

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**RESISTENCIA DE BULBOS DE ANCLAJE EN ARENA EN LOS SUELOS DEL
DISTRITO DE VILLA EL SALVADOR**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

RAFAEL ALEJANDRO PIZARRO ANDAHUA

Lima- Perú

2015

DEDICATORIA:

A mis padres Yolanda y Juan Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A mis hermanos Angelo y Kaherine por estar conmigo y apoyarme siempre, los quiero mucho.

ÍNDICE	
RESUMEN	4
LISTA DE CUADROS	5
LISTA DE FIGURAS	7
INTRODUCCIÓN	9
CAPÍTULO I : GENERALIDADES	10
1.1. ANCLAJES	10
1.2. TIPOS DE ANCLAJES	10
1.2.1. Anclajes activos	16
1.2.2. Anclajes pasivos	16
1.2.3. Anclaje provisional o temporal	16
1.2.4. Anclaje permanente	16
1.2.5. Anclajes retesable	17
1.2.6. Anclajes no retesable	17
1.3. DISEÑO DE ANCLAJES	17
1.3.1. Criterios de estabilidad a considerar	17
1.3.2. Equilibrio global	17
1.3.3. Equilibrio local	18
1.3.4. Roturas en la cabeza o en la estructura a anclar	20
1.3.5. Evaluación de la estabilidad del propio anclaje	20
1.3.6. Mayoración de las cargas actuantes	21
1.3.7. Comprobación de la tensión admisible del acero	21
1.4. PRUEBAS Y ENSAYOS DE ANCLAJES	26
1.4.1. Ensayo de puesta en carga de un anclaje mediante ciclos incrementales para la determinación del desplazamiento por fluencia de la cabeza del anclaje	27
1.4.2. Ensayo de puesta en carga de un anclaje mediante fases incrementales para la determinación del desplazamiento por fluencia de la cabeza del anclaje	30
CAPÍTULO II : MECANICA DE SUELOS	35
2.1. GENERALIDADES	35
2.1.1. Introducción	35
2.2. ENSAYO SPT (“STANDARD PENETRATION TEST”)	35

2.2.1.Ubicacion del Área en Estudio	38
2.2.2.Características Estructurales	38
2.2.3.Alcances del Trabajo	38
2.3. EXTRACCIÓN DE MATERIAL IN-SITU Y MATERIAL ALTERADO	39
2.3.1.Sondajes	39
2.4. MUESTREO DISTURBADO	40
2.4.1.Registro de Sondajes	40
2.4.2.Ensayos de laboratorio	41
2.5. ANÁLISIS QUÍMICO	41
2.5.1.Sales Solubles, Cloruros Y Sulfatos	41
CAPÍTULO III : PROCESO CONSTRUCTIVO	42
3.1. MEMORIA DESCRIPTIVA	42
3.1.1.Anclajes	42
3.1.2.Perforación	44
3.1.3.Inyección Única Global (IU)	45
3.1.4.Preparación de la lechada	45
3.1.5.Inyección de la mezcla	46
3.1.6.Tensado	46
3.1.7.Equipo asignado	48
3.1.8.Personal asignado	48
3.1.9.Costo y presupuesto teórico	48
3.2. PARÁMETROS DEL SUELO	50
3.2.1.Clasificación de suelos	50
3.2.2.Perfil estratigráfico de los sondeos realizados	51
3.2.3.Densidad máxima, mínima y densidad relativa	51
3.3. DISEÑO Y CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE CARGA DEL BULBO TEÓRICO	52
3.3.1.Longitud del bulbo de anclaje	54
3.3.2.Carga de diseño	55
3.3.2.1. Método de Bustamante y Doix 1985	55
3.3.2.2. Método De La Norma Brasileira – 5629	58
3.3.2.3. Método de Costa Nunes	59

CAPÍTULO IV: ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	
INSITU	61
4.1. ANÁLISIS DE LA TABLA DE CAPACIDAD DE CARGA Y LA LONGITUD DEL BULBO IN-SITU	61
4.2. COMPARACIÓN DE LAS CAPACIDADES IN-SITU Y TEORICAS	66
4.1.1. Capacidad de carga ultima teórica	66
4.1.2. Comparación de las capacidades in-situ y teóricas	67
CAPÍTULO V : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	69
5.1. CONCLUSIONES	69
5.2. RECOMENDACIONES	69
BIBLIOGRAFIA	72
ANEXOS	73

RESUMEN

El desarrollo del presente Informe de Suficiencia consiste en determinar la capacidad de carga que puede obtener un bulbo de anclaje sobre suelo arenoso, para ello se propone: Primero se realizará el estudio de suelos donde los trabajos de campo se efectuarán por medio de sondajes con el equipo SPT, ensayos de laboratorio (clasificación de suelo, análisis químico, peso volumétrico y ensayo de corte directo); en base a los cuales se obtendrán los parámetros del suelo. Se continuará con las soluciones experimentales basadas en realizar perforaciones, las cuales serán de distintas profundidades en un rango de 9 mts hasta 11 mts, para instalar anclajes, en la cual se van a colocar los cables o torones de acero en diferente cantidad, luego se inyectará lechada de cemento y se obtendrá anclajes instalados de diferentes características físicas, una vez terminada la instalación de los anclajes se va a esperar un rango de siete días para así consolidar de manera efectiva el bulbo del anclaje y finalmente se procederá al tensado de los torones del anclaje utilizando para ello una gata de tensado de aproximadamente 100 ton de capacidad obteniéndose la carga de la capacidad última del bulbo para cada anclaje instalado.

Con los datos de carga obtenida se va a proseguir a iterarlos gráficamente, de manera que podamos obtener soluciones gráficas que se pueda utilizar como tablas de diseño en suelos arenosos.

Finalmente todos los procesos y resultados obtenidos podrán corroborarse de manera práctica, evitándose problemas futuros en el diseño y ejecución de anclajes en suelos arenosos que cumplan con los parámetros de suelo calculado. Siendo este el aporte del Informe de Suficiencia.

LISTA DE CUADROS

Cuadro N° 01: Coeficiente F1 en función del tipo de anclaje	21
Cuadro N° 02: Coeficiente F3 en función del tipo de anclaje	23
Cuadro N° 03: Adherencia límite en roca (alteración \leq grado III, Según ISMR)	24
Cuadro N° 04: Ciclos de carga y periodo mínimos de observación para los ensayos de investigación y adecuación efectuados sobre los anclajes	29
Cuadro N° 05: Fases de carga y periodos mínimos de observación para los ensayos de investigación efectuados sobre los anclajes	31
Cuadro N° 06: Profundidad del sondaje	39
Cuadro N° 07: Resultados del ensayo de penetración estandar STP - 01 parte I	40
Cuadro N° 08: Resultados del ensayo de penetración estandar STP- 01 parte II	40
Cuadro N° 09: Análisis químico	41
Cuadro N°10: Fases de carga y períodos mínimos de observación para los ensayos de investigación efectuados sobre los anclajes	47
Cuadro N°11: Costos de las 3 perforaciones \varnothing 4.5"x10.5mts	49
Cuadro N° 12: Clasificación de suelos	50
Cuadro N° 13: Cálculo de la densidad natural	52
Cuadro N° 14: Coeficiente β para suelos	57
Cuadro N° 15: Método de Bustamante y Doix 1985	57
Cuadro N° 16: Coeficiente k_f de suelos granulares NBR– 5629	58
Cuadro N° 17: Método de la norma brasilera – 5629	59
Cuadro N° 18: Calculo de la resistencia al cizallamiento	60
Cuadro N° 19: Método de costa Nunes	60
Cuadro N° 20: Ciclos de carga y desplazamientos de la cabeza del anclaje en el ensayo de investigación para un bulbo igual a 4 metros	62
Cuadro N° 21: Ciclos de carga y desplazamientos de la cabeza del anclaje en el ensayo de investigación para un bulbo igual a 5 metros	63

Cuadro N° 22: Ciclos de carga y desplazamientos de la cabeza del anclaje en el ensayo de investigación para un bulbo igual a 6 metros	64
Cuadro N° 23: Capacidad de carga última calculada	66
Cuadro N° 24: Capacidad de carga última calculada y ensayada	67

LISTA DE FIGURAS

Figura N°01: Partes fundamentales en un anclaje	10
Figura N°02: Croquis de un anclaje provisional	12
Figura N°03: Croquis de la cabeza de un anclaje permanente	12
Figura N°04: Primer paso del procedimiento del método inyección única global (anclajes IU)	13
Figura N°05: Segundo paso del procedimiento de inyección única global (anclajes IU)	13
Figura N°06: Primer paso del procedimientos de inyección repetitiva (anclajes IR)	14
Figura N°07: Segundo paso del procedimientos de inyección repetitiva (anclajes IR)	14
Figura N°08: Procedimiento de inyección repetitiva y selectiva (anclajes IRS)	15
Figura N°09: Longitud insuficiente del anclaje	18
Figura N°10: Inestabilidad local a considerar	18
Figura N°11: Interacción entre bulbos	19
Figura N°12: Análisis en el caso de una pantalla	19
Figura N°13: Excavaciones Profundas	20
Figura N°14: Adherencia límite en arenas y gravas	24
Figura N°15: Adherencia límite en arcillas y limos	25
Figura N°16: Adherencia límite en margas, margas yesíferas y margas calcáreas	25
Figura N°17: Adherencia límite en roca alterada (grado IV o superior, según ISRM)	26
Figura N°18: Procedimiento de Carga para el Método de Ensayo	30
Figura N°19: Ensayo de investigación	31
Figura N°20: El desplazamiento por fluencia se obtiene como la pendiente de la curva definida por el desplazamiento de la cabeza del anclaje y el logaritmo del tiempo	32
Figura N°21: Curva Fluencia-Carga Aplicada	33
Figura N°22: Cuchara de ensayo normal de penetración, S.P.T. (Standard Penetration Test)	35
Figura N°23: Ubicación del ensayo SPT- Villa El Salvador	38
Figura N°24: Instalación de bulbos de anclaje- Villa El Salvador	42

Figura N°25: Correlaciones empíricas para el cortante o cizallamiento por unidad de longitud en arenas y gravas	56
Figura N°26: Grafica de los ciclos incrementales de carga con el desplazamiento para un bulbo de anclaje igual a 4 metros	63
Figura N°27: Grafica de los ciclos incrementales de carga con el desplazamiento para un bulbo de anclaje igual a 5 metros	64
Figura N°28: Grafica de los ciclos incrementales de carga con el desplazamiento para un bulbo de anclaje igual a 6 metros	65
Figura N°29: Grafica de la capacidad de carga con la longitud de bulbo ensayado	66
Figura N°30: Grafica de la capacidad de carga teórica con la longitud de bulbo “ Lb ” de ensayado	67
Figura N°31: Grafica de la capacidad de carga ensayada y teórica en las diferentes longitudes de bulbo de anclaje	68

INTRODUCCIÓN

El crecimiento demográfico y económico ha generado que la construcción en diferentes rubros sea considerable debido a la gran demanda que hoy existe, como por ejemplo: La construcción de inmuebles, el abastecimiento de energía, en la minería y en productos industriales, debido a ello se están realizando proyectos de mayor envergadura que necesitan en su gran mayoría del uso de anclajes para poder estabilizar las diferentes estructuras, es por eso la necesidad de poder investigar el comportamiento de los anclajes en los diferentes tipos de suelo, de tal manera que estoy enfocando el Informe de Suficiencia hacia los comportamientos del bulbo de anclaje en suelos arenosos típicos del distrito de Villa el Salvador, recabando información de los proyectos que incluyan instalación de anclajes dentro del mismo distrito. Se analizará el cálculo de la capacidad de carga que podemos obtener con el diseño del bulbo, debido a que el anclaje en forma práctica puede fallar de dos maneras uno por el arranque del bulbo y la otra por la falla del cable o torón, nos interesa calcular su carga de falla por arranque del bulbo, ya que ahí se encontrara datos de la capacidad del bulbo y generar los datos que se necesitan hallar.

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1. ANCLAJES

Un anclaje es una estructura de cimentación profunda para cargas de tensión superficial a un manto de soporte profundo para de esta forma proveer un esfuerzo que resiste los producidos por la inestabilidad de las estructuras. Está constituido por barras o cables instalados.

Los Anclajes constan de las siguientes partes una cabeza, zona libre y bulbo o zona de anclaje.

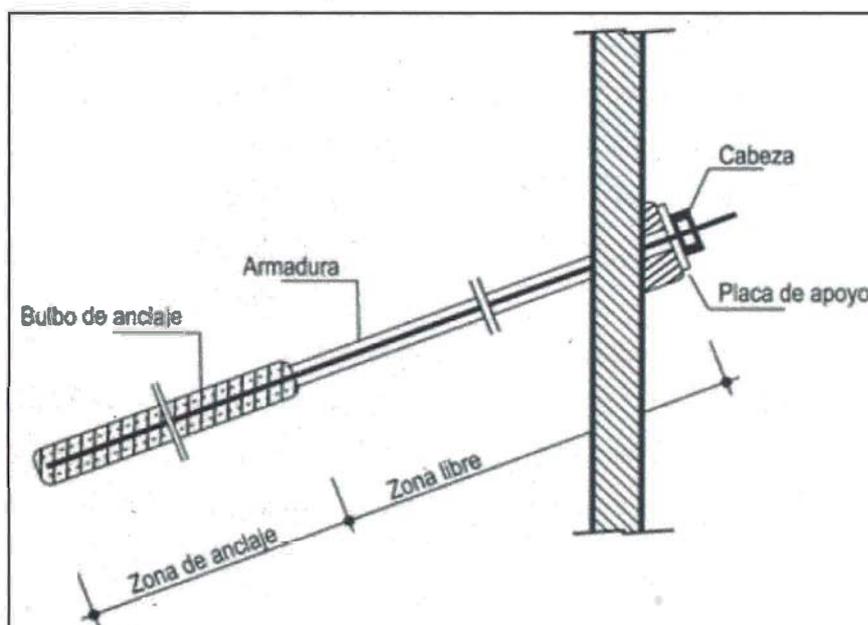


Figura N°01: Partes fundamentales en un anclaje

1.2. TIPOS DE ANCLAJES

Los anclajes se clasifican, según el nivel de carga inicial que se les aplica, en activos y pasivos.

Activos cuando se les somete a una carga de tensado, después de su ejecución, generalmente del mismo orden de magnitud que la máxima prevista en proyecto, y nunca inferior al 50% de esta última.

Pasivos cuando se les deja con una carga inicial baja, aunque nunca inferior al 10 % de la máxima de proyecto, que adquieren normalmente por los movimientos de la estructura.

También, en función de los elementos constituyentes de los tirantes, se clasifican en anclajes de cables o anclajes de barra.

Otra clasificación que debe hacerse es atendiendo a su vida útil, así, se denomina anclaje permanente al proyectado para una vida superior a los dos años, y anclaje provisional al que debe actuar durante un periodo inferior a esos dos años, o menor en el caso de ambientes y/o terrenos especialmente agresivos. En la figura n°02 se incluye el croquis de un anclaje provisional, y en la figura n°03 un detalle de la cabeza de un anclaje permanente.

En cuanto a la facultad de efectuar operaciones que varíen la carga sobre los anclajes durante su vida útil, se clasifican en retensables y no retensables.

Finalmente también se clasifican, según se efectúe o no la reinyección del bulbo, como: de inyección única global (IU), de inyección repetitiva (IR) o de inyección repetitiva y selectiva (IRS). En las figuras n°04, n°05, n°06, n°07 y n°08 se incluyen croquis de los procedimientos de inyección IU, IR e IRS de los anclajes.

Las reinyecciones, o inyecciones repetitivas en varias fases tienen por objeto aumentar la capacidad del anclaje en la zona de bulbo. Los parámetros de presión y caudal deben definirse en el Proyecto.

Los anclajes del tipo IU suelen ser los más adecuados en rocas, terrenos cohesivos muy duros y suelos granulares.

Los anclajes del tipo IR se emplean generalmente en rocas fisuradas blandas y en aluviales granulares gruesos e incluso finos.

Los del tipo IRS se recomiendan en suelos con predominio de finos y de consistencia media - baja.

Los anclajes de cable son preferibles frente a los de barra en terrenos que puedan sufrir movimientos, para evitar una rigidez excesiva en la cabeza que pueda llegar a su rotura, y cuando hay que absorber acciones que requieran gran capacidad.

En los anclajes por encima de la horizontal, en que pueden existir problemas de estabilidad del taladro, o de obturación durante la inyección, es conveniente inyectar a presión en varias fases (tipos IR o IRS).

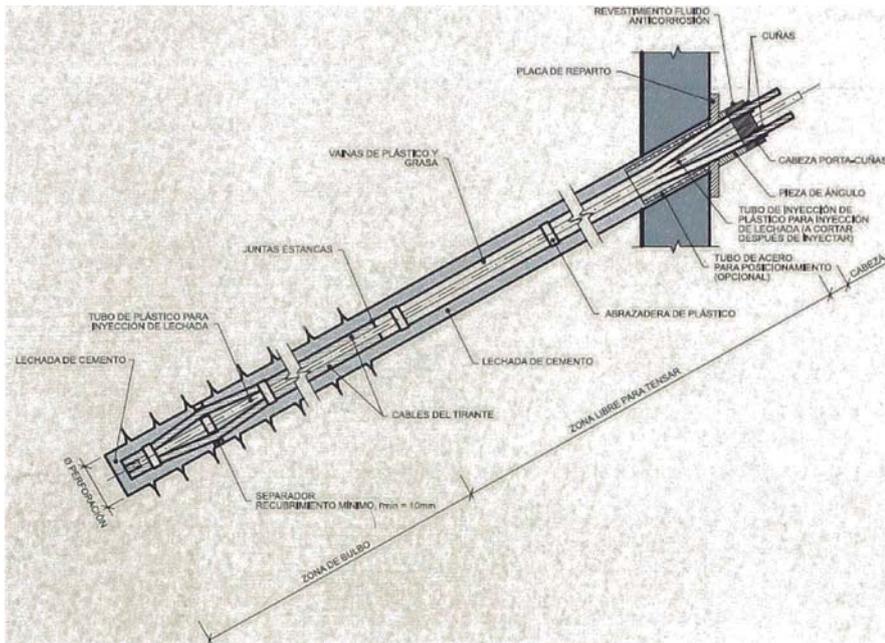


Figura N°02: Croquis de un anclaje provisional

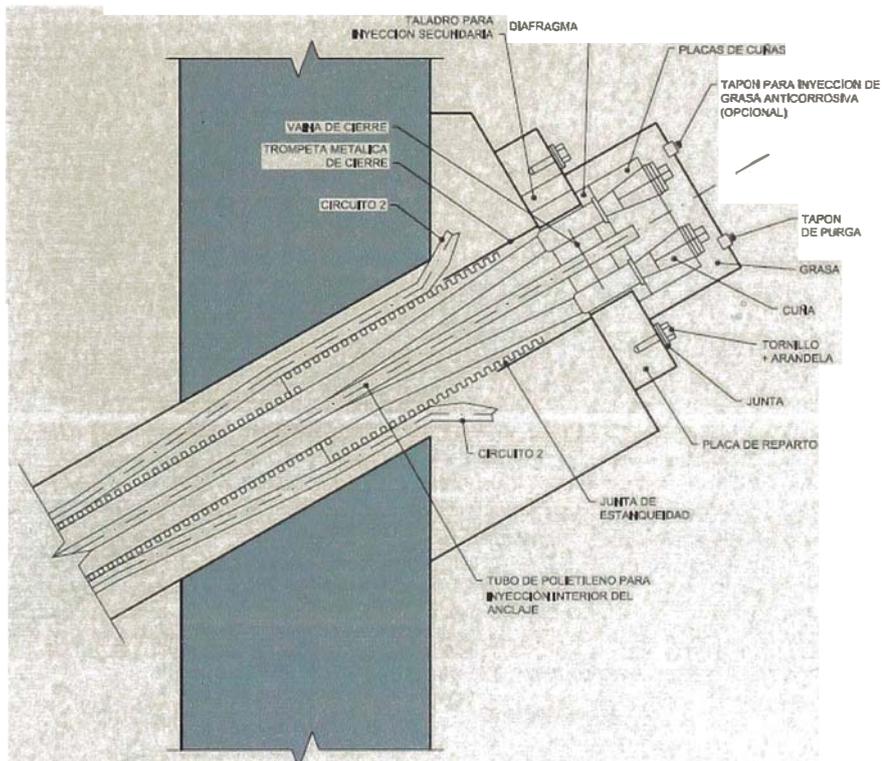


Figura N°03: Croquis de la cabeza de un anclaje permanente

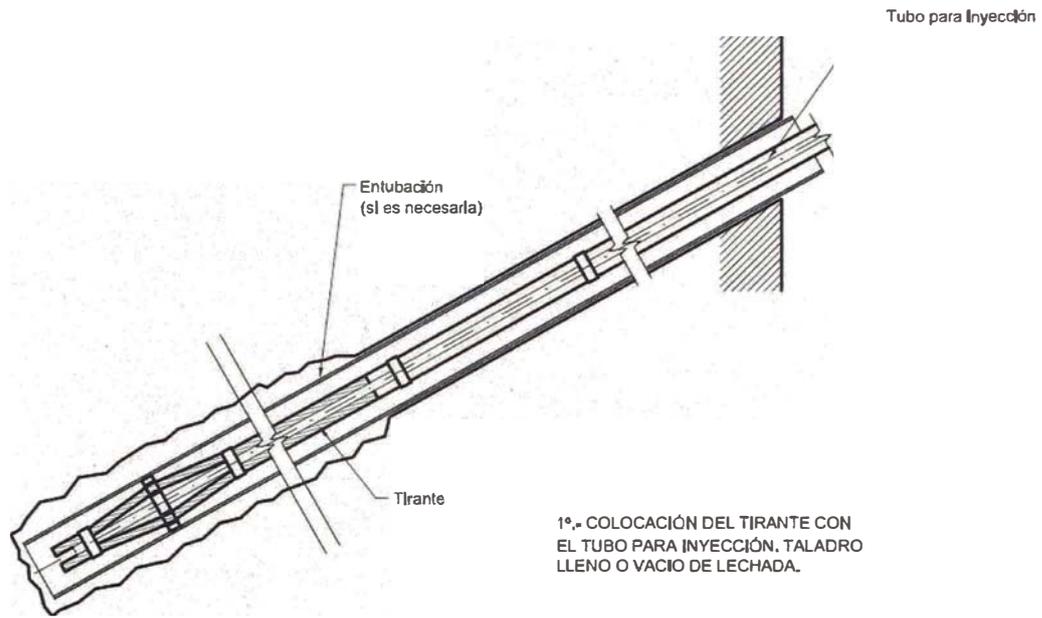


Figura N°04: Primer paso del procedimiento del método inyección única global (anclajes IU)

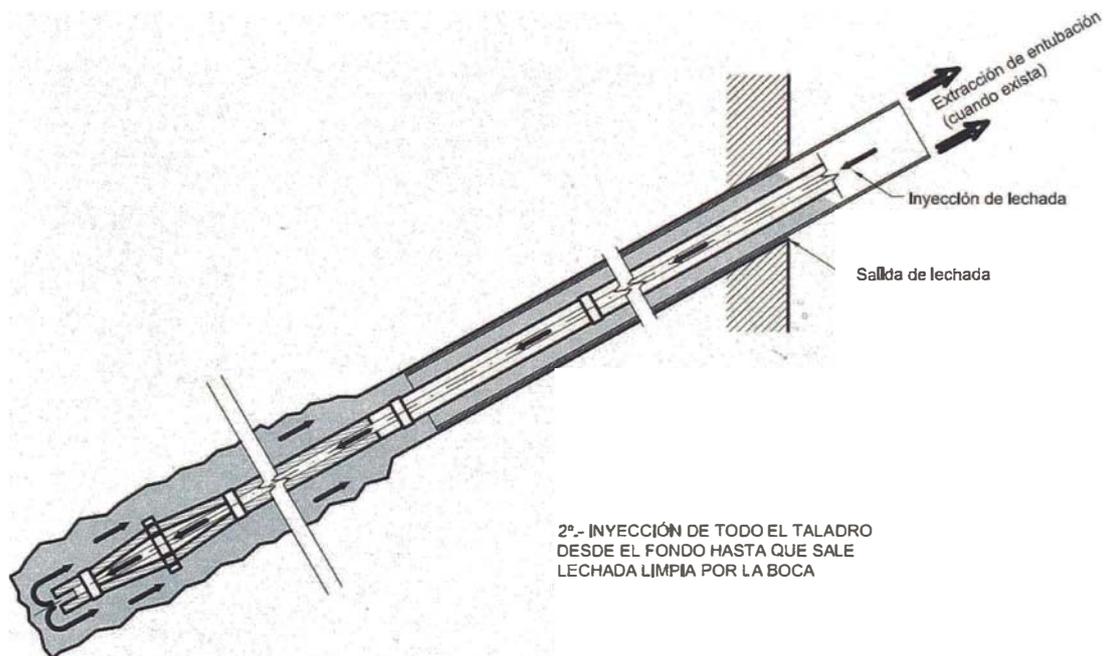


Figura N°05: Segundo paso del procedimiento de inyección única global (anclajes IU)

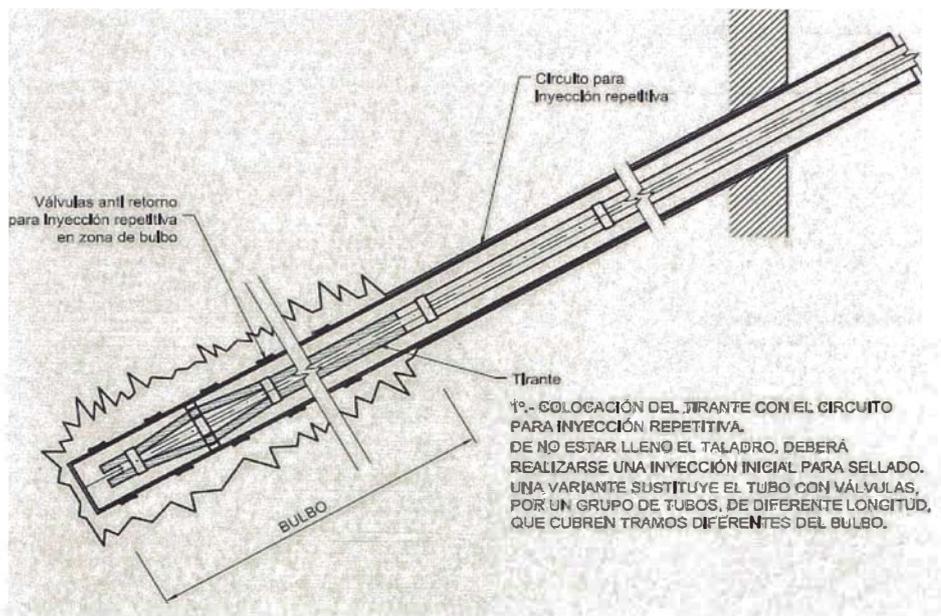


Figura N°06: Primer paso del procedimientos de inyección repetitiva (anclajes IR)

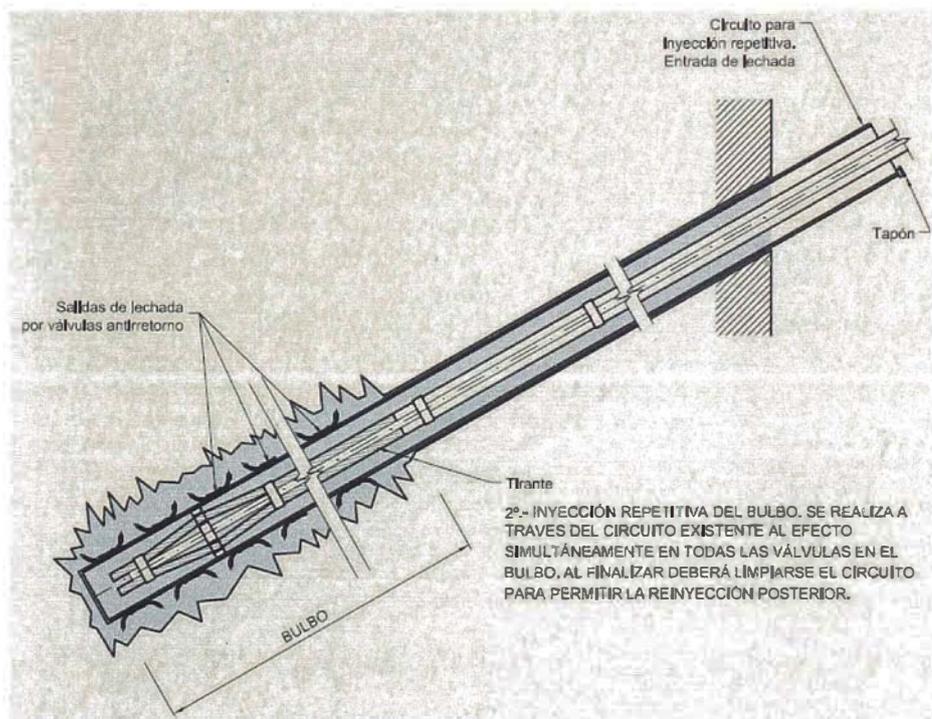


Figura N°07: Segundo paso del procedimientos de inyección repetitiva (anclajes IR)

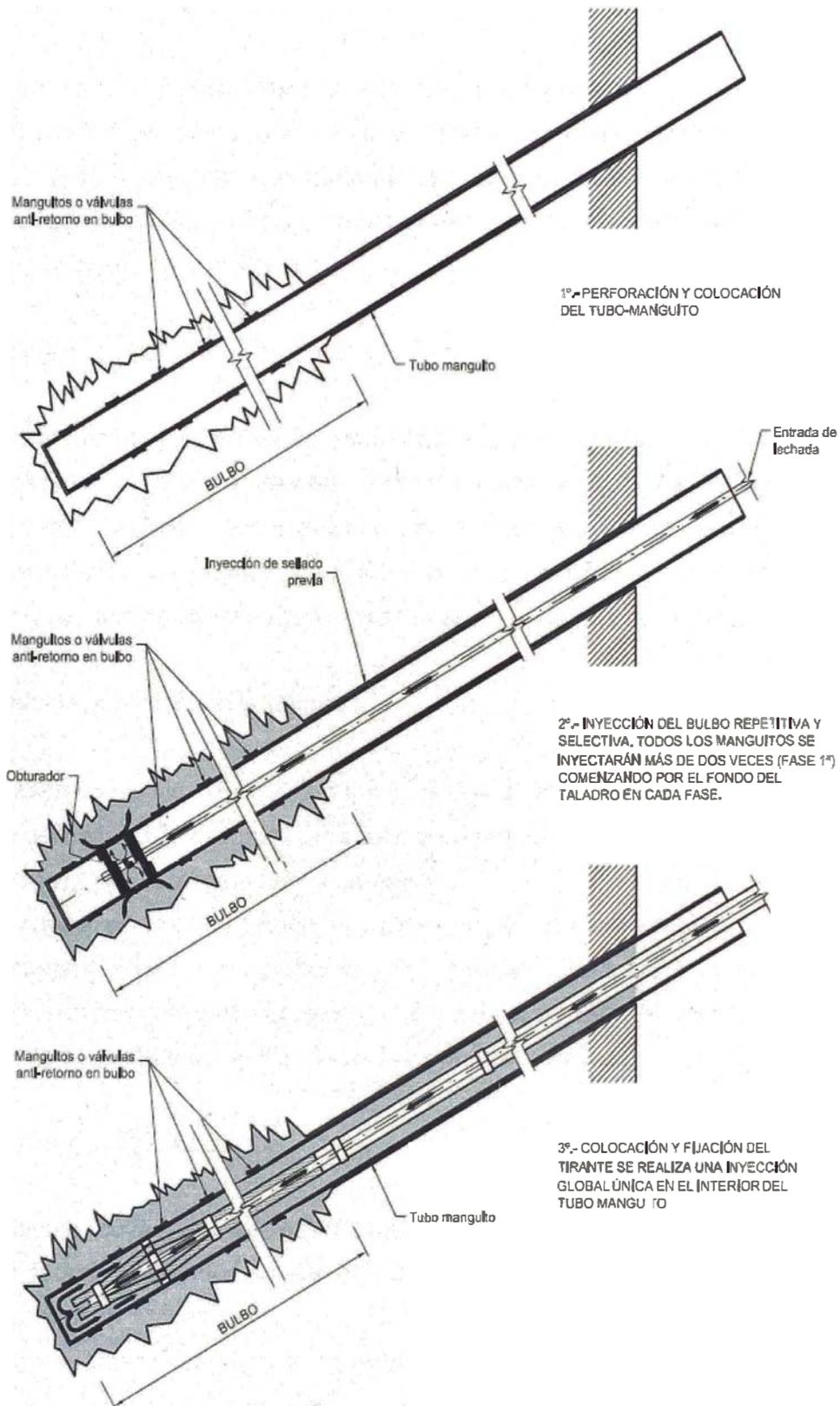


Figura N°08: Procedimiento de inyección repetitiva y selectiva (anclajes IRS)

1.2.1. Anclajes activos:

Conformados por torones o cables de acero de alta resistencia, una vez inyectados se aplica una carga de tensión al cable hasta alcanzar la carga de trabajo (aunque nunca inferior al 50% de la magnitud máxima prevista en proyecto), es utilizado como solución en inestabilidades con superficie de falla profunda.

1.2.2. Anclajes pasivos:

Conformados generalmente por barras de acero, en este anclaje la carga aplicada es mínima (aunque nunca inferior al 10% de la magnitud máxima prevista en proyecto), el anclaje se activa cuando hay movimientos de la masa de suelo o roca, es utilizado en inestabilidades con superficies de falla menos profundas y problemas de erosión.

1.2.3. Anclaje provisional o temporal:

Anclaje cuya vida útil no es superior a dos años. El alma del tendón está constituida por cordones de acero pretensado desnudos en la zona de bulbo y auto protegidos en su zona libre.

Dispone de un único tubo de inyección. El tendón queda centrado y separado de las paredes de taladro mediante centradores, además normalmente las tensiones de trabajo de estos aceros son del 75 % de su límite elástico en los anclajes provisionales.

1.2.4. Anclaje permanente:

Anclaje cuya vida útil es superior a dos años. A diferencia de los temporales el tendón se enfunda dentro de una vaina corrugada en toda su longitud.

Para la inyección primaria se emplean dos tubos, alojados dentro de la vaina corrugada. En anclajes que se precise una reinyección se instala un tercer tubo exterior a la vaina. Para garantizar el espaciado entre tendón y la pared del taladro se emplean centradores en la zona del

bulbo, además normalmente las tensiones de trabajo de estos aceros son del 60 % de su límite elástico en los anclajes permanentes.

1.2.5. Anclajes retesable:

Un anclaje que permite operaciones que varíen su carga durante su vida útil.

1.2.6. Anclajes no retesable:

Un anclaje no permite operaciones que varíen su carga.

1.3. DISEÑO DE ANCLAJES

El diseño de un anclaje requiere conocer en primer lugar el valor y dirección de los esfuerzos ejercidos por la estructura a anclar, denominadas cargas nominales para poder en segundo lugar dimensionar las diferentes partes del anclaje (tirante, longitud libre y longitud de bulbo).

1.3.1. Criterios de estabilidad a considerar

En las estructuras ancladas se deberán tener en cuenta dos aspectos:

La estabilidad global de la zona en que se encuentra la estructura anclada.

El comportamiento de cada uno de los elementos de los anclajes y sus efectos sobre el entorno más inmediato de los mismos (equilibrio local).

1.3.2. Equilibrio global

Lo referente al equilibrio o estabilidad global se abordará la zona donde se encuentra anclada la estructura.

1.3.3. Equilibrio local

Se debe asegurar el comportamiento individual de cada componente de los anclajes, considerando:

- La rotura parcial de la cabeza del anclaje o de la estructura a anclar, por exceso de tensión en los anclajes, o por fallo de alguno de estos últimos.
- La rotura del tirante a tracción y el deslizamiento del mismo dentro del bulbo.
- La pérdida de tensión en el anclaje por deslizamiento del bulbo contra el terreno.

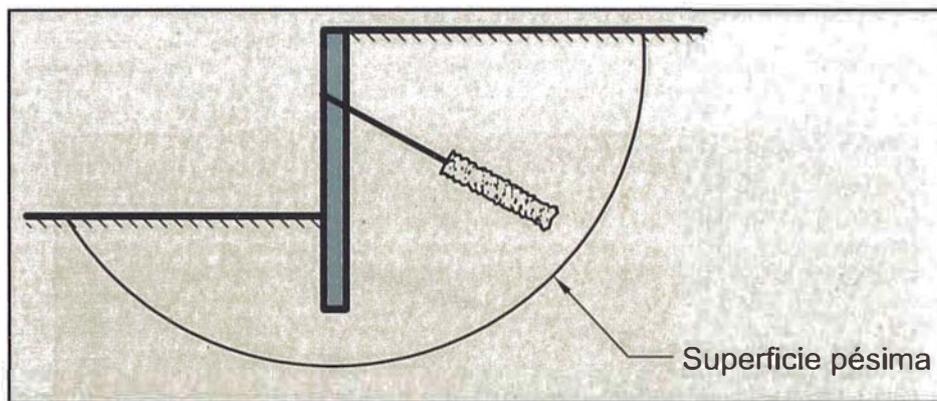


Figura N°09: Longitud insuficiente del anclaje

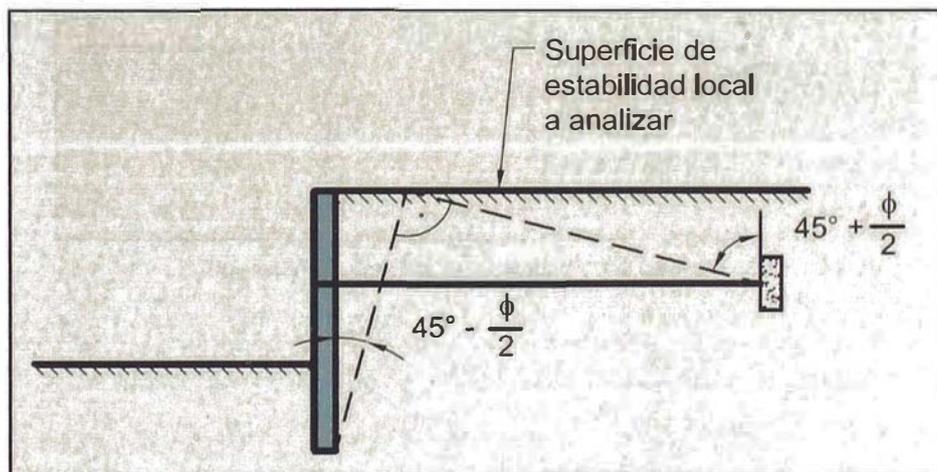


Figura N°10: Inestabilidad local a considerar

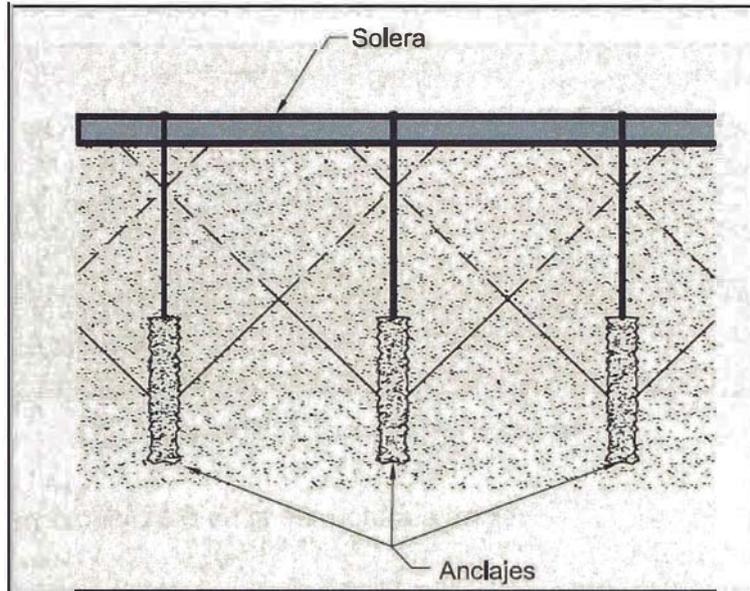


Figura N°11: Interacción entre bulbos

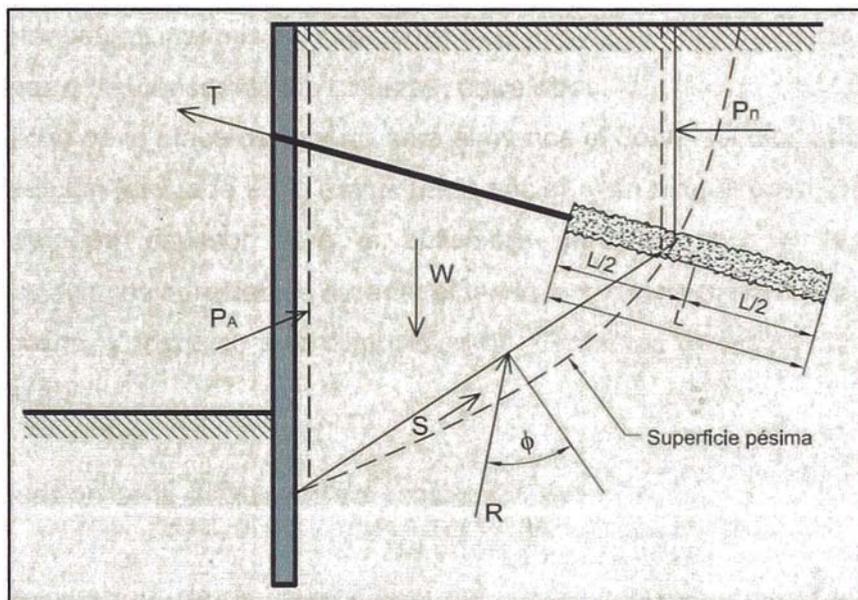


Figura N°12: Análisis en el caso de una pantalla

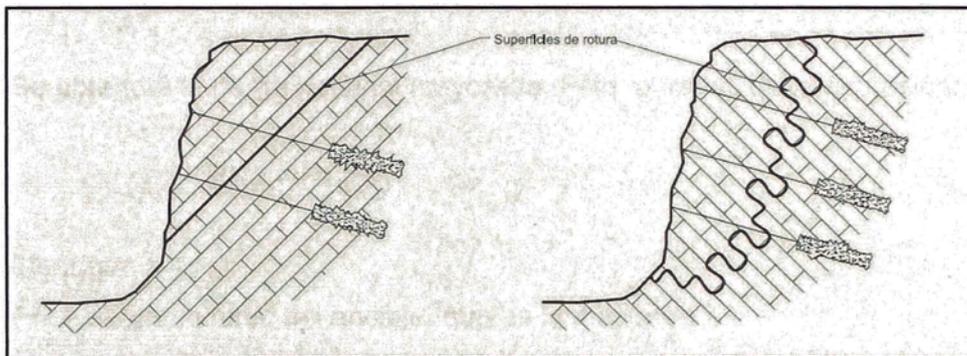


Figura N°13: Excavaciones Profundas

1.3.4. Roturas en la cabeza o en la estructura a anclar

Se prestará atención al dimensionamiento y posición de la placa de reparto de la cabeza del anclaje, para evitar deformaciones excesivas de la misma, concentración de tensiones en la estructura a anclar, asentamientos inadmisibles del terreno de apoyo, levantamiento de cuñas pasivas y descensos de las cabezas, entre otros.

El ancho de la placa de reparto será al menos el doble del diámetro de la perforación realizada en la estructura a anclar, y en ningún caso inferior a 20 cm. Su espesor será el suficiente para que no se registren deformaciones apreciables durante el tensado y nunca menor de 1 cm.

Asimismo, y respecto a la disposición de elementos de protección en la cabeza.

1.3.5. Evaluación de la estabilidad del propio anclaje

La evaluación de la estabilidad del propio anclaje comprende los siguientes procesos:

- 1) Cargas máximas actuantes.
- 2) Comprobación de la tensión admisible del acero del tirante (rotura del tirante a tracción).
- 3) Comprobación del deslizamiento del tirante dentro del bulbo.
- 4) Comprobación de la seguridad frente al arrancamiento del bulbo (deslizamiento bulbo-terreno).

1.3.6. Mayoración de las cargas actuantes

Se obtendrá la carga nominal mayorada, PNd, a través de la expresión:

$$PNd = F1 \times PN$$

Siendo:

PN = carga nominal del anclaje, que es la mayor de:

- a) la carga obtenida al realizar el cálculo de estabilidad global.
- b) la carga obtenida en el cálculo de los estados límite de servicio, sin mayoración alguna.

F1 = coeficiente de mayoración que puede obtenerse del cuadro N° 01.

PNd = carga nominal mayorada del anclaje.

CUADRO N° 01: COEFICIENTE F1 EN FUNCIÓN DEL TIPO DE ANCLAJE

TIPO DE ANCLAJE	F1
PERMANENTE	1.50
PROVISIONAL	1.20

Fuente: Normas UNE

1.3.7. Comprobación de la tensión admisible del acero

Para la comprobación de la tensión admisible del acero del tirante se minorará la tensión admisible en el tirante de forma que se cumplan simultáneamente las siguientes condiciones:

En anclajes provisionales:

$$PNd / AT \leq f_{pk} / 1,25$$

$$PNd / AT \leq f_{yk} / 1,10$$

En anclajes permanentes:

$$PNd / AT \leq f_{pk} / 1,30$$

$$PNd / AT \leq f_{yk} / 1,15$$

Siendo:

PNd = carga nominal mayorada de cada anclaje.

AT = sección del tirante.

f_{pk} = límite de rotura del acero del tirante.

f_{yk} = límite elástico del acero del tirante.

Fuente: Normas UNE

$$PNd / (\pi \cdot DN \cdot Lb) \leq aadm$$

Siendo:

PNd = carga nominal mayorada de cada anclaje.

DN = diámetro nominal del bulbo.

Lb = longitud de cálculo del bulbo.

aadm = adherencia admisible frente al deslizamiento o arrancamiento del terreno que rodea el bulbo.

Fuente: Normas UNE

La adherencia admisible del bulbo se puede obtener mediante los métodos indicados a continuación, por orden de preferencia:

Los valores de la adherencia admisible aadm del bulbo se pueden deducir tanto de los ensayos de investigación como fundamentalmente de los ensayos de adecuación.

- a. Se puede obtener el valor de la adherencia admisible aplicando la expresión siguiente, en presiones efectivas:

$$aadm = \frac{c'}{F2c} + \sigma' \cdot \frac{\text{tg } \phi'}{F2\phi}$$

Siendo:

c = cohesión efectiva del terreno en el contacto terreno-bulbo.

ϕ' = ángulo de rozamiento interno efectivo del terreno en el contacto terreno-bulbo.

σ' = presión efectiva del terreno en el centro del bulbo más una tercera parte de la presión de inyección aplicada.

F_{2c} = 1,60; coeficiente de minoración de la cohesión.

$F_{2\phi}$ = 1,35; coeficiente de minoración de la fricción.

Fuente: Normas UNE

También puede determinarse a_{adm} utilizando correlaciones empíricas, en cuyo caso:

$$a_{adm} = a_{lim} / F_3$$

Siendo:

a_{lim} = adherencia límite obtenida aplicando métodos empíricos

F_3 = coeficiente indicado en la cuadro N° 02.

Fuente: Normas UNE

CUADRO N° 02: COEFICIENTE F3 EN FUNCIÓN DEL TIPO DE ANCLAJE

TIPO DE ANCLAJE	F3
Provisional	1,45
Permanente	1,65

Fuente: Normas UNE

Se incluyen cuatro ábacos (figuras 07, 08, 09 y 10) que relacionan algunos de los parámetros geotécnicos más representativos de cada tipo de terreno, con la adherencia límite en los mismos.

Cada ábaco incluye tres curvas, correspondientes a los tres tipos de anclajes considerados en este documento, según la forma de inyectar el bulbo: inyección única global IU, inyección repetitiva IR, inyección repetitiva y selectiva IRS.

Cuando se trate de rocas poco alteradas, grado III ó menor según ISRM, y para anclajes con inyección única global IU, podrá considerarse la adherencia límite indicada en el cuadro N° 03.

CUADRO N° 03: ADHERENCIA LÍMITE EN ROCA (ALTERACIÓN ≤ GRADO III)

TIPO DE ROCA	ADHERENCIA LÍMITE (MPa)
Granitos, basaltos, calizas	1,0 – 5,0
Areniscas, esquistos, pizarras	0,7 – 2,5

Fuente: ISRM International Society Rock Mechanics

En ningún caso se podrá adoptar un valor de la adherencia admisible superior a los valores de adherencia límite señalados en las figuras 14 al 10 y en el cuadro N° 03.

En las figuras 07 al 10 ya referidas, se indica una escala doble en abscisas, ha de entenderse que ello es una facilidad adicional para la obtención de la adherencia límite pero nunca una correlación entre las variables indicadas en abscisas.

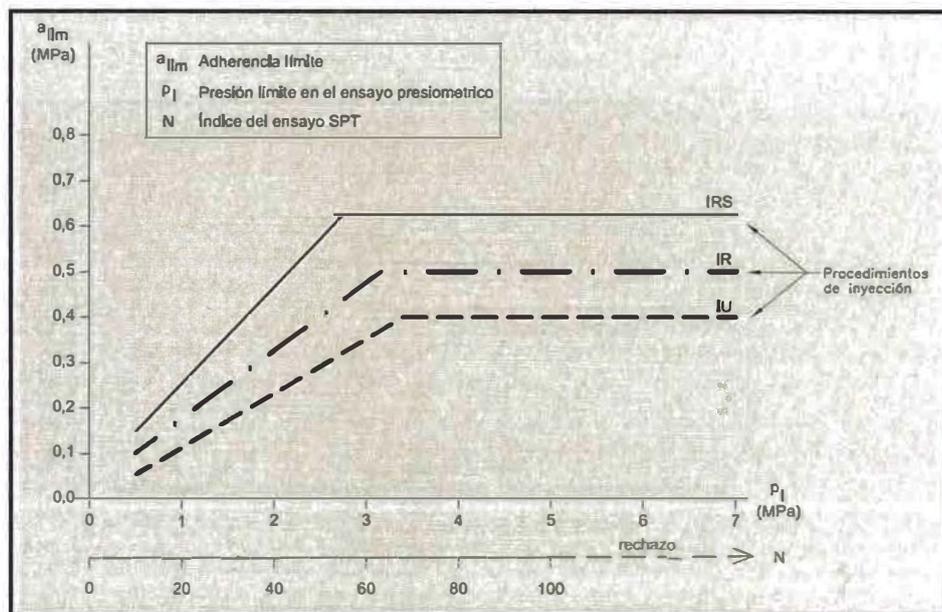


Figura N°14: Adherencia límite en arenas y gravas

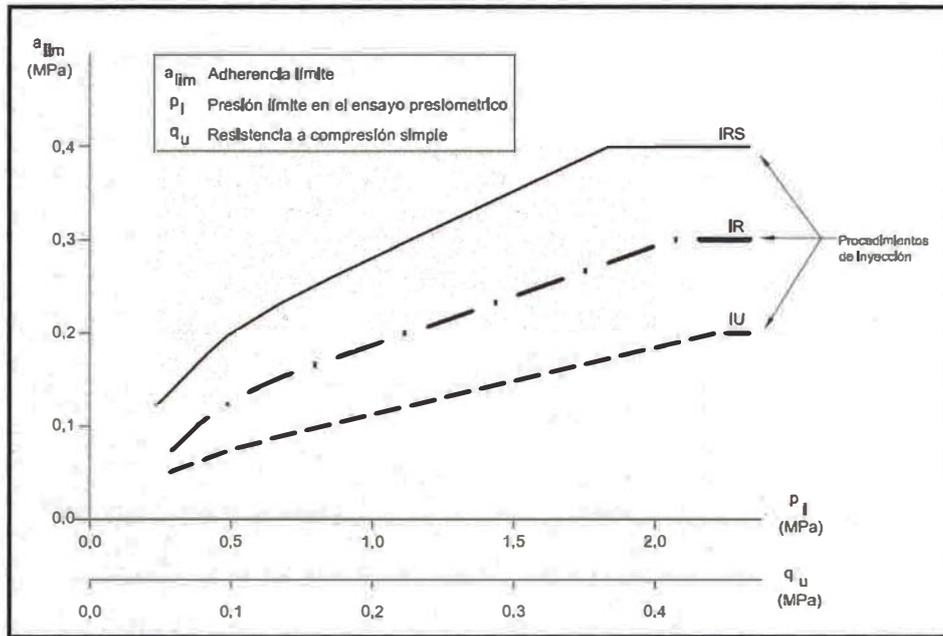


Figura N°15: Adherencia límite en arcillas y limos

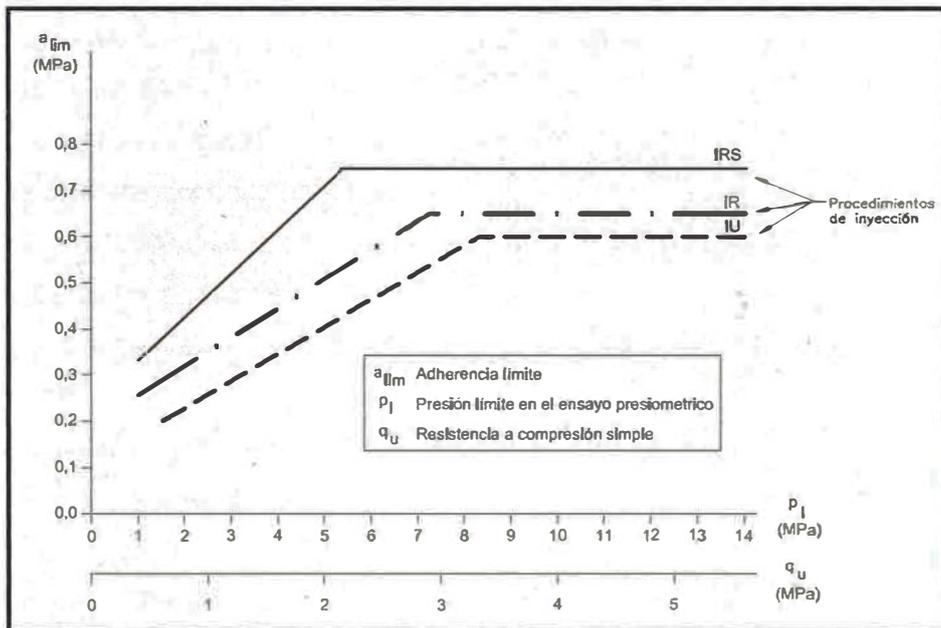


Figura N°16: Adherencia límite en margas, margas yesíferas y margas calcáreas

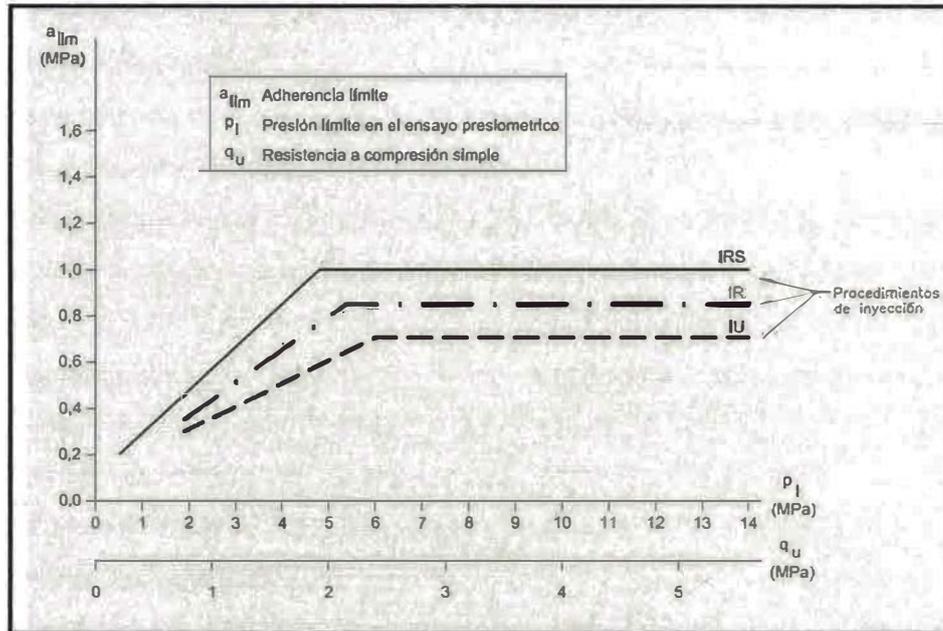


Figura N°17: Adherencia límite en roca alterada (grado iv o superior)

1.4. PRUEBAS Y ENSAYOS DE ANCLAJES:

EL desarrollo de pruebas y ensayos se realizará de acuerdo a la Norma UNE y las Normas NTL 257- NTL 258.

Los ensayos de investigación tienen por objeto determinar, antes de ejecutar los anclajes de la obra, los siguientes aspectos:

- La resistencia del bulbo del anclaje en la interfaz lechada-terreno.
- La carga de deslizamiento del anclaje.
- La curva de deformación del anclaje bajo diferentes cargas, hasta rotura.
- Las pérdidas de tensión del anclaje bajo carga de servicio.
- La longitud libre aparente.

En los ensayos de investigación el equipo de medida tendrá una sensibilidad mínima de 0,01 mm y la precisión de las medidas será de al menos 0,05 mm.

La precisión de las medidas de tracción será de al menos el 2% de la tensión máxima aplicada en cada ensayo. Los equipos de medida tendrán una sensibilidad mínima del 0,5% de la tensión de prueba.

La tensión de referencia, salvo indicación en contra, será el 10% de la tensión de prueba.

Es conveniente efectuarlos en terrenos no ensayados o con cargas más elevadas de las habitualmente usadas.

Como generalmente los anclajes son sometidos en este tipo de ensayos a cargas mayores que las de servicio, conviene aumentar la capacidad de los tirantes. El resto de los elementos serán idénticos al resto de los anclajes. Si no es posible aumentar la capacidad del tirante, se podrá reducir la longitud de bulbo para lograr el arrancamiento (en estos casos no hay que esperar un aumento proporcional de la capacidad).

Si se aumenta el diámetro los resultados no son extrapolables a los anclajes en servicio.

El ensayo se llevará a cabo hasta la carga de rotura por arrancamiento del bulbo, o hasta una presión de prueba definida en la norma de ensayo.

1.4.1. Ensayo de puesta en carga de un anclaje mediante ciclos incrementales para la determinación del desplazamiento por fluencia de la cabeza del anclaje

- Objeto

El anclaje deberá cargarse en ciclos incrementales desde una carga de referencia hasta una carga máxima de ensayo. Se medirá el desplazamiento de la cabeza del anclaje durante un período de tiempo, para la carga máxima de cada ciclo incremental.

- Ensayo de Investigación - Procedimiento de Carga

El anclaje deberá cargarse hasta la rotura, R_a , o hasta una tensión de prueba, P_p , que deberá estar limitada por el menor valor de entre (*) $0,80P_tk$ y $0,95P_t0,1k$.

El anclaje deberá alcanzar la carga máxima de ensayo en un mínimo de seis ciclos. (Véase cuadro n°04).

Los ciclos de carga y períodos de observación mínimos se indican en la cuadro n°04.

Cuando se efectúe un seguimiento de los desplazamientos por fluencia, la carga máxima para cada ciclo deberá mantenerse durante un tiempo mínimo de 15 minutos para cargas inferiores a P_p y durante 60 minutos para cargas iguales a P_p , en los suelos no coherentes, o 180 minutos en los suelos coherentes. Estos períodos deberán aumentarse hasta que el índice de desplazamiento por fluencia de la carga sea relativamente constante.

(*)

P_{tk} = Carga característica de la armadura.

$P_{t0,1k}$ = Carga característica para la cual hay una deformación permanente del 0,1%.

- **Medición de las características de fluencia y de la longitud libre aparente**

Se deberá medir el incremento del desplazamiento de la cabeza del anclaje al final de los intervalos de tiempo determinados para los incrementos de carga indicados en la tabla 1. El índice de fluencia deberá determinarse después de medirse el índice de desplazamiento por fluencia, k_s , durante dos intervalos de tiempo.

El índice de desplazamiento por fluencia, k_s , se define de la manera siguiente:

$$k_s = (s_2 - s_1) / \log(t_2 / t_1)$$

Dónde:

s_1 es el desplazamiento de la cabeza en el tiempo t_1

s_2 es el desplazamiento de la cabeza en el tiempo t_2

t es el tiempo después de aplicarse el incremento de carga.

El índice de fluencia límite, es el índice máximo de fluencia permitido al nivel de carga determinado.

Las mediciones del desplazamiento de la cabeza del anclaje, o de la pérdida de carga, deberán realizarse en los períodos en los que se mantenga un valor de carga constante.

Para los distintos períodos de observación, asociados con los niveles máximos de carga cíclica (cuadro nº04), los instantes, en minutos, en que se realizarán las lecturas serán:

1 - 2 - 3 - 5 - 15 - 20 - 30 - 45 - 60 - 70 - 80 - 90 - 120 - 150 - 180.

La longitud libre aparente (Lap) se calculará a partir de la expresión:

$$Lap = \frac{(Aa \cdot Ea \cdot \Delta s)}{\Delta P}$$

Dónde:

Aa: área de la sección de armadura

Ea: módulo de elasticidad de la armadura

Δs: deformación elástica de la armadura

ΔP: valor de la tensión de prueba menos la tensión de referencia

La longitud libre aparente deberá estar comprendida entre los siguientes valores:

$Lap \leq L_{libre} + 0,5 L_{bulbo} + L_{externa}$

$Lap > 0,8 L_{libre} + L_{externa}$

Siendo $L_{externa}$ la longitud existente entre la cabeza del anclaje y el punto de aplicación de la carga.

CUADRO N° 04: CICLOS DE CARGA Y PERIODO MÍNIMOS DE OBSERVACIÓN PARA LOS ENSAYOS DE INVESTIGACIÓN Y ADECUACIÓN EFECTUADOS SOBRE LOS ANCLAJES

NIVELES DE CARGA % Pp						PERIODO MÍNIMO DE OBSERVACIÓN EN MINUTOS
CICLO 1	CICLO 2	CICLO 3	CICLO 4	CICLO 5	CICLO 6	
10	10	10	10	10	10	1
	25	40	55	70	85	1
25	40	55	70	85	100	15(60 Ó 180)
	25	40	55	70	85	1
10	10	10	10	10	10	1

Fuente: La norma UNE

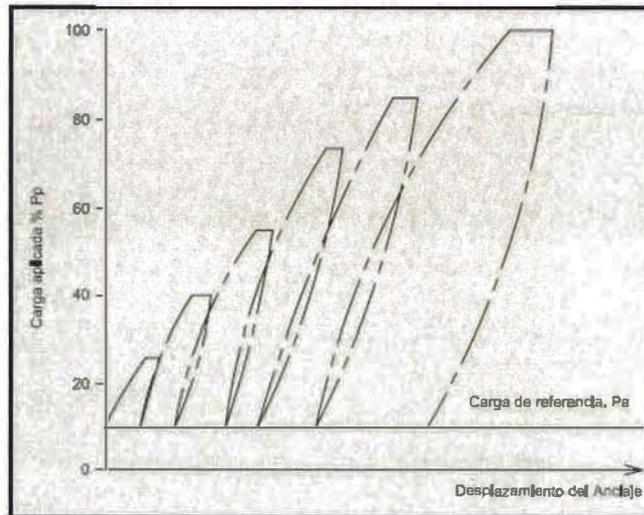


Figura N°18: Procedimiento de Carga para el Método de Ensayo

1.4.2. Ensayo de puesta en carga de un anclaje mediante fases incrementales para la determinación del desplazamiento por fluencia de la cabeza del anclaje

- Objeto

El anclaje deberá cargarse en fases incrementales desde una carga de referencia hasta la carga máxima de ensayo. Se medirá el desplazamiento de la cabeza del anclaje bajo carga mantenida en cada fase de carga.

- Ensayo de Investigación - Procedimiento de Carga

El anclaje deberá cargarse hasta la rotura, R_a , o hasta una tensión de prueba, P_p , que deberá estar limitada por el menor valor de entre $0,80P_{tk}$ y $0,90P_{t0,1k}$.

El anclaje deberá cargarse hasta la carga máxima de ensayo en un mínimo de seis incrementos (Véase el cuadro n°05).

Los incrementos de carga y los períodos de observación mínimos se indican en el cuadro n°05.

Los períodos mínimos de observación, para los incrementos de carga, podrán reducirse a 30 minutos, en ausencia de fluencia apreciable.

CUADRO N° 05: FASES DE CARGA Y PERIODOS MÍNIMOS DE OBSERVACIÓN PARA LOS ENSAYOS DE INVESTIGACIÓN EFECTUADOS SOBRE LOS ANCLAJES

INCREMENTOS DE CARGA %P (0,1k 1) 2) 3)									
CARGA DE REFERENCIA	INCREM. 1	N° DE INCREMENTOS DE CARGA							
10	20	30	40	50	60	70	80	90	%Pt0,1k
0	00 (30)	Periodo de observación (minutos)							

Fuente: La norma UNE

- 1) Comenzar con la carga de referencia = 0,1 Pt0,1k
- 2) $P_{max} \leq 0,9 Pt0,1k$
- 3) Ejemplo dado para 8 incrementos de carga

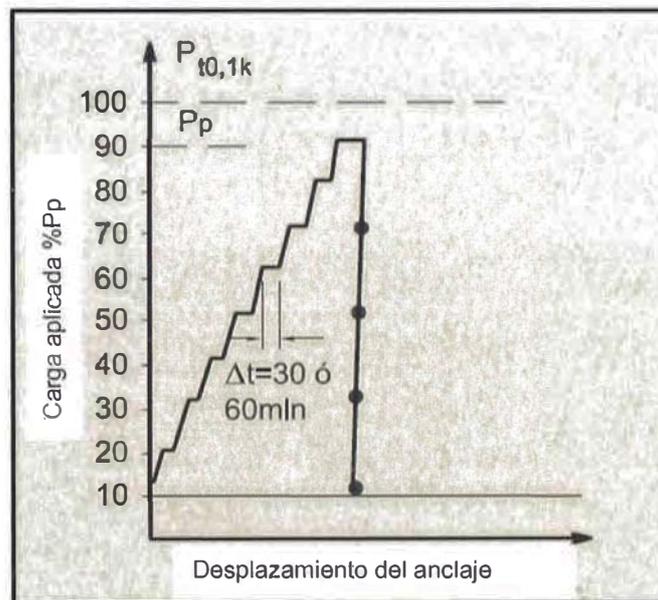


Figura N°19: Ensayo de Investigación

- Medición de fluencia, de la carga característica y de la longitud libre aparente

La fluencia y la carga característica deberán medirse y evaluarse como se indica a continuación:

- Para la medida de la deformación es necesaria la instalación de instrumentación la cual se coloca en la posición original de la cabeza del anclaje hasta la posición final en el ensayo y así utilizar esta

medida más precisa de la deformación en los suelos cuando se va aplicando la carga.

- El incremento del desplazamiento de la cabeza del anclaje relativo a un punto fijo, deberá medirse en cada fase de carga y en tiempos distintos.
- El desplazamiento por fluencia, α , deberá determinarse en cada fase de carga, tal como se indica en la figura n°20. El desplazamiento por fluencia, α , se define como la inclinación de la curva definida por el desplazamiento de la cabeza del anclaje y el log tiempo, al final de cada fase de carga.
- La resistencia del anclaje, R_a , es la carga que corresponde a la asíntota vertical de la curva definida por el valor de α y la carga. Si no se puede determinar la asíntota, se considerará que R_a , es la carga que corresponde a un valor de α igual a 5 mm (Véase la figura n°21).

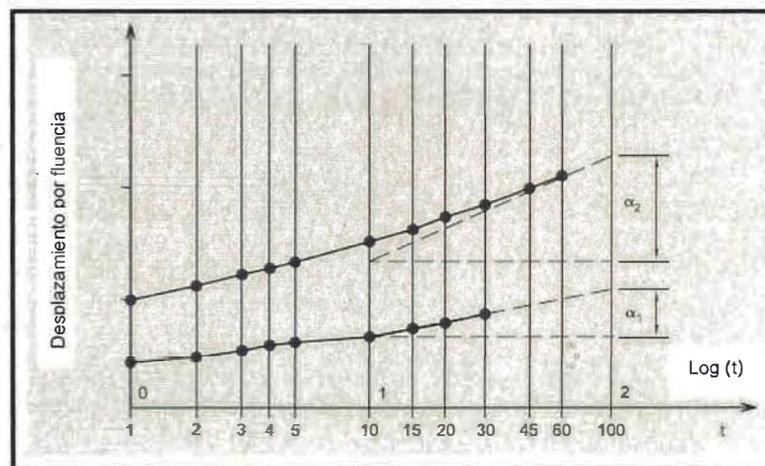


Figura N°20: El Desplazamiento por Fluencia se obtiene como la Pendiente de la Curva Definida por el Desplazamiento de la Cabeza del Anclaje y el Logaritmo del Tiempo.

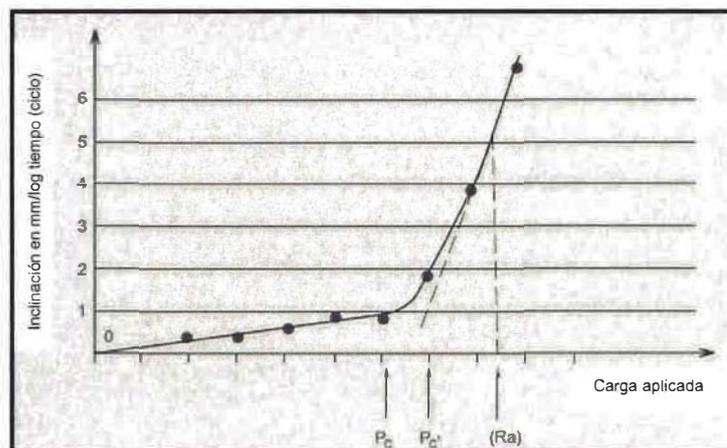


Figura N°21: Curva Fluencia-Carga Aplicada

La carga por fluencia crítica, P_c , deberá determinarse como se indica en la figura n°21. La carga por fluencia crítica es la carga que corresponde al final de la primera parte lineal de la curva definida por α y la carga. En los casos donde resulte difícil determinar P_c , con precisión, se podrá determinar una resistencia alternativa P_c' , tal como se indica en la figura n°21, definiéndose P_c como $0,9 P_c'$.

La medición del desplazamiento por fluencia deberá realizarse en los tiempos indicados, después de cada incremento de carga. Los períodos de observación para cada fase son:

Ensayo de investigación - de 30 hasta 60 minutos

Los tiempos sucesivos de seguimiento (en minutos) para cada fase son:

1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 10 - 15 - 20 - 30 - 60.

La longitud libre aparente (Lap) se calculará a partir de la expresión:

$$Lap = \frac{(Aa \cdot Ea \cdot \Delta s)}{\Delta P}$$

Dónde:

Aa : área de la sección de armadura

Ea : módulo de elasticidad de la armadura

Δs : deformación elástica de la armadura

ΔP : valor de la tensión de prueba menos la tensión de referencia
La longitud libre aparente deberá estar comprendida entre los siguientes valores:

$$Lap \leq L_{libre} + 0,5 L_{bulbo} + L_{externa}$$

$$Lap > 0,8 L_{libre} + L_{externa}$$

Siendo $L_{externa}$ la longitud existente entre la cabeza del anclaje y el punto de aplicación de la carga.

CAPÍTULO II: MECANICA DE SUELOS

2.1. GENERALIDADES

2.1.1. Introducción

El presente capítulo corresponde a la elaboración del Informe de la descripción de los trabajos realizados en campo y laboratorio, los resultados de los análisis efectuados y las conclusiones obtenidas en el Estudio de Mecánica de suelos con Fines de Cimentación para el proyecto, “RESISTENCIA DE BULBOS DE ANCLAJE EN ARENA EN LOS SUELOS DEL DISTRITO DE VILLA EL SALVADOR”

2.2. ENSAYO SPT (“STANDARD PENETRATION TEST”)

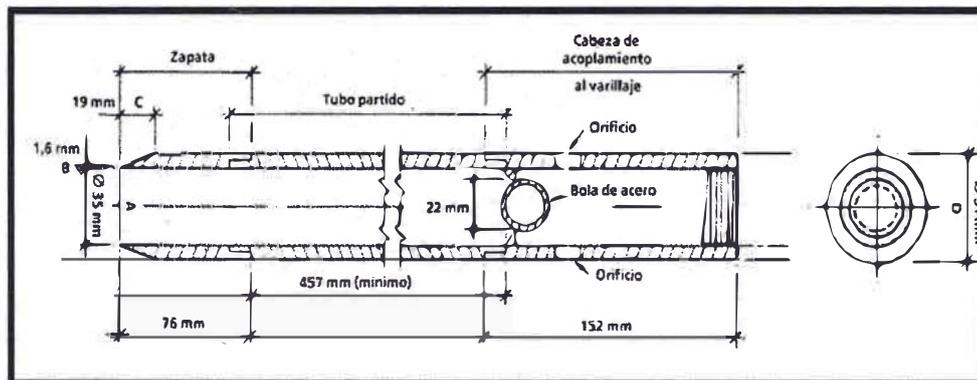


Figura N°22: Cuchara de ensayo normal de penetración, S.P.T.(Standard Penetration Test)

Junto a los ensayos de penetración pura, en los que el único dato que se obtiene es la Resistencia al descenso de una barra, existen muchos ensayos en los que se hinca un tubo, dentro del cual penetra el terreno, lo cual permite recuperar una muestra que nos informa de la naturaleza de la capa atravesada.

Entre los muchos ensayos de este tipo Terzaghi y Peck, en su libro, editado en primera edición, en 1948, eligieron un toma muestras (Figura N°22) y un método, empleado en aquel momento por la firma Raymond Concrete Pile Co.,

Y basaron en él las normas prácticas de proyecto incluidas en su libro. Esto hizo que el método descrito se difundiera y llegara a ser tomado como norma en una mayoría de países. Lo que a su vez ha acumulado respecto a él una enorme masa de experiencia que aumentado su valor.

Ciertamente, en su libro Terzaghi y peck la descripción del método de ensayo en sumaria, y esto ha hecho que la práctica difiera, entre unos y otros ejecutantes, en los detalles que se ha comprobado que son importantes para el resultado. Por ello, se han hecho recientemente esfuerzos para adoptar internacionalmente una norma uniforme, sin éxito hasta el momento. La A.S.T.M. ha publicado, sin embargo, una norma, aceptada en los Estados Unidos, que puede llegar a ser la base de esta unificación, y que reproducimos en un apéndice. Coexiste, por otra parte, con las normas: australiana, canadiense, japonesa, inglesa y portuguesa.

Para efectuar este ensayo es preciso avanzar con un sondeo normal. Al llegar al punto que se desea ensayar se introduce la cuchara normalizada hasta el fondo, y se la hinca mediante el golpeo de una maza. No se cuenta el número de golpes necesarios para introducirla los primeros 15 cm, ya que se supone que el terreno en el fondo del sondeo, puede estar alterado. Se cuentan, sin embargo, el número de golpes necesarios para introducirla los 30 cm siguientes. Este es el "número de penetración estándar", N .

En caso de arenas, parece que el uso de fangos de sondeo en el interior del tubo reduce muchísimo la posibilidad de descompresión hasta el punto de obtenerse valores de N muy superiores a los que se obtiene sin dichos fangos. Determinando como los valores reales representativos del estado del suelo in situ son los altos, correspondientes al sondeo efectuado con fango. Lo mismo opina Sutherland (1963) que relata como unos materiales que daban N igual a 22, 24 y 29, pasaron a dar $N = 64, 88, 94$, posiblemente por la eliminación del sifonamiento.

Dentro de la cuchara, se recupera una pequeña muestra, que debe considerarse como remoldeada, ya que el espesor de las paredes del tubo es muy grande con relación a su diámetro interior. Sin embargo, permite conocer su composición granulométrica y, en el caso de terrenos coherentes, su humedad, datos que son muy importantes para la interpretación de los resultados.

La ejecución del ensayo S.P.T. es mucho más complicada que la de los ensayos de penetración pura antes descritos. Hay que hacer un sondeo, limpiar perfectamente su fondo (lo cual muchas veces no se hace bien, aun poniendo mucho cuidado en ello) introducir la cuchara y, después del ensayo, sacarla. El proceso es, pues, discontinuo, y es habitual el especificar que se efectuó un ensayo tan solo cada dos metros “o cuando cambien las características del terreno”, circunstancia esta última que queda a la opinión del operador, y que no siempre es fácil de detectar. La información obtenida es, pues, más escasa que con los otros ensayos, pero, en cambio, por obtener muestra. Es más completa. Esto hace que no pueda decirse que uno de los tipos de ensayo sea preferible al otro, sino que la elección dependerá de las circunstancias del caso. En general, lo que si constituye un uso aceptado es especificar, en los sondeos de reconocimiento corrientes, que se efectuara el S.P.T. es el medio mejor, en este caso, para darnos idea de su compacidad.

En los estratos de grava, por otra parte, la cuchara normal no puede hincarse, pues su zapata afilada se dobla. Se sustituye entonces por una “puntaza” maciza de igual sección. Es claro que el S.P.T. No proporciona entonces muestra alguna.

2.2.1. Ubicación del Área en Estudio

El área en estudio se ubica en la Mz. C Lt. 06 distrito de Villa El Salvador, local almacén de PSV CONSTRUCTORES S.A .



Figura N°23: Ubicación del ensayo SPT- VILLA EL SALVADOR

2.2.2. Características Estructurales

La construcción corresponde a la inclusión de anclajes a partir de los 6.00m de profundidad, los cuales serán colocados con inyección de lechada de cemento, y posteriormente tensados con gatas hidráulicas.

2.2.3. Alcances del Trabajo

El presente Informe Técnico y el trabajo desarrollado en el tiene por finalidad:

- A. Determinar las características físicas-mecánicas de los materiales subyacentes, (dentro de la profundidad de interés), mediante los Números de golpes en 30cm (N) del SPT que resulta de los sondajes.
- B. El informe contempla la determinación de los parámetros geotécnicos como: Profundidad de desplante de la cimentación por metro de profundidad, tipo de cimentación, capacidad admisible del suelo con la súper estructura proyectada, asentamientos, parámetros sísmicos.
- C. Esto se efectúa con un programa de exploración de campo, ensayos de laboratorio y labores de gabinete; mediante los

cuales se deducen los parámetros de evaluación antes indicados que se complementa con la metodología aplicada. Se ha tenido en cuenta la Normas Técnicas: E-050 Suelos y Cimentaciones; E-030 Sismo – Resistente; del Reglamento Nacional de Construcciones.

2.3. EXTRACCIÓN DE MATERIAL IN-SITU Y MATERIAL ALTERADO.

Se han realizado 01 sondaje; los Sondajes se realizaron con el Equipo de Penetración Estándar SPT, Entre las tareas realizadas se complementa con la recuperación de muestra con el equipo SPT (caña partida).

2.3.1. Sondajes

Se han efectuaron 01 sondajes SPT, y ensayos con posteadora manual (IWAN AUGER) y Ensayos SPT cada metro de profundidad, registrándose el número de golpes N, necesarios para penetrar cada 15cm. de un total de 45cm. del penetrómetro. El equipo de Penetración Estándar consta de un trípode y un motor el cual va acondicionado, para impulsar el martillo de 140 libras el cual cae libremente a través de un tubo guía desde una altura de 76 cm, la caña partida es hincada en las arenas compactas a semi-compactas.. La profundidad de sondajes se da en el Cuadro N°01. Los resultados del Ensayo de Penetración Estándar (SPT) se presenta en los Cuadros N°02 y Anexo I: Registro de Ensayos de penetración y panel fotográfico en el Anexo III: Plano de Ubicación de Sondajes MS-01

CUADRO N° 06: PROFUNDIDAD DEL SONDAJE

Sondaje	Profundidad (m)
SPT-01	11.45

Fuente: Elaboración propia

CUADRO N° 07: RESULTADOS DEL ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTANDAR SPT01–PARTE I

SONSAJE	SPT-01			
	5.00-5.45	6.00-6.45	7.00-7.45	8.00-8.45
Prof(m)				
Primeros 15cm descartables		14	17	16
Primeros 15cm de prueba		18	23	34
Últimos 15cm de prueba		25	28	40
Valor "N"		43	51	74

Fuente: Elaboración propia

CUADRO N° 08: RESULTADOS DEL ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTANDAR SPT01–PARTE II

SONSAJE	SPT-01		
	9.00-9.45	10.00-10.45	11.00-11.45
Prof(m)			
Primeros 15cm descartables	32	39	20
Primeros 15cm de prueba	38	44	68
Últimos 15cm de prueba	53	75	80
Valor "N"	91	119	148

Fuente: Elaboración propia

2.4. MUESTREO DISTURBADO

Se tomaron muestras disturbadas de cada uno de los tipos de suelos encontrados, y extraídos mediante la recuperación del sondaje a través de la cuchara partida, en cantidad suficiente como para realizar los ensayos de clasificación e identificación, así como también los análisis químicos.

2.4.1. Registro de Sondajes

Se realizó el registro de sondajes anotándose las principales características de los estratos encontrados, tales como: humedad, compacidad, consistencia, N.F, plasticidad, clasificación, saturación etc.

2.4.2. Ensayos de laboratorio

Con las muestras recuperadas se realizaron los siguientes ensayos:

- ✓03 Análisis Granulométrico ASTM D-422
- ✓03 Humedades Naturales ASTM D-2216
- ✓03 Densidades máximas ASTM D-4253
- ✓03 Densidades mínimas ASTM D-4254
- ✓01 Análisis Químico
 - 01 Contenido de Sales Totales MTCE-219
 - 01 Contenido de Sulfatos ASTM D-516
 - 01 Contenido de Cloruros ASTM D-512

2.5. ANÁLISIS QUÍMICO

Dichos valores ocasionan un ataque químico al concreto de la cimentación si contienen más de un 0,1% en peso de cloruros, sulfatos o nitratos.

2.5.1. Sales Solubles, Cloruros Y Sulfatos

Del resultado del Análisis Físico Químico efectuado en una muestra representativa proveniente del sondaje SPT-01 se tiene el cuadro N°06:

CUADRO N° 09: ANÁLISIS QUÍMICO

Sondaje N°	Profundidad (m)	Sales Solubles Totales PPM	Cloruros PPM	Sulfatos PPM
SPT-01	6.00-11.45	931.00	210.71	83.92

Fuente: Elaboración propia

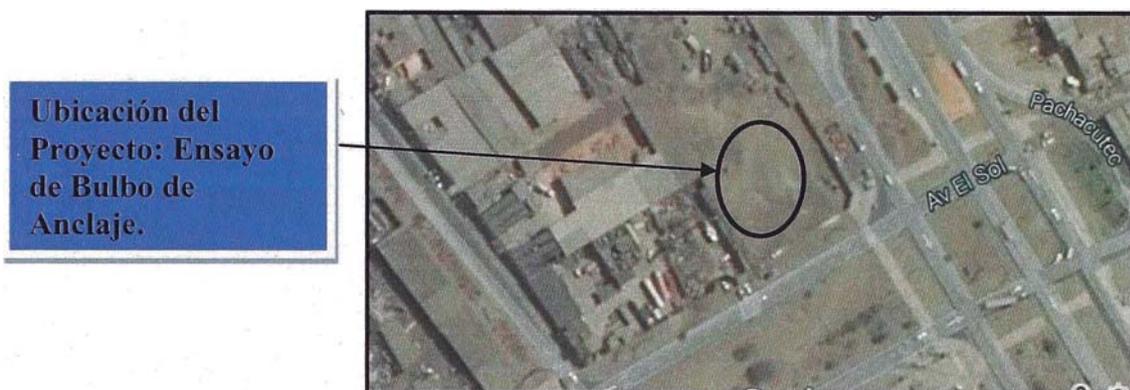
Dichos valores de sulfatos NO ocasionan un ataque químico al concreto de la cimentación debiéndose de utilizar Cemento Pórtland Tipo I en la preparación del concreto en los cimientos.

CAPÍTULO III: PROCESO CONSTRUCTIVO

3.1. MEMORIA DESCRIPTIVA

La ubicación del presente proyecto referente a Las perforaciones y los ensayos se realizarán en la siguiente dirección Av. El Sol Mz "C" Lote 6, Distrito Villa el Salvador, Lima.

FIGURA N°24: Instalación de bulbos de anclaje- VILLA EL SALVADOR



Fuente: GOOGLE EARTH, 2015

Para describir el siguiente proyecto detallaremos cada fase de los trabajos realizados en los siguientes subtítulos:

3.1.1. Anclajes

Los anclajes estarán conformado por cordones de acero grado 270 de baja relajación, con 0.6" (15.242mm) de diámetro, acorde con los requerimientos del ASTM A-416. Las características mecánicas del acero grado 270 de baja relajación son:

- Esfuerzo mínimo a la rotura: 189.80 kg/mm^2
(186.19 KN/cm²)
- Esfuerzo de fluencia: 170.82 kg/mm^2
(167.57 KN/cm²)

- Módulo de elasticidad: 19,750.00 kg/mm²
(19,374.75 KN/cm²)

Según los requerimientos indicados en la norma ASTM A-416, los valores de resistencias mínimas del cable, se indica a continuación:

- Diámetro del cordón: 15.24 mm (0.600 in)
- Área de acero por cordón: 140.0 mm² (0.217 in²)
- Resistencia mínima a la rotura (Fpk): 26,572.00 kg (260.7 kN)
- Resistencia mínima a la fluencia (Fyk): 23,915.00 kg (234.6 kN)

Con estas características se obtienen, según los lineamientos para diseño indicados en las recomendaciones de la norma UNE EN 1537, los siguientes valores para cada cable de acero de 5/8" de diámetro (15.24 mm):

En anclajes provisionales:

- $PNd / AT \leq fpk / 1,25$
- Carga de ensayo mínima: 21257.6 kg (156.40KN),Ftr.

En anclajes permanentes:

- $PNd / AT \leq fpk / 1,30$
- Carga de ensayo mínima: 20440.0 kg(208.571KN),Ftr.

Fpk = Resistencia mínima a la rotura.

Fyk = Resistencia mínima a la fluencia.

fpk = límite de rotura del acero del tirante.

PNd = carga de diseño o de trabajo para cada anclajes

AT = sección del tirante.

- Carga de ensayo trabajo (60% Fpk): 15943.2 kg (162.7KN), Ftr.

La preparación de los anclajes será realizado sobre una plataforma provisional, para el montaje, primero se preparará el tubo de inyección de PVC clase 10, con diámetro de 1", donde se ejecutarán los agujeros para la inyección (válvula manguito). Luego, alrededor del tubo de inyección, se colocarán los cables de acero sobre separadores y cortados según la longitud definitiva del anclaje, además el recubrimiento mínimo entre el elemento metálico y el terreno será de 10 mm. Asimismo, se dispondrán los separadores precisos para asegurar el funcionamiento de los elementos del tirante.

Los cables requeridos serán suministrados con protección anticorrosiva de fábrica, es decir, el cable se encuentra engrasado y forrado con una cubierta de polietileno. El tramo del cable de acero correspondiente al bulbo del anclaje será preparado previamente, retirando el forro y quitando totalmente la grasa.

La protección suministrada es para proteger principalmente el cable en la zona libre la cual interactúa directamente con el suelo y el ambiente y fácilmente puede corroerse y generar problemas en todo el anclaje, por ello se considera necesario la protección anticorrosiva antes mencionada.

3.1.2. Perforación

El objetivo de las perforaciones para anclajes es la obtención de un agujero con la mayor linealidad posible. El diámetro de la perforación debe permitir la instalación de modo más fácil posible.

Básicamente existen dos sistemas de perforación que pueden ser utilizados en la ejecución de anclajes. El primero es el sistema rotativo convencional, y el segundo de roto percusión.

Para la presente Proyecto de Suficiencia se empleará el método Rotativo usando una Perforadora tipo Longyear 38, con un sistema el cual esta

compuesto por una zapata widia conectada a diferentes tramos de tubería HW, siendo cada una de una longitud de 3 metros, La velocidad de rotación de la perforadora no debe exceder las 15 RPM, El sistema es eficiente en todos los tipos de formaciones geológicas, principalmente para materiales granulares no consolidados, como el caso de los conglomerados de Lima (gravas, arenas y grandes bloques).

El método se basa en usar una zapata widia como base de perforación y obtener así un diámetro igual al de la zapata, Interiormente se extrae el material suelto usando una bomba de lodo. El diámetro final de la perforación será de 4.5", debido a que se utilizó tubería HW, por la que se tuvo que usar una zapata widia de la misma dimensión.

3.1.3. Inyección Única Global (IU)

Los anclajes serán fijados en el terreno a través de lechada de cemento, es el más aplicado y la de menor costo. La lechada es usualmente compuesta por una simple mezcla de agua limpia con cemento Portland común. El uso de aditivo químico acelerante no está considerado.

La gran mayoría de las recomendaciones y prácticas existentes sitúan el factor agua/cemento entre 0,40 y 0,45 con límite inferior del orden de 0,35 y superior de 0,50. Este último valor es el que consideramos utilizar, mezcla que garantiza una resistencia a la compresión simple de 210 kg/cm² a los 7 días.

Hay dos tipos de inyección más que se pueden utilizar, entre estas tenemos la inyección repetitiva y la inyección repetitiva selectiva, las cuales generan mayor diámetro en el bulbo de anclaje y otorgan mayor capacidad de carga al anclaje.

Los tres anclajes ejecutados en el ensayo son de 10.5mts, cada uno tiene un bulbo de 4mts, 5mts y 6mts, y se utilizó en todos un tipo de inyección IU, debido a que es más rápido que las otros dos y además es la que más se usa en obra.

3.1.4. Preparación de la lechada

La lechada es preparada en mezcladoras mecánicas de alta turbulencia. Esas mezcladoras tienen dos reservorios sucesivos. El primero funciona como dosificador, además de promover una mezcla inicial de la lechada y el segundo como reservorio y agitador, que alimenta la bomba de inyección.

La mezcla será agitada por un tiempo suficiente para que sea homogénea, normalmente durante algunos minutos (2 a 3 minutos). Se transfiere enseguida, la mezcla para el segundo reservorio.

3.1.5. Inyección de la mezcla

Se utilizará una bomba especial de alta presión y de bajo caudal, pudiendo ser de pistón o de tornillo. La inyección se realizará con tubería metálica auxiliar de diámetro menor al tubo de inyección de PVC del anclaje.

La inyección comprende el llenado con lechada de cemento, desde el fondo hasta la boca de la perforación, situación que da por terminada la inyección.

De ser necesario, el sistema de anclaje utilizado, permitirá realizar una segunda etapa de inyección, aplicando una presión controlada evitando sobrepasar los 10 psi registrados en el manómetro y así mejorar la adherencia en el tramo anclado, esta segunda inyección se realiza luego del inicio de fragua de la lechada inyectada inicialmente.

En la práctica, la presión de inyección se define en la propia obra, considerando el tipo de material del subsuelo, el consumo de cemento, la carga del anclaje, la extensión del anclaje, entre otros factores, de forma de no ocasionar roturas o levantamientos del terreno colindante. Por experiencia en el conglomerado de Lima, la inyección por gravedad garantiza la adherencia del anclaje, razón por la que se aplican presiones relativamente bajas y controladas para la inyección del bulbo del anclaje.

3.1.6. Tensado

Todos los anclajes serán ensayados, es decir instalados bajo tensión, luego que la lechada de cemento del anclaje, obtengan la resistencia adecuada (210 kg/cm^2), se estima en 7 días. Para la ejecución del ensayo de tensado se observaran las siguientes Normas:

NLT-258. Ensayo de puesta en carga de un anclaje mediante fases incrementales Para la determinación del desplazamiento por fluencia de la cabeza del anclaje

El tensado de los anclajes se realizará con gatos hidráulicos especiales que permiten tensar el anclaje en conjunto, sean de 2, de 3 o más cables de acero los que conforman el anclaje.

El anclaje deberá cargarse hasta la rotura, R_a , o hasta una tensión de prueba, P_p , que deberá estar limitada por el menor valor de entre $0,80P_{tk}$ y $0,90P_{t0,1k}$.

El anclaje deberá cargarse hasta la carga máxima de ensayo en un mínimo de seis incrementos (Véase la cuadro 4).

Los incrementos de carga y los períodos de observación mínimos se indican en la cuadro 4.

Los períodos mínimos de observación, para los incrementos de carga, podrán reducirse a 30 minutos, en ausencia de fluencia apreciable.

CUADRO N°10: FASES DE CARGA Y PERÍODOS MÍNIMOS DE OBSERVACIÓN PARA LOS ENSAYOS DE INVESTIGACIÓN EFECTUADOS SOBRE LOS ANCLAJES

NIVELES DE CARGA % P_p						PERÍODO MÍNIMO DE OBSERVACIÓN EN MINUTOS
INCREM. 1	INCREM. 2	INCREM. 3	INCREM. 4	INCREM. 5	INCREM. 6	
10	10	10	10	10	10	1
	25	40	55	70	85	1
25	40	55	70	85	100	(60 ó 180)
	25	40	55	70	85	1
10	10	10	10	10	10	1

Fuente: NTL-258

P_{tk} = Carga característica de la armadura.

$P_{t0,1k}$ = Carga característica para la cual hay una deformación permanente del 0,1%.

Los desplazamientos debidos a la fluencia para la tensión de prueba, deberán medirse entre el minuto treinta (30) y el minuto sesenta (60) para ensayos de investigación. El desplazamiento máximo por fluencia correspondiente deberá ser menor que:

- 1,5 mm para los anclajes permanentes con ensayos de investigación.
- 1,8 mm para los anclajes provisionales con ensayos de investigación.

3.1.7. Equipo asignado

Para la ejecución de los trabajos de perforación e instalación de anclajes, se utilizarán los equipos indicados a continuación:

- 01 Perforadora de arrastre marca Longyear, modelo 38,
- 01 Bomba de inyección
- 01 Mezcladora de cemento
- 01 Agitador de mezcla
- 01 Grupo generador de 25 kv para accionamiento de la central de inyección.
- 01Glb Herramientas, materiales, utensilios, tubería, brocas, mangueras, manómetros, caudalímetro, válvulas, obturadores, materiales de repuesto, gata para tensado con capacidad de hasta 200 toneladas, silla de tensado, deformímetro, bomba hidráulica para accionamiento de la gata hidráulica, etc., suficientes para ejecutar los servicios de perforación y anclajes de acuerdo con las cantidades previstas para los trabajos.

3.1.8. Personal asignado

Para la realización de las perforaciones se consideró el siguiente equipo de trabajo:

- 01 Ingeniero supervisor

- 01 Perforistas
- 03 Ayudantes de perforación
- 01 Inyector de cemento
- 03 Ayudantes de inyección

3.1.9. Costo y presupuesto teórico

El costo de los trabajos realizados se detalla de la siguiente manera (Ver cuadro N° 10):

CUADRO N°11: COSTOS DE LAS 3 PERFORACIONES Ø 4.5"x10.5MTS

DESCRIPCIÓN	COSTO (S/.)
Pruebas de ensayo SPT	3000
Perforación de 3 anclajes long. total= 31.5 mts	13000
Instalación de Anclajes	1000
Inyección de lechada	600
Tensado de Anclajes	1000
Costo Total incluido IGV (S/.)	18600

Fuente: Elaboración Propia

En los precios está incluido la mano de obra directa e indirecta; el desgaste de los equipos, accesorios, materiales consumibles, herramientas y utensilios; y cualquier otro gasto que sea requerido para cumplir la correcta ejecución de los trabajos programados, (La infografía ver en el anexo II).

3.2. PARÁMETROS DEL SUELO

3.2.1. Clasificación de Suelos

Se realizaron los ensayos de las muestras obtenidas en el Capítulo II, para la clasificación de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). En el laboratorio de mecánica de suelos de la UNI.

CUADRO N° 12: CLASIFICACIÓN DE SUELOS

SONDAJE	SPT-01	SPT-01	SPT-01
Prof.(m)	7.00 – 7.45	9.00-9.45	11.00-11.45
Ret. N° 4	0.00	0.00	0.10
Pasa N° 200	8.00	12.00	13.00
L.L.(%)	NP	NP	NP
I.P.(%)	NP	NP	NP
SUCS	SP-SM	SW-SM	SM
Descripción	Arena limosa pobrementemente gradada	Arena limosa bien gradada	Arena limosa
Corte directo (°)	28.70°	29.90°	28.10°
Cohesión (Kg/cm2)	0.00	0.00	0.01
Peso Unitario(g/cm3)	1.534	1.581	1.596

Fuente: Elaboración Propia

3.2.2. Perfil Estratigráfico De Los Sondeos Realizados

En conformidad con las labores de campo, ensayos de laboratorio, se tiene el siguiente perfil estratigráfico del sub suelo:

En el sondaje se encontró una arena limosa mal gradada color gris claro hasta los 7.45m de profundidad seguida por una arena limosa bien gradada de color gris amarillento densa, subyace hasta una profundidad de 11.45m una arena limosa muy densa de color gris amarillento.

3.2.3. Densidad Máxima, Mínima Y Densidad Relativa

A continuación se detalla los resultados de las densidades máximas y mínimas así como las densidades relativas para cada profundidad a partir del sexto metro.

METODO DE CÁLCULO DE LA DENSIDAD NATURAL

$$D_R = \frac{\rho_{\text{máx}} (\rho_d - \rho_{\text{mín.}})}{\rho_d (\rho_{\text{máx.}} - \rho_{\text{mín.}})} \times 100$$

donde:

- D_R : Densidad relativa (%).
- ρ_d : Densidad del suelo en el terreno (kg/m^3).
- $\rho_{\text{mín.}}$: Densidad seca mínima (kg/m^3).
- $\rho_{\text{máx}}$: Densidad seca máxima (kg/m^3).

Fuente: Elaboración Propia

CUADRO N° 13: CALCULO DE LA DENSIDAD NATURAL

Prof.	N	DR(%)	pmax (gr/cm3)	pmin (gr/cm3)	pd (gr/cm3)
6.00-6.45	43	58	1.628	1.441	1.544
7.00-7.45	51	64	1.628	1.441	1.544
8.00-8.45	74	83	1.708	1.454	1.607
9.00-9.45	91	91	1.708	1.454	1.607
10.00-10.45	119	100%	1.726	1.467	1.726
11.00-11.45	148	100%	1.726	1.467	1.726

Fuente: Elaboración Propia

3.3. DISEÑO Y CÁLCULO DE LA CAPACIDAD DE CARGA DEL BULBO TEÓRICO

El perfil geotécnico del lugar está conformado desde el nivel superficial del suelo por arena, arena limosa de consistencia pobremente gradada y en parte más profunda una arena limosa bien gradada. El ensayo se realizó hasta la profundidad de 11,0 metros.

Para efectos de diseño se tomarán valores ponderados referentes al la prueba SPT obtenida, para obtener un valor referencial referente a teorías ya determinadas (Ostermayer) antes de iniciar el ensayo de la resistencia de los bulbos de anclaje.

Para el cálculo de la capacidad del bulbo, debemos conocer la carga límite de los cordones antes de que empiece el colapso y según ello conocer la Carga de diseño del anclaje.

Según la Norma ASTM A416/A416, Las características de resistencia mínimas que debe tener cada cordón antes descrito son las siguientes:

- Esfuerzo mínimo a la rotura: 189.80 kg/mm^2
(186.19 KN/cm²)
- Esfuerzo de fluencia: 170.82 kg/mm^2
(167.57 KN/cm²)

- Módulo de elasticidad: 19,750.00 kg/mm²
(19,374.75 KN/cm²)
- Diámetro del cordón: 15.24 m (0.600 in)
- Área de acero por cordón: 140.0 mm² (0.217 in²)
- Resistencia mínima a la rotura (Fr): 26,572.00 kg (260.7 kN)
- Resistencia mínima a la fluencia (Fy): 23,915.00 kg (234.6 kN)

En la perforación, el ensayo se realizó con dos cables para cada perforación, Según la norma UNE EN 1537 los lineamientos de diseños para el anclaje perforado son los siguientes:

- Carga de diseño o de trabajo (0.60 Fr): 15,943.20 kg(156.40 KN)
- Carga de ensayo mínima Permanentes (Fr/1.3): 20,440.00 kg
(208.571KN)
- Carga de ensayo máxima Permanentes (0.9*Fy): 21,523.50 kg
(219.627KN)
-
- Carga de ensayo mínima Provisionales (Fr/1.25): 21257.6 kg
(216.914KN)
- Carga de ensayo máxima Provisionales (0.9*Fy): 21,523.50 kg
(219.627KN)

Considerando la cantidad de cables = 2

Resistencia Mínima Última (Pu):

$$Pu = \#cables (Fpu) = 2(26572) = 53,144.00kg$$

Carga de diseño o trabajo (Pmax):

$$Pmax = 0.6 (53,144) = 31,886.40kg$$

Carga de ensayo para anclajes permanentes (Pe):

$$40,880.00kg \leq Pe \leq 43,046.10kg$$

Carga de ensayo para anclajes provisionales (Pe):

$$42,515.20\text{kg} \leq Pe \leq 43,046.10\text{kg}$$

3.3.1. Carga de diseño

Los a los criterios establecidos por la norma UNE EN 1537 limitan pruebas de calificación del anclaje la carga mínima es 80% de la carga de ruptura(P_u) en anclajes provisionales y 76.9% de la carga de ruptura(P_u) en anclajes permanentes y en ambos casos una carga máxima del 90% .de la carga de fluencia (P_y).

Ahora bien, Según lo indicado la carga de ruptura última de 2 cables es $P_u=53,144\text{kg}$.

La carga de diseño o trabajo (P_t) es el 60% de la carga de ruptura(P_u), por lo tanto para 2 cables :

$$P_t=53,144*60\%=31.886 \text{ toneladas.}$$

Los anclajes se ejecutarán siguiendo los criterios de la norma UNE EN 1537, por lo tanto el anclaje de 2 cables de acero ASTM A 416-94 tiene:

Carga última	53.144 toneladas
Carga de fluencia	47.829 toneladas
Carga de trabajo	31.886 toneladas
$40,880.00\text{kg} \leq \text{Carga de prueba (Pe)} \leq 43,046.10\text{kg}$	

Estos criterios son aquellos previstos por la norma UNE EN 1537. Otras normas internacionales presentan criterios un poco diferentes, pues consideran solo la carga ruptura como límites y no la carga de fluencia como señala los procedimientos recomendados por la norma UNE EN 1537.

3.3.2. Longitud del bulbo de anclaje

Para determinar la carga de diseño del bulbo de anclaje se analizará los siguientes criterios:

- METODO DE BUSTAMANTE Y DOIX 1985
- METODO DE LA NORMA BRASILEIRA – 5629
- METODO DE COSTA NUNES

3.3.2.1. Método de Bustamante y Doix 1985:

El método está basado en más de 120 pruebas realizadas en Francia, donde sugieren un método para el dimensionamiento de los anclajes, en el cual se consideran efectos tales como la presión de inyección y el volumen de cemento inyectado.

La capacidad máxima del anclaje viene dada por:

$$P_u = \pi \cdot D_e \cdot q_s \cdot L_B$$

$$D_e = \beta \cdot D_p$$

Dónde:

L_B : Longitud de Bulbo (cm)

P_u : Capacidad de carga límite o última (TN)

D_e : Diámetro medio perforado para el tramo anclado (cm)

D_p : Diámetro perforado para el tramo anclado (cm)

β : Coeficiente de aumento del diámetro del bulbo debido a la inyección

q_s : Resistencia al cizallamiento o cortante (kg/cm²)

Para el cálculo de q_s se hará uso del ábaco (ver Fig N°18).

$L_b = 4.0$ m, $N = 51$ golpes se obtiene un $q_s = 2.68$ kg/cm²

$L_b = 5.0$ m, $N = 43$ golpes se obtiene un $q_s = 2.27$ kg/cm²

$L_b = 6.0$ m, $N = 43$ golpes se obtiene un $q_s = 2.27$ kg/cm²

Bustamante y Doix (1985), Fujita (1977), Ostermeyer y Scheele(1977), Ostermeyer(1974), Koreck (1978) e Jones (1980,1984), en cientos de pruebas empíricas realizadas para arenas y gravas, muestran valores para q_s , mostrados en el subsiguiente gráfico, donde P_1 representa el valor de presión límite con el ensayo presiométrico y N el número de golpes con el ensayo SPT.

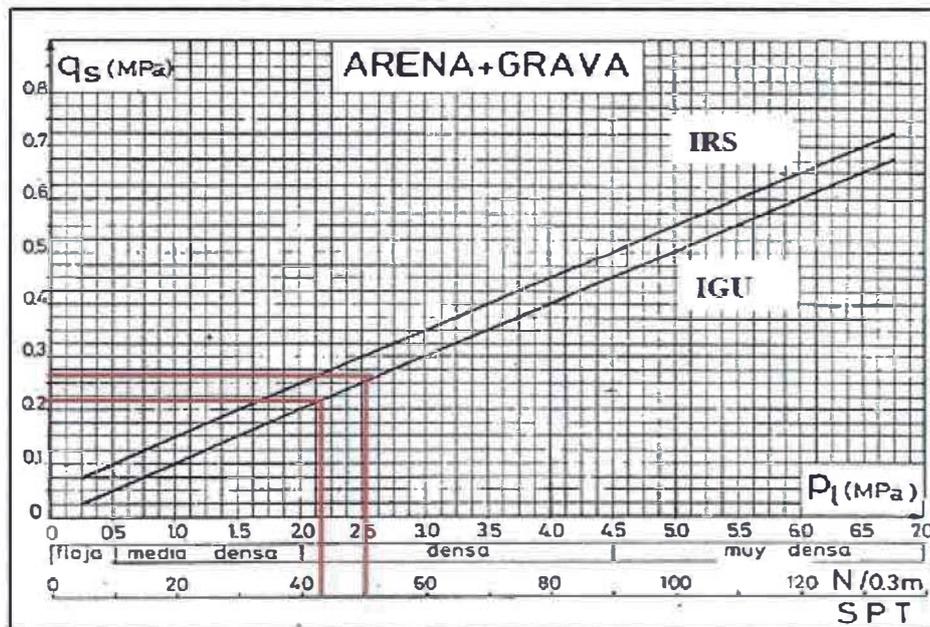


Figura N°25: Correlaciones empíricas para el cortante o cizallamiento por unidad de longitud en arenas y gravas

Fuente: Elaboración propia
 IRS (Inyección repetitiva selectiva)
 IGU (Inyección única global)

La tabla siguiente muestra valores para el coeficiente β , según el tipo de suelo, y la técnica de inyección, de tal manera que el volumen inyectado sea por lo menos 1.5 veces el volumen perforado, para tomar los valores de la tabla. Como se esperaba mayores valores de β son posibles para anclajes inyectados.

CUADRO N° 14: COEFICIENTE β PARA SUELOS

Tipo de Suelo	Coeficiente β	
	Con Inyección	Sin Inyección
Grava	1.80	1.3 - 1.4
Grava Arenosa	1.6 - 1.8	1.2 - 1.4
Arena con Grava	1.5 - 1.6	1.2 - 1.3
Arena Gruesa	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2
Arena Media	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2
Arena Fina	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2
Arena Limosa	1.4 - 1.5	1.1 - 1.2
Limo	1.4 - 1.6	1.1 - 1.2
Arcilla	1.8 - 2.0	1.2
Marga	1.8 - 2.1	1.1 - 1.2
Roca alterada o Fragmentada	1.2 - 1.8	1.1

Fuente: Elaboración propia

Calculo de la capacidad de carga última (P_i):

CUADRO N° 15: MÉTODO DE BUSTAMANTE Y DOIX 1985

β	Dp (cm)	De (cm)	Lb (cm)	qs (kg/cm ²)	Pu (max) (TN)
1.40	11.43	16.00	400.0	2.68	53.89
1.40	11.43	16.00	500.0	2.27	57.06
1.40	11.43	16.00	600.0	2.27	68.47

Fuente: Elaboración propia

3.3.2.2. Método De La Norma Brasileira – 5629

La norma brasileira NBR-5629 recomienda para un valor estimativo preliminar de la capacidad de carga límite del anclaje, el uso de las siguientes expresiones:

La longitud de bulbo mediante la siguiente ecuación:

$$P_u = \sigma'_z \cdot U \cdot L_b \cdot K_f ; \text{ Para suelos granulares}$$

Dónde:

L_b : Longitud de Bulbo (m)

P_u : Capacidad de carga limite o ultima (TN)

σ'_z : Esfuerzo vertical efectivo en el punto medio del anclaje

U : Perímetro promedio de la sección transversal del bulbo del anclaje (m)

K_f : coeficiente de anclaje dado en el cuadro 14

CUADRO N° 16: COEFICIENTE K_f DE SUELOS GRANULARES NBR-5629

Suelo	Compacidad		
	Suelta	Compacta	Muy Compacta
Limo	0.10	0.40	1.00
Arena Fina	0.20	0.60	<u>1.50</u>
Arena Media	0.50	1.20	2.00
Gruesa y Pedregones	1.00	2.00	3.00

Fuente: Elaboración propia

Calculo de la capacidad de carga última (Pu):

CUADRO N° 17: MÉTODO DE LA NORMA BRASILEIRA – 5629

γ_c (KN/m ²)	z (m)	D (m)	σ_z' (KN/m ²)	U (m)	Lb (m)	Kf	Pi (TN)
14.8	7.0	0.1	103.32	0.43	4.0	1.5	27.23
14.8	6.5	0.1	95.94	0.43	5.0	1.5	31.61
14.8	6.0	0.1	88.56	0.43	6.0	1.5	35.01

Fuente: Elaboración propia

- *Este método no toma en cuenta la presión de inyección. La norma NBR 5626 admite que para la inyección del bulbo del anclaje, la inyección del bulbo de cemento, puede ser del tipo simple con flujo ascendente en fase única, o a través de válvulas en fases sucesivas, a criterio de la empresa ejecutora, si son garantizados la terminación del agujero abierto en el suelo y la capacidad de carga prevista para el anclaje.*

3.3.2.3. Método de Costa Nunes

Un procedimiento semejante al de Bustamante y Doix (1985), puede ser considerado, con la diferencia que en este método se considera la influencia del preinyectado de una forma cuantitativa.

La longitud de bulbo mediante la siguiente ecuación:

$$P_u = \pi \cdot D_e \cdot n_d \cdot L_b \cdot n_l \cdot \tau$$

Dónde:

Lb : Longitud de Bulbo (cm)

Pu : Capacidad de carga limite o ultima (kg)

De: Diámetro medio del bulbo (m)

nd : Coeficiente de aumento del diámetro debido a la presión de inyección

nl : Coeficiente de reducción de longitud por la presión no uniforme

τ : Resistencia al cizallamiento en la interface bulbo suelo (KN/m²)

Para la estimación de la resistencia cortante, Costa Nunes (1987), considero el modelo de ruptura Mohr-Coulomb, considerando una presión residual:

$$\tau_f = c + (\sigma' + \sigma_r') \tan \phi$$

$$\tau_f = c + (\gamma_c \cdot h \cdot n_h + \sigma_r) \tan \phi$$

Dónde:

c : Cohesión del suelo (KN/m²)

γ_c : Peso específico del suelo a una profundidad al centro del bulbo (KN/m³)

h : Profundidad al centro del bulbo (m)

nh : Factor de corrección cuando está a una superior a 9m

ϕ : Angulo de fricción

σ_r : 50 por ciento de la presión de inyección (KN/m²)

Para mayoría de casos nh = nb = nd = 1.0 . De acuerdo a Costa Nunes

Calculo de la capacidad de carga última (Pu):

CUADRO N° 18: CALCULO DE LA RESISTENCIA AL CIZALLAMIENTO

c (KN/m ²)	γ_c (KN/m ³)	h (m)	nh	ϕ (°)	σ_r (KN/m ²)	τ (KN/m ²)
0.0	14.8	7.0	1.0	28.7	392.4	271.4
0.0	14.8	6.5	1.0	28.7	392.4	267.4
0.0	14.8	6.0	1.0	28.7	392.4	263.3

Fuente: Elaboración propia

CUADRO N° 19: MÉTODO DE COSTA NUNES

nl	Lb (m)	nd	De (m)	Pu (TN)
1.0	4.0	1.0	0.1	47.7
1.0	5.0	1.0	0.1	58.7
1.0	6.0	1.0	0.1	69.4

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV: ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS INSITU

4.1. ANÁLISIS DE LA TABLA DE CAPACIDAD DE CARGA VS LONGITUD DEL BULBO IN-SITU.

De acuerdo a la norma UNE EN 1537, durante el tensado de los anclajes se fabricó un bloque de acero para poder apoyar el cabezal y sobre ello colocar la gata hidráulica, se consideró 2 puntos fijos para poder controlar la deformación en los diferentes aumentos de carga del tensado.

La aplicación del tensado se realizó de la siguiente manera:

- La carga máxima aplicada para los ensayos fue de 44,040.00kg, sin embargo lo que recomienda la norma UNE EN 1537 analizada en el capítulo III sobre ensayos de investigación, que para anclajes la carga de prueba estará entre 40,880.00kg y 43,046.10kg
- El Aumento de carga fue realizado en un solo ciclo, sin embargo lo que recomienda la norma UNE EN 1537 analizada en el capítulo III sobre ensayos de investigación, que como mínimo se realizara en 6 ciclos.
- Los apoyos fijos presentaron problemas de asentamiento debido a que el suelo de apoyo es un suelo arenoso, el cual no se encuentra debidamente firme y compactado, por lo cual al elevar la carga presente asentamientos y errores en la medida del tensado del anclaje.
- Los ensayos de investigación se realizaron considerando un tiempo mínimo de 15 minutos por cada aumento de carga en un solo ciclo, sin embargo lo que recomienda la norma UNE EN 1537 analizada en el capítulo III sobre ensayos de investigación, que para cada carga aplicada se considera un tiempo de espera mínimo de 30 minutos de no encontrar deformaciones considerables y 60 de considerarlo una longitud considerable.

Del desarrollo de tensado de cada anclaje se obtuvo lo siguiente:

- 1) La prueba de ensayo del tensado de anclaje teniendo como longitud de bulbo igual a 4 metros:

$$P_u = 36.46 \text{ Toneladas}$$

Se obtuvieron los siguientes datos durante el ensayo:

CUADRO N° 20: CICLOS DE CARGA Y DESPLAZAMIENTOS DE LA CABEZA DEL ANCLAJE EN EL ENSAYO DE INVESTIGACIÓN PARA UN BULBO IGUAL A 4 METROS

CARGA		DESPLAZAMIENTOS (mm)		
		ANCLAJE		
(ton)	%	LECTURA (mm)	Deformación Parcial	Deformación Acumulada
3.28	9%	24.95		0.00
8.97	25%	39.21	14.26	14.26
13.71	38%	47.33	8.12	22.38
18.45	51%	56.71	9.38	31.76
23.19	64%	62.83	6.12	37.88
27.93	77%	70.05	7.22	45.10
32.67	90%	79.78	9.73	54.83
36.46	100%	94.43	14.65	69.48
3.28	9%	43.83	-50.60	18.88

Fuente: Elaboración propia

La deformación total del anclaje es de 19.88mm, generándose fluencia en el suelo el cual envuelve al bulbo de anclaje, debido a que se obtuvo un desplazamiento de carga relativamente constante (capacidad externa) quedando determinada de esta manera su capacidad.

Grafica de los ciclos de cargas aplicados con control de desplazamiento:

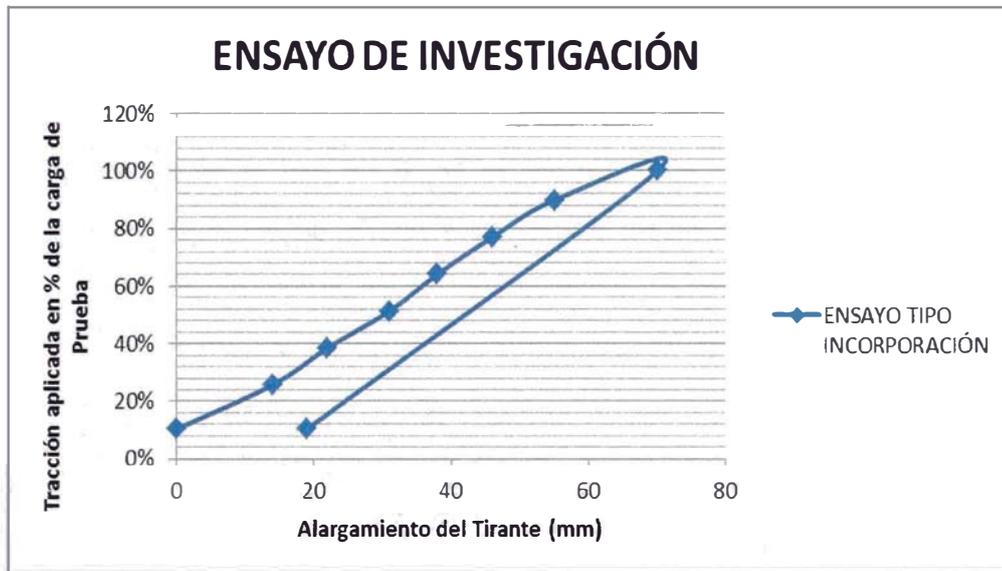


Figura N°26: Grafica de los ciclos incrementales de carga con el desplazamiento para un bulbo de anclaje igual a 4 metros

2) Anclajes de longitud de bulbo de 5 metros:

$$P_u = 42.15 \text{ Toneladas}$$

Se obtuvieron los siguientes datos durante el ensayo:

CUADRO N° 21: CICLOS DE CARGA Y DESPLAZAMIENTOS DE LA CABEZA DEL ANCLAJE EN EL ENSAYO DE INVESTIGACIÓN PARA UN BULBO IGUAL A 5 METROS

CARGA		DESPLAZAMIENTOS (mm)		
(ton)	%	ANCLAJE		
		LECTURA (mm)	Deformación Parcial	Deformación Acumulada
3.28	8%	47.32		0.00
8.97	21%	54.22	6.90	6.90
13.71	33%	59.72	5.50	12.40
18.45	44%	68.11	8.39	20.79
23.19	55%	75.89	7.78	28.57
27.93	66%	83.93	8.04	36.61
32.67	78%	92.44	8.51	45.12
37.41	89%	102.97	10.53	55.65
42.15	100%	118.68	15.71	71.36
3.28	8%	64.23	-54.45	16.91

Fuente: Elaboración propia

La deformación total del anclaje es de 16.91mm, generándose fluencia en el suelo el cual envuelve al bulbo de anclaje, debido a que se obtuvo un desplazamiento de carga relativamente constante (capacidad externa) quedando determinada de esta manera su capacidad.

Grafica de los ciclos de cargas aplicados con control de desplazamiento:

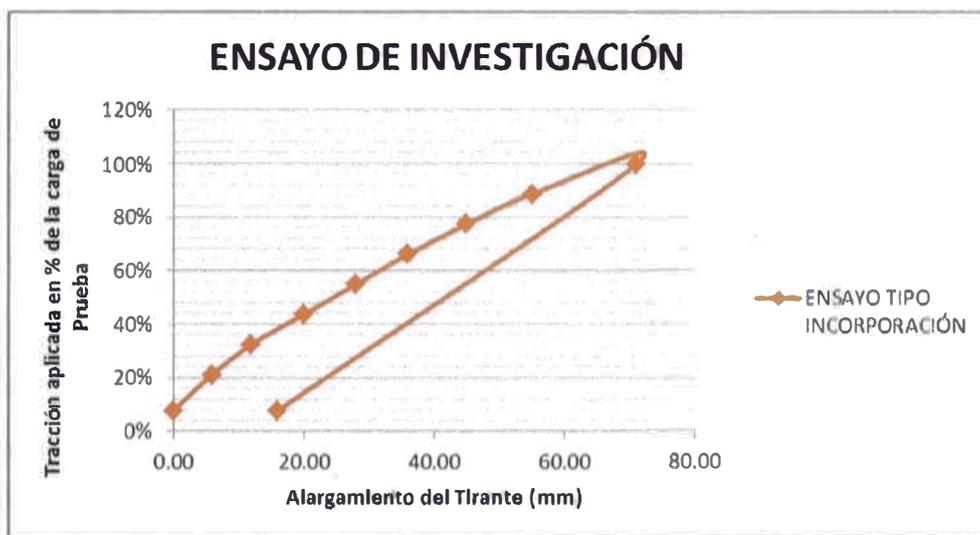


Figura N°27: Grafica de los ciclos incrementales de carga con el desplazamiento para un bulbo de anclaje igual a 5 metros

3) Anclajes de longitud de bulbo de 6 metros:

$P_u = 42.15$ Toneladas

Se obtuvieron los siguientes datos durante el ensayo:

CUADRO N° 22: CICLOS DE CARGA Y DESPLAZAMIENTOS DE LA CABEZA DEL ANCLAJE EN EL ENSAYO DE INVESTIGACIÓN PARA UN BULBO IGUAL A 6 METROS

CARGA		DESPLAZAMIENTOS (mm)		
(ton)	%	ANCLAJE		
		LECTURA (mm)	D	TOTAL
3.28	8%	56.03		0.00
8.97	21%	65.15	9.12	9.12
13.71	33%	68.94	3.79	12.91
18.45	44%	75.78	6.84	19.75
23.19	55%	84.23	8.45	28.20

27.93	66%	91.22	6.99	35.19
32.67	78%	102.45	11.23	46.42
37.41	89%	109.34	6.89	53.31
42.15	100%	119.55	10.21	63.52
44.04	104%	125.65	6.10	69.62
3.28	8%	64.08	-61.57	8.05

Fuente: Elaboración propia

La deformación total del anclaje es de 8.05mm, generándose fluencia en el suelo el cual envuelve al bulbo de anclaje, debido a que se obtuvo un desplazamiento de carga relativamente constante (capacidad externa) quedando determinada de esta manera su capacidad.

Grafica de los ciclos de cargas aplicados con control de desplazamiento:



Figura N°28: Grafica de los ciclos incrementales de carga con el desplazamiento para un bulbo de anclaje igual a 6 metros

Además se puede mostrar las dos cargas $L_b = 4m$, $L_b = 5m$ y el anclaje $L_b = 6m$ donde se alcanzó la carga de prueba sin ningún problema, finalmente con ello se puede observar la curva de capacidad de carga en suelos arenosos con la longitud de bulbo "**L_b**".

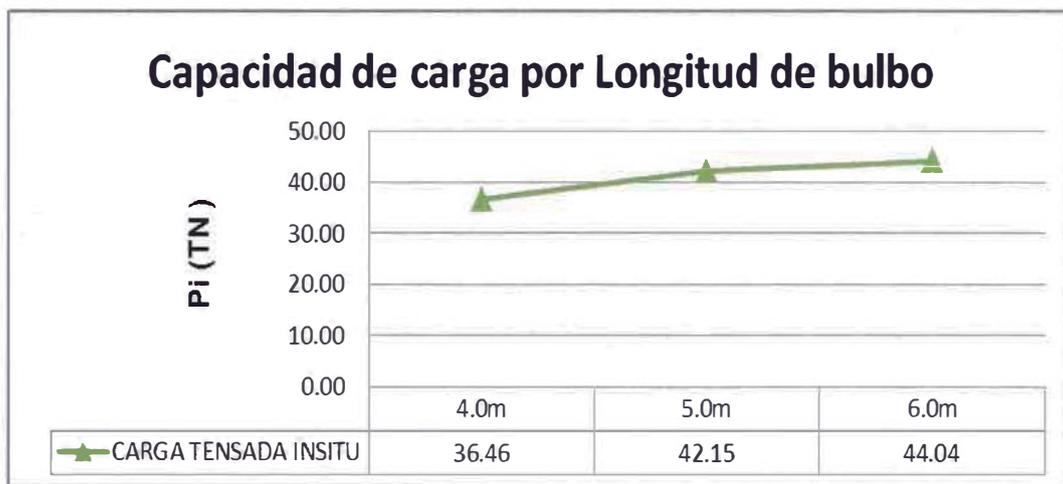


Figura N°29: Grafica de la capacidad de carga con la longitud de bulbo ensayado

4.2. COMPARACIÓN DE LAS CAPACIDADES IN-SITU Y TEORICAS

4.2.1. Capacidad de Carga Ultima Teórica

Según los métodos analizados en el capítulo III se pueden relacionar la longitud del bulbo de anclaje respecto a las capacidades de carga límite o última obtenidas:

CUADRO N° 23: CAPACIDAD DE CARGA ÚLTIMA CALCULADA

LONGITUD DEL BULBO	MET. BUST. Y DOIX	METODO NBR-5629	MET. COSTA NUNES
4.0m	51Tn	27Tn	48Tn
5.0m	51Tn	32Tn	59Tn
6.0m	61Tn	35Tn	69Tn

Fuente: Elaboración propia

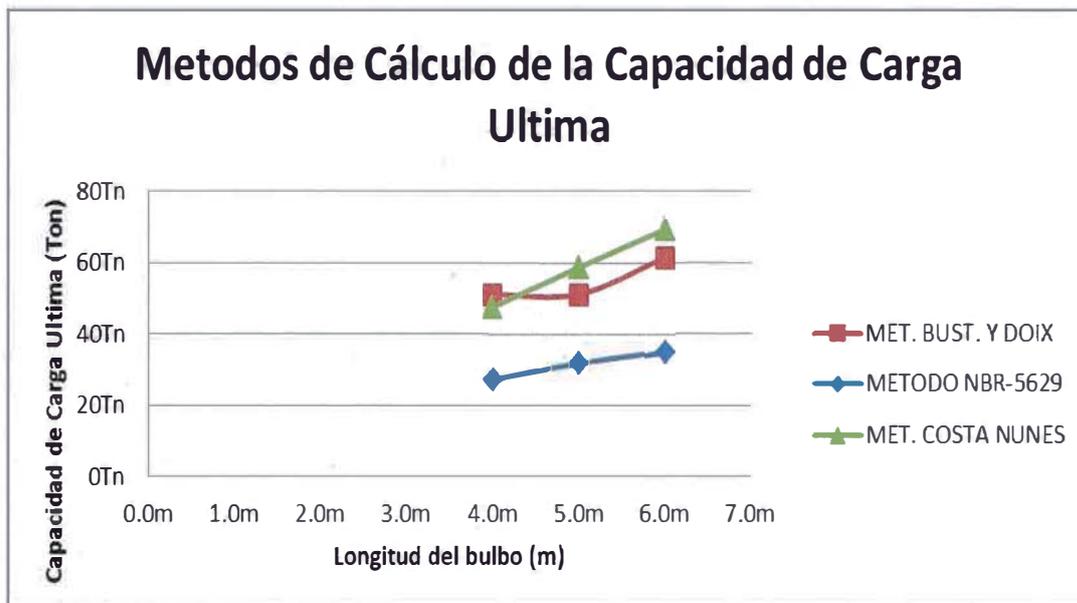


Figura N°30: Grafica de la Capacidad de carga teórica con la longitud de bulbo “lb” de ensayado

En los resultados teóricos se puede apreciar que el método de la norma brasilera es muy conservador con respecto a los otros dos métodos, en cambio los dos métodos restantes calculan una capacidad de carga similar debido a que estos últimos se basaron en resultados de Ensayos de Carga reales, además de que se considera la presión de inyección la cual incrementa su valor.

4.2.2. COMPARACIÓN DE LAS CAPACIDADES IN-SITU Y TEORICAS

En el siguiente gráfico se muestra las cargas obtenidas por el ensayo y los datos teóricos calculados.

CUADRO N° 24: CAPACIDAD DE CARGA ÚLTIMA CALCULADA Y ENSAYADA

LONGITUD DEL BULBO	MET. BUST. Y DOIX	METODO NBR-5629	MET. COSTA NUNES	CARGA TENSADA INSITU
4.0m	51Tn	27Tn	48Tn	36.46
5.0m	51Tn	32Tn	59Tn	42.15
6.0m	61Tn	35Tn	69Tn	44.04

Fuente: Elaboración propia

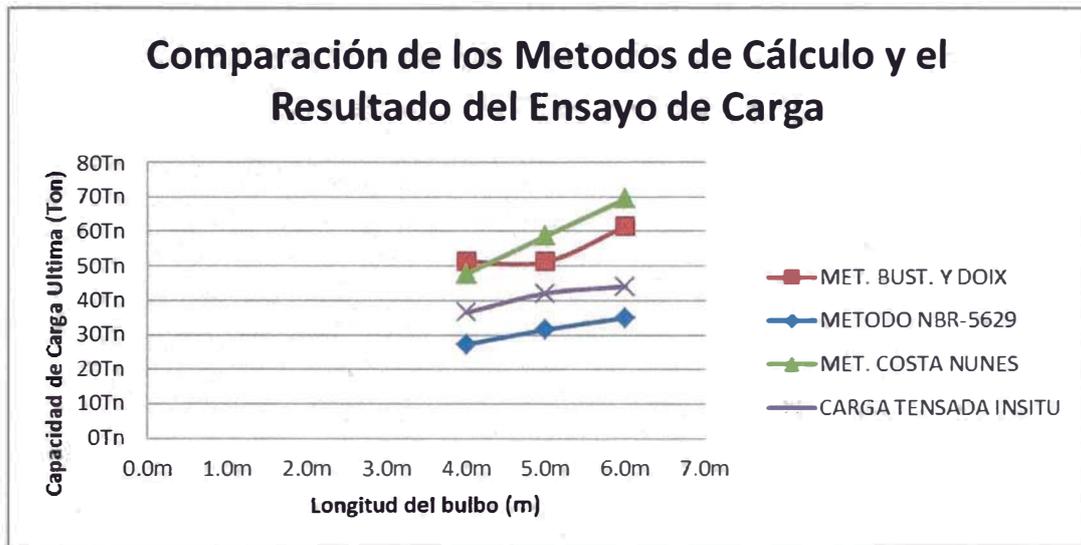


Figura N°31: Grafica de la capacidad de carga ensayada y teórica en las diferentes longitudes de bulbo de anclaje

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- El procedimiento de ejecución de anclajes no cumple con los requerimientos mínimos de la norma UNE EN 1537 sobre ensayos de investigación, por lo que el resultado obtenido en los ensayos no se considera real ni válido para un cálculo.
- Realizar perforaciones con perforadoras rotativas nos mostró resultados más reales que los que se pueden obtener con perforadoras rotopercusivas, debido a que se puede controlar la linealidad de la perforación y también el diámetro del mismo.
- En el cálculo de la capacidad de carga última utilizando el Método de Bustamante y Doix se obtienen los valores más altos, mientras que utilizando el Método de la Norma Brasileña – 5629 se obtienen valores más bajos.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se deberá tener en cuenta para una debida ejecución de tensado de anclajes los siguientes criterios según lo que recomienda la norma UNE EN 1537:
 - La carga máxima aplicada para los ensayos fue de 44,040.00kg, sin embargo lo que recomienda la norma UNE EN 1537 analizada en el capítulo III sobre ensayos de investigación, que para anclajes la carga de prueba estará entre 40,880.00kg y 43,046.10kg
 - El Aumento de carga fue realizado en un solo ciclo, sin embargo lo que recomienda la norma UNE EN 1537 analizada en el capítulo III sobre ensayos de investigación, que como mínimo se realizara en 6 ciclos.
 - Los apoyos fijos presentaron problemas de asentamiento debido a que el suelo de apoyo es un suelo arenoso, el cual no se encuentra debidamente firme y compactado, por lo cual al elevar la carga presente asentamientos y errores en la medida del tensado del anclaje.

- Los ensayos de investigación se realizaron considerando un tiempo mínimo de 15 minutos por cada aumento de carga, sin embargo lo que recomienda la norma UNE EN 1537 analizada en el capítulo III sobre ensayos de investigación, que para cada carga aplicada se considera un tiempo de espera mínimo de 30 minutos de no encontrar deformaciones considerables y 60 de considerarlo una deformación considerable.
- En la inyección de anclajes se deben utilizar caudalímetros para poder controlar mejor la dosificación de lechada y del agua, además se recomienda sacar probetas y ensayarlas para poder confirmar la resistencia del bulbo a tensar.
- Durante la inyección se deberá colocar o-ring adecuados en la tuberías de inyección para una buena obturación en la inyección de lechada del bulbo.
- Para poder obtener cargas más altas se deben realizar inyecciones del tipo repetitiva selectiva, ya que ayuda a formar raíces en toda la longitud del bulbo.
- Los ensayos de investigación deberá realizarse con deformímetros, pues son los más adecuados para obtener gran precisión y control de la deformación del cable de anclaje, debido a que esta solicitaba una precisión de 0.01mm según la norma UNE EN 1537, obtenida luego de aplicar cargas en los anclajes.
- El uso de instrumentación (deformímetros) es recomendable para poder comparar el desplazamiento de la posición original de la cabeza del anclaje hasta la posición final en el ensayo y así utilizar esta medida como factor de corrección en los desplazamientos obtenidos.
- Para ejecutar proyectos de anclaje en estos suelos se recomienda usar equipos rotopercusivos, debido a que se puede alcanzar rendimiento muy satisfactorio, tanto en avance como en resistencia, esto se debe a que el bulbo obtenido en la perforación incrementa por la rotopercusión y el aire aplicado.
- Para el ensayo se utilizó un gata hidráulica, la cual es muy usada en estos ensayos, pero hay algunos inconvenientes ya que no se puede manejar una carga exacta a diferencia de las gatas eléctricas, las cuales serían más beneficiosas para estos ensayos de investigación.

- En el tensado al momento de colocar la gata, se debe controlar que los cables estén debidamente perpendiculares a la gata y simétricos, ya que estos serán estirados de forma conjunta y se debe tener una deformación idéntica en todos los cables del anclaje.
- Se deben calcular los alargamientos elásticos del acero de pre-esfuerzo y verificar si la longitud libre esta elongándose o si la deformación medida afecta al bulbo, según la norma norma UNE EN 1537, la longitud libre equivalente debe cumplir con los siguientes parámetros.

$$0.8 \times LI \leq Le \leq 1.1 \times LI$$

Siendo:

LI = Longitud libre.

Le = Longitud libre equivalente.

BIBLIOGRAFIA

- CERNA DIAZ, A. —Análisis y diseño de muros anclados para estabilización de excavaciones profundasll. ". Tesis para optar el Título profesional. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, 2011.
- UCAR NAVARRO, Roberto. —Manuel de Anclajes en Ingeniería Civill, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2004.
- WARNER, J. —Practical Handbook of Groutingll, Jhon Wiley & Sons Inc, New Jersey, 2004.