipo inyector se trasladó a pulso hasta el lugar de trabajo.</p> 
<p><b>Caso:</b> Perforación DTH-C en todo tipo de suelos.</p> <p><b>Descripción:</b> En la imagen se muestra la perforación DTH-C en L5-13 en suelo aluvional con presencia de bolones de canto rodado y matriz de limo y arena. Para estos casos se recomienda usar revestimiento temporal.</p> 	<p><b>Caso:</b> Perforación DTH-C en todo tipo de suelos.</p> <p><b>Descripción:</b> Nótese el detalle de rastros de lechada de cemento en la boca de taladro y varillaje (en nube), la cual se usó para dar estabilidad a las paredes del hoyo incluso en condiciones agresivas como en L5-13.</p> 
<p><b>Caso:</b> Controlar la fragua del cemento usado para revestimiento.</p> <p><b>Descripción:</b> Cuando se usa lechada de cemento para estabilizar las paredes del hoyo se debe asegurar que éste frague mediante la rotación del varillaje. En L17 2 no se controló bien esto y se tapó el hoyo con cemento.</p> 	<p><b>Caso:</b> Controlar la fragua del cemento usado para revestimiento.</p> <p><b>Descripción:</b> El fragmento de cemento mostrado fue recuperado a -0.5 m de un taladro en L17-2. Se ve que cumple bien la función de revestir, pero que al no fraguar lo suficientemente la lechada de cemento se acumuló en un punto ocasionando el taponamiento.</p> 

**COMPENDIO DE CASOS DE LECCIONES APRENDIDAS.**

Casos identificados durante la ejecución que amerita ser resaltados para su valoración.

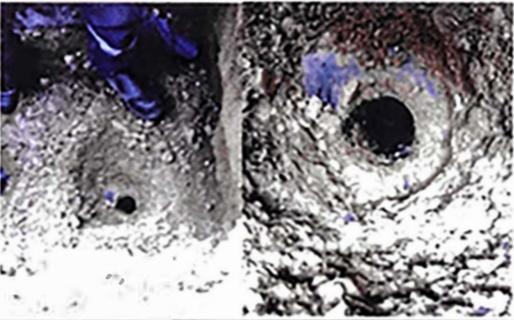
**Caso:** Identificación de vios ocultos.

**Descripción:** Se muestra la perforación para instalación de micropilotes anclajes en el Edificio Administrativo. No se tenía identificado la reubicación de una tubería contra incendio y que ésta pasaba debajo de la cimentación proyectada.



**Caso:** Identificación de vios ocultos.

**Descripción:** La consecuencia de la tubería no identificada fue que la perforación la atravesó lo que calificó como accidente con daño a la propiedad. Posterior a este evento se intensificó la verificación y permiso de perforación por el área de piping.



**Caso:** Atención mecánica oportuna de equipos.

**Descripción:** Esta debe estar a cargo de personal competente y con experiencia en equipos similares para garantizar la operatividad. Se tuvo que alquilar un equipo perforador para reemplazar a otra que fue desmontada de obra para solucionar un problema en el motor de avance.

Equipo alquilado.



**Caso:** Atención mecánica oportuna de equipos.

**Descripción:** El equipo inyector también tuvo problemas en el sistema de succión y bombeo. Tuvo que ser desmontado hasta Lima, al igual que el equipo perforador. Se tuvo que alquilar una inyectora.

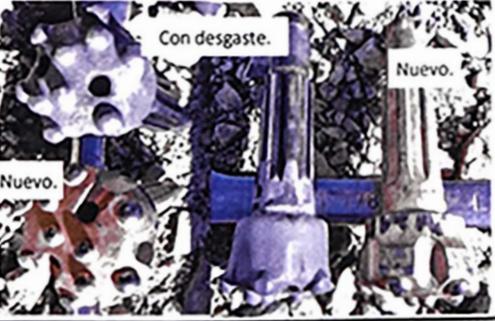
Equipo alquilado.



**Caso:** Controlar desgaste de herramientas de perforación.

**Descripción:** En terrenos con derrumbe agresivo se incrementa la fricción lateral en las herramientas, principalmente del martillo y la broca, lo que ocasiona desgaste prematuro y reducción del diámetro del hoyo generado.

Con desgaste. Nuevo. Nuevo.



**Caso:** Controlar desgaste de herramientas de perforación.

**Descripción:** En la izquierda se muestra rotura de disc valve, spring valve y foot valve (piezas internas del martillo DTH). En la derecha se ve desgaste prematuro de chuck - punta broca y de funda del martillo DTH.



**Caso:** Contar con martillo DTH y broca para contingencias.

**Descripción:** Cuando se presenten situaciones de atrapamiento de línea de perforación, un de las técnicas para destrabar es realizar una o más perforaciones tangentes para liberar la presión de terreno que lo mantiene atrapado.



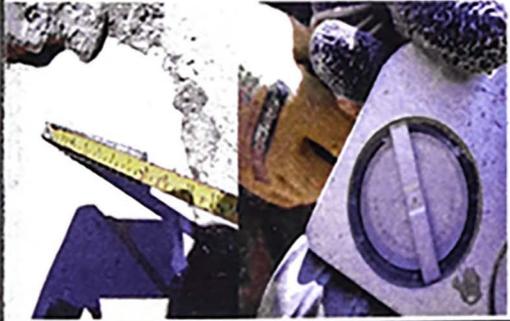
**Caso:** Contar con martillo DTH y broca para contingencias.

**Descripción:** En la imagen se muestra la perforación en el poste L14 4 donde se tuvo que realizar una perforación tangente para liberar el atrapamiento de la línea. Atrapamiento por derrumbamiento agresivo que no se pudo controlar con lechada de cemento como revestimiento.



**COMPENDIO DE CASOS DE LECCIONES APRENDIDAS.**

Casos identificados durante la ejecución que amerita ser resaltados para su valoración.

<p><b>Caso:</b> Priorizar controles de seguridad</p> <p><b>Descripción:</b> Aplicación de altos estándares de seguridad para evitar daños y/o afectación a la integridad y salud de las personas, a la propiedad y al medio ambiente. Era (es) una buena práctica la instalación de barricadas rígidas a los accesos cuando la pendiente era mayor a 10°.</p> 	<p><b>Caso:</b> Priorizar controles de seguridad</p> <p><b>Descripción:</b> En la imagen de muestra una bandeja para colocar los residuos de lechada de cemento y evitar su derrame hacia el medio ambiente.</p> 
<p><b>Caso:</b> Control de LS y <math>\beta</math> del anclaje.</p> <p><b>Descripción:</b> Controlar la longitud superior (que sobre sale del terreno) y el ángulo de inclinación, verificarlo inmediatamente después de la inyección.</p> 	<p><b>Caso:</b> Señalizar los anclajes.</p> <p><b>Descripción:</b> Se debe señalizar los anclajes para evitar ser dañados y/o removidos por otras actividades al no tener identificado su ubicación y existencia como en la imagen izquierda. En la imagen derecha se muestra el daño parcial al anclaje en L31 2</p> 
<p><b>Caso:</b> Asegurar el alineamiento retenida-anclaje-poste.</p> <p><b>Descripción:</b> La ubicación del anclaje, una vez definida, tiene casi nula tolerancia para un eventual desplazamiento accidental. En la imagen de ve la perforación en LB 13 para colocar un anclaje en reemplazo de otro que no está alineado.</p> 	<p><b>Caso:</b> Evaluar la necesidad de drenaje.</p> <p><b>Descripción:</b> Verificar las condiciones de drenaje en épocas de lluvia y sugiere su construcción. O en su defecto, previo a la instalación evitar que el anclaje se ubique en surcos de drenaje natural y quebradas. La imagen corresponde al poste LB-13 cuando ya fue entregado al cliente.</p> 
<p><b>Caso:</b> Monitorear la pendiente del terreno vs. ángulo del anclaje.</p> <p><b>Descripción:</b> En L12 6, mientras se perforaba, a los 1.5 m empezó a salir aire por los costados en señal de que el techo del taladro era superficial. En la inyección la lechada de cemento salió por los costados del 1 m. superficial. Se optó por profundizar 2 m el anclaje.</p> 	<p><b>Caso:</b> Evaluar el terreno y relieve en cada estructura y anclaje. Cada anclaje a perforar tuvo una historia diferente de acuerdo a cada terreno. La topografía juega un papel importante para ubicar y/o reubicar convenientemente el anclaje cuando corresponda. <u>Por eso es necesario un especialista que lidere la actividad.</u></p> <p><b>Descripción:</b></p> 

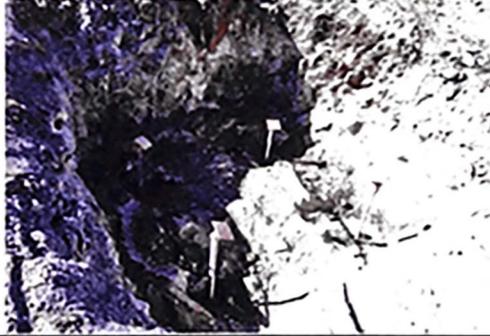
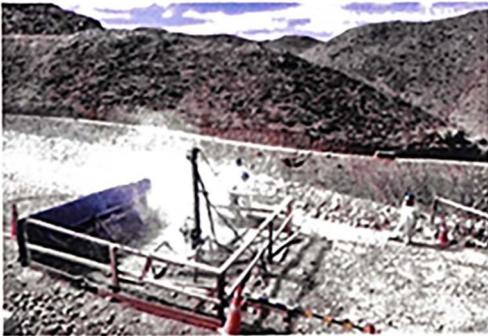
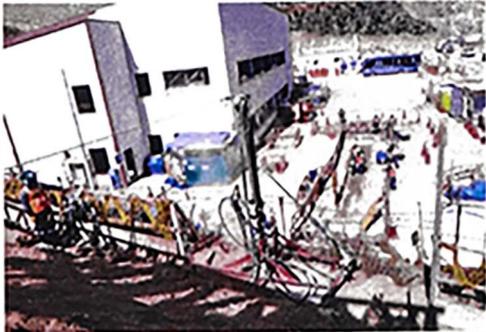
## REGISTRO FOTOGRÁFICO DE INSTALACIÓN DE JABALINAS PARA PUESTA A TIERRA.

## Instalación de jabalinas

<p><b>Estructura:</b> L8-19</p> <p><b>Descripción:</b> Se muestra la perforación para instalación de jabalina para puesta en tierra.</p> 	<p><b>Estructura:</b> L31-7</p> <p><b>Descripción:</b> Se muestra la perforación para instalación de jabalina para puesta en tierra.</p> 
<p><b>Estructura:</b> L31-7</p> <p><b>Descripción:</b> Colocación de cemento conductor en el taladro de manera similar a una inyección por gravedad por boca.</p> 	<p><b>Estructura:</b> L31-7</p> <p><b>Descripción:</b> Medición de la resistencia del sistema de puesta a tierra con jabalina con el uso del instrumento llamado telurómetro, según criterios eléctricos.</p> 
<p><b>Estructura:</b> LC7-2</p> <p><b>Descripción:</b> Se muestra la perforación para instalación de jabalina para puesta en tierra.</p> 	<p><b>Estructura:</b> LC7-2</p> <p><b>Descripción:</b> Se muestra la colocación el electrodo de cooper well y de cemento conductor.</p> 
<p><b>Estructura:</b> S.E. Agua Fresca (logada de Línea 11)</p> <p><b>Descripción:</b> Se muestra la perforación para instalación de jabalina para puesta en tierra.</p> 	<p><b>Estructura:</b> S.E. El Polvorin (llegada de Línea 14)</p> <p><b>Descripción:</b> Se muestra la perforación para instalación de jabalina para puesta en tierra.</p> 

**REGISTRO FOTOGRÁFICO DE INSTALACIÓN DE ANCLAJES PARA CIMENTACIÓN.**

Instalación de anclajes para cimentación.

<p><b>Estructura:</b> LT2 3 (Línea de 60 kV)</p> <p><b>Descripción:</b> Perforación para instalación de anclajes para cimentación de torre de celosía.</p> 	<p><b>Estructura:</b> LT2 3 (Línea de 60 kV)</p> <p><b>Descripción:</b> Disposición de los anclajes instalados.</p> 
<p><b>Estructura:</b> LT2 3 (Línea de 60 kV)</p> <p><b>Descripción:</b> Se visualiza los anclajes y su disposición con el acero de la cimentación del stub de la torre de celosía proyectada.</p> 	<p><b>Estructura:</b> LT2 5 (Línea de 60 kV)</p> <p><b>Descripción:</b> Perforación para instalación anclajes para cimentación de torre de celosía.</p> 
<p><b>Estructura:</b> LT2 1 (Línea de 60 kV)</p> <p><b>Descripción:</b> Perforación para instalación de anclajes para cimentación de torre de celosía.</p> 	<p><b>Estructura:</b> L7 3 (Línea de 22.9 kV)</p> <p><b>Descripción:</b> Perforación para instalación de anclajes para cimentación de torre de celosía.</p> 
<p><b>Estructura:</b> Edificio Administrativo (S.E. Papujune)</p> <p><b>Descripción:</b> Perforación para instalación de anclajes para cimentación de pedestales. Sobre estos se apoyará una estructura metálica para canalotas de cables.</p> 	<p><b>Estructura:</b> Edificio Administrativo (S.E. Papujune)</p> <p><b>Descripción:</b> Disposición de los anclajes instalados.</p> 