

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**VERIFICACIÓN DE ANCLAJES POSTENSADOS MEDIANTE LA**  
**APLICACIÓN DEL ENSAYO DE CAPACIDAD EN EL EDIFICIO HOTEL IBIS**  
**SAN ISIDRO-LIMA-PERÚ-2019**

**TESIS**

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

**PRESENTADO POR:**

**Bach. ENCISO SALDAÑA, ROMELL MARTÍN**

**Bach. NUÑEZ ALVARO, ROBIN WILLIAMS**

**ASESOR: Mg. Ing. TORRES CHUNG, CÉSAR ROBERTO**

**LIMA – PERÚ**

**2019**

## **DEDICATORIA**

A mis padres Teresa y Aquiles, por la motivación y apoyo incondicional en todo momento, a mis hermanos y a mi novia, por sus consejos y toda su comprensión.

Romell Martín Enciso Saldaña

A mis amados padres Amelia y Héctor, por ser siempre una guía en cada paso de mi vida y por ser mis grandes aliados en todos los retos que emprendo, a mi hermano Héctor por brindarme siempre la alegría de verlo formarse como un gran ser humano.

Núñez Alvaro Robin Williams

## **AGRADECIMIENTOS**

A los profesores quienes nos instruyeron y cultivaron la vocación de aprendizaje a lo largo de los cinco años de pregrado.

A nuestro asesor, el Ing. Torres Chung César Roberto quien nos hizo apreciar la rama de la Geotecnia; por su apoyo constante y orientación.

Al Ing. Gregorio Villacorta por su apoyo en el desarrollo de la investigación y por compartir su experiencia para la elaboración de nuestra tesis.

A todos los involucrados en esta investigación que absolvieron de manera desinteresada nuestras dudas con paciencia.

Romell Enciso y Robin Nuñez

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	xii
ABSTRACT .....	xiii
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1 Descripción de la realidad problemática .....	3
1.2 Formulación del problema.....	4
1.2.1 Problema principal.....	4
1.2.2 Problemas secundarios .....	4
1.3 Objetivos de la Investigación.....	4
1.3.1 Objetivo principal .....	4
1.3.2 Objetivos secundarios.....	4
1.4 Justificación e importancia de la investigación.....	4
1.4.1 Conveniencia.....	4
1.4.2 Relevancia Social.....	5
1.4.3 Implicancia práctica.....	5
1.5 Limitaciones de la investigación.....	5
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	6
2.1 Antecedentes de la Investigación.....	6
2.1.1 En el ámbito Internacional .....	6
2.1.2 En el ámbito Nacional .....	7
2.2 Bases teóricas .....	8
2.2.1 Características del suelo de Lima – Perú.....	8
2.2.2 Condiciones geológicas .....	8
2.2.3 Condiciones de mecánica de los suelos.....	8
2.2.4 Ensayos de investigación aplicados en suelos de Lima.....	9
2.2.5 Método de diseño Geotécnico para muro anclado.....	10
2.2.5.1 Método de cuña profunda – Kranz.....	10
2.2.5.2 Coeficiente de empuje activo .....	13
2.2.5.3 Coeficiente de empuje pasivo .....	14
2.2.5.4 Modos de falla para muros anclados.....	14
2.2.6 Procesamiento usando GGU-Retain .....	16
2.2.7 Proceso constructivo de muros anclados.....	17
2.2.7.1 Excavación masiva y perfilado del talud.....	17

2.2.7.2	Perforación de orificios para los anclajes.....	18
2.2.7.3	Instalación de anclajes e inyección.....	18
2.2.7.4	Perfilado de los paños de forma intercalada.....	19
2.2.7.5	Colocación del enmallado de acero.....	19
2.2.7.6	Encofrado de los muros.....	20
2.2.7.7	Vaciado de concreto.....	20
2.2.7.8	Desencofrado de los muros.....	20
2.2.7.9	Ensayo de los anclajes.....	21
2.2.7.10	Destensado de los anclajes.....	22
2.3	Definiciones Conceptuales.....	22
2.4	Estructura teórica y científica que sustenta la investigación.....	23
2.4.1	Anclajes postensados.....	23
2.4.1.1	Tipos de anclajes postensados.....	24
2.4.1.2	Componentes de los anclajes postensados.....	26
2.4.2	Consideraciones básicas del diseño de anclajes postensados.....	27
2.4.2.1	Análisis del talud a estabilizar.....	27
2.4.2.2	Diseño de tendones de anclajes.....	28
2.4.2.3	Diseño del bulbo o tramo anclado.....	29
2.4.3	Criterios para la resistencia de la parte anclada.....	30
2.4.3.1	Expresión teórica de resistencia para la longitud anclada.....	31
2.4.3.2	Método de Bustamante - 1985.....	31
2.4.4	Criterios para el dimensionamiento del sistema de anclajes.....	32
2.4.4.1	Aspectos geométricos del anclaje.....	32
2.4.5	Ensayo para anclajes según Norma Española UNE-EN 1537.....	34
2.4.5.1	Precisión de las medidas.....	35
2.4.5.2	Carga de referencia.....	35
2.4.5.3	Métodos de ensayo.....	36
2.4.5.4	Ensayo de investigación.....	37
2.4.5.5	Ensayo de adecuación.....	38
2.4.5.6	Ensayo de aceptación.....	38
2.4.5.7	Carga máxima de bloqueo.....	39
2.4.5.8	Evaluación de la longitud libre equivalente.....	39
2.4.6	Ensayos para anclajes según Norma Brasileira ABNT NBR-5629.....	41
2.4.6.1	Métodos de prueba de calificación y recepción.....	41

2.4.6.2	Cargas.....	42
2.4.6.3	Medición de cargas.....	42
2.4.6.4	Tolerancias de la etapa de carga.....	42
2.4.6.5	Carga inicial ( $F_o$ ).....	42
2.4.6.6	Mediciones de los desplazamientos de la cabeza del vástago.....	42
2.4.6.7	Realización de la prueba de recepción (rendimiento).....	42
2.4.6.8	Realización de una prueba de calificación (comportamiento).....	43
2.4.6.9	Presentación de resultados.....	45
2.4.6.10	Pruebas de calificación (comportamiento).....	46
2.4.6.11	Prueba de recepción (rendimiento).....	48
2.4.7	Ensayos para anclajes según Norma Americana - FHWA.....	49
2.4.7.1	Pruebas de rendimiento.....	49
2.4.7.2	Procedimientos para la prueba de rendimiento.....	50
2.4.7.3	Registro de datos de prueba de rendimiento.....	52
2.4.7.4	Análisis de datos de prueba de rendimiento.....	54
2.4.7.5	Criterios de aceptación.....	54
2.4.7.6	Arrastramiento.....	55
2.4.7.7	Longitud libre aparente.....	55
2.4.7.8	Esquema de decisión de aceptación del anclaje de suelo.....	57
2.4.7.9	Carga de bloqueo de anclaje.....	59
2.4.8	Ensayos para anclajes según NTP-E050 de suelos y cimentaciones.....	61
2.4.8.1	Ensayos de Capacidad o Calificación.....	62
2.4.8.2	Ensayos de Calidad o Recibimiento.....	63
2.4.8.3	Ensayos de arrancamiento.....	64
2.5	Formulación de Hipótesis.....	67
2.5.1	Hipótesis general.....	67
2.5.2	Hipótesis específicas.....	67
2.5.3	Variables.....	67
2.5.3.1	Definición Conceptual de las Variables.....	67
2.5.3.2	Operacionalización de las Variables.....	67
<b>CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLÓGICO.....</b>		<b>69</b>
3.1	Tipo y nivel.....	69
3.2	Diseño de investigación.....	69
3.3	Población y muestra.....	70

3.4	Técnicas de recolección de datos.....	70
3.4.1	Tipos de técnicas e instrumentos. ....	70
3.4.2	Criterio de Validez y confiabilidad de los instrumentos. ....	70
3.4.3	Técnicas para el procesamiento y análisis de datos.....	70
CAPITULO IV: DESARROLLO DE INVESTIGACIÓN .....		71
4.1	Descripción del proyecto.....	71
4.1.1	Características del proyecto “Edificio Hotel Ibis” .....	71
4.1.2	Localización y descripción de los ensayos.....	71
4.1.3	Descripción del estudio de mecánica de suelos .....	72
4.1.4	Parámetros para diseño de las obras de sostenimiento.....	73
4.1.5	Taludes de corte y estructuras de sostenimiento temporal.....	73
4.2	Diseño de anclaje postensado.....	74
4.2.1	Parámetros de diseño – Obra Hotel Ibis.....	74
4.2.2	Modelamiento geotécnico usando el software GGU-Retain.....	75
4.2.2.1	GGU-Retain versión 8 .....	75
4.2.2.2	Procesamiento usando GGU-Retain.....	76
4.2.3	Diseño de anclaje.....	78
4.2.3.1	Para el Anclaje 1.10.....	79
4.2.3.2	Anclaje 2.20 .....	79
4.3	Aplicación del ensayo de capacidad en obra Hotel Ibis .....	80
4.3.1	Personal técnico de tensado.....	80
4.3.2	Equipos de Protección Personal Básico (EPP):.....	81
4.3.2	Equipos y herramientas .....	81
4.3.3	Ensayo de Capacidad Anclaje 1.10.....	82
4.3.4	Ensayo de Capacidad Anclaje 2.20.....	83
CAPÍTULO V: PROPUESTA O APLICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....		86
5.1	Verificación de los anclajes postensados mediante el ensayo de capacidad.....	86
5.1.1	Requerimientos previos. ....	86
5.1.2	Procedimiento para el ensayo de capacidad.....	87
5.1.2.1	Inspección y habilitación de anclaje.....	87
5.1.2.2	Instalación de platina y cabezal.....	88
5.1.2.3	Instalación de los platos, el gato hidráulico y cuñas de arrastre.....	89
5.1.2.4	Ejecución del ensayo de capacidad.....	90
5.1.2.5	Desmontaje de gata hidráulica y colocación de cuñas de fijación.....	94

5.1.2.6	Tensado del anclaje (Lock-off).....	94
5.1.2.7	Desmontaje de gato de tensado.....	96
5.2	Análisis de seguridad en el ensayo de Capacidad.....	96
5.2.1	Medidas de control ambiental de seguridad y salud.....	96
5.2.2	Identificación de peligros y evaluación de riesgos.....	97
CAPÍTULO VI: PRESENTACION DE RESULTADOS.....		99
6.1	Resultados de la Investigación.....	99
6.2	Análisis e interpretación de los resultados.....	105
6.2.1	Curva Carga-Deformación del anclaje:.....	105
6.2.2	Curva Elástico - Residual del anclaje:.....	105
6.2.3	Comparación entre la deformación teórica (máxima – mínima) – real:.....	106
6.2.4	Comparación entre la deformación teórica y real de anclaje postensado:.....	106
6.3	Contrastación de Hipótesis.....	107
CONCLUSIONES.....		108
RECOMENDACIONES.....		110
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		111
ANEXOS.....		113
Anexo 1. Matriz de Consistencia (Continuación).....		113
Anexo 2. Matriz de Operacionalización de variables.....		115
Anexo 3. Esquema de ubicación del proyecto “Hotel Ibis-San Isidro”.....		116
Anexo 4. Planos.....		117
Anexo 5. Resultado de Ensayo de mecánica de suelos.....		119
Anexos 6. Panel Fotográfico.....		122
Anexo 7. Protocolos del Ensayo de Capacidad.....		123
Anexo 8. Equipos para el Ensayo de Capacidad.....		127
Anexo 9. Certificados de los Equipos para el Ensayo de Capacidad.....		129

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales tipos de fallas locales en los muros anclados. (Continuación).....	14
Tabla 2. Principales tipos de fallas locales en los muros anclados. ....	15
Tabla 3. Tipos de Fallas Generales en los Muros Anclados. (Continuación).....	15
Tabla 4. Principales Tipos de Fallas Generales en los Muros Anclados.....	16
Tabla 5. Pasos para la prueba de rendimiento (Continuación) .....	50
Tabla 6. Cargas a ser aplicadas en ensayos de capacidad o calificación.....	62
Tabla 7. Cargas a ser aplicadas en ensayos de calidad o recibimiento .....	63
Tabla 8. Operacionalización de las variables.....	68
Tabla 9. Días para realizar el tensado, de acuerdo al tipo de Suelo.....	86
Tabla 10. Características del Anclaje 1.10 .....	88
Tabla 11. Características del Anclaje 2.20 .....	88
Tabla 12. Datos para la curva de Carga-Deformación, Anclaje 1.10 (Continuación) ...	91
Tabla 13. Datos para la curva de Carga-Deformación, Anclaje 2.20 (Continuación) ...	92
Tabla 14. Datos para la curva de Carga – Elástico - Residual.....	94
Tabla 15. Cargas de bloqueo - Lock-off para Anclaje 1.10.....	95
Tabla 16. Cargas de bloqueo - Lock-off para Anclaje 2.20.....	95
Tabla 17. Peligros y evaluación de riegos en el ensayo de capacidad (Continuación) ...	97
Tabla 18. Resultados de los desplazamientos del anclaje 1.10 (Continuación).....	99
Tabla 19. Datos para la curva Elástico – Residual, Anclaje 1.10 .....	101
Tabla 20. Resultados de los desplazamientos del Anclaje 2.20 (Continuación) .....	102
Tabla 21. Datos para la curva Elástico – Residual, Anclaje 2.20 .....	104
Tabla 22. Deformaciones al 100 % de la carga de servicio para anclaje 1.10.....	106
Tabla 23. Deformaciones al 100% de la carga de servicio para anclaje 2.20.....	106
Tabla 24. Diferencia entre las deformaciones teórica y real para el anclaje 1.10.....	107
Tabla 25. Diferencia entre las deformaciones teórica y real para el anclaje 2.20.....	107

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Sistema de Carga Vertical y Medición de Deformaciones.....	9
Figura 2. Ensayo de Corte Directo In Situ.....	10
Figura 3. Sistema de falla de muro anclado-terreno.....	11
Figura 4. Diagrama de Kranz para una línea de anclaje y un estrato de suelo .....	11
Figura 5. (a) Condición de falla, (b) triángulo de fuerzas para establecer $E_a$ .....	13
Figura 6. (a) Condición de falla asumida, (b) Triángulo de fuerzas para hallar $E_p$ .....	14
Figura 7. Eliminación de tierra en obra Océano Atlántico – EF-CONSTRUCTORES ....	18
Figura 8. Perforación de muros anclados .....	18
Figura 9. Construcción de muros anclados – obra Marsano.....	20
Figura 10. Tensado de anclaje en obra Altovento.....	21
Figura 11. Concepto de anclaje.....	24
Figura 12. Anclajes postensados en la contención de taludes de excavación. ....	24
Figura 13. Clases de anclajes en función al tipo de inyección de lechada .....	25
Figura 14. Componentes típicos de un anclaje de cables. ....	26
Figura 15. Modelos numéricos para cálculo de la estabilidad global del talud .....	28
Figura 16. Aspectos para el dimensionamiento de muros anclados.....	33
Figura 17. Espaciamiento entre anclajes .....	34
Figura 18. Procedimiento de puesta en carga con aumento de la carga de referencia. ...	36
Figura 19. Evaluación de la rigidez elástica cuando hay un rozamiento significativo. ..	41
Figura 20. Curvas del ensayo de calificación .....	48
Figura 21. Trazado de datos de pruebas de rendimiento (después de PTI, 1996). ....	52
Figura 22. Trazado de movimiento elástico y residual, prueba de rendimiento.....	53
Figura 23. Árbol de decisión de aceptación del anclaje de suelo. ....	59
Figura 24. Curva de Ensayo de Calificación para anclajes temporales.....	65
Figura 25. Curva de Ensayo de Recibimiento para anclajes temporales.....	66
Figura 26. Modelamiento con GGU Retain - Zona 01 - Anclaje 1.10.....	77
Figura 27. Modelamiento con GGU Retain - Zona 01 - Anclaje 2.20.....	78
Figura 28. Esquema del diseño de anclaje 1.10.....	79
Figura 29. Esquema del diseño de anclaje 2.20.....	80
Figura 30. Personal calificado para el tensado del anclaje. ....	81
Figura 31. Instalación de equipos para ensayo de capacidad .....	82

Figura 32. Medición de la deformación con Vernier .....	83
Figura 33. Toma de datos y elaboración del protocolo de campo .....	83
Figura 34. Instalación de equipos para ensayo de capacidad .....	84
Figura 35. Medición de la deformación con Vernier .....	84
Figura 36. Toma de datos y elaboración del protocolo de campo .....	85
Figura 37. Muro apuntalado para el ensayo de capacidad.....	87
Figura 38. Altura apropiada para el ensayo de capacidad .....	87
Figura 39. Instalación de la platina y cabezal .....	89
Figura 40. Instalación de los platos, el gato hidráulico y cuñas de arrastre .....	90
Figura 41. Curva de Calibración de conversión de KN a Bar. ....	90
Figura 42. Colocación de elementos para el tensado (Lock-off) .....	95
Figura 43. Anclaje con tensado hasta carga de bloqueo.....	96
Figura 44. Charlas diarias de seguridad para el personal de tensado. ....	97
Figura 45. Curva Carga-Deformación del anclaje 1.10.....	100
Figura 46. Curva Elástico - Residual del anclaje 1.10 .....	101
Figura 47. Curva Carga-Deformación del anclaje 2.20.....	103
Figura 48. Curva Elástico - Residual del anclaje 2.20 .....	104

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación consistió en verificar el funcionamiento de los anclajes postensados mediante la aplicación del ensayo de capacidad a partir de ensayos realizados en el proyecto Edificio Hotel Ibis, ubicado en el distrito de San Isidro, y a toda la recopilación bibliográfica de las normas; E050 de suelos y cimentaciones, UNE 1537 – Norma Española, ABNT NBR 5629 – Norma Brasileira y FHWA *Geotechnical Engineering Circular No. 4*.

El uso de anclajes postensados para cimentaciones profundas es lo más requerido para edificaciones en Lima, por ello se considera necesario realizar un estudio del comportamiento de este tipo de estructura de retención, con el objetivo de conocer si los desplazamientos de la cabeza del anclaje según el ensayo de capacidad están dentro de los rangos permitidos por la norma, más aún en nuestro entorno, en donde durante muchos años el uso de anclaje no fueron normados en nuestro país.

La presente investigación desarrolló un procedimiento para el ensayo de capacidad siguiendo los lineamientos de la Norma E050 de suelos y cimentaciones, que permitió verificar las deformaciones de los anclajes.

Las deformaciones obtenidas en el ensayo fueron comparadas con las deformaciones teóricas de la Norma Peruana, este resultado apoyó el criterio de aceptación del anclaje.

La aplicación del ensayo de capacidad en el proyecto Hotel Ibis, permitió verificar que el diseño de anclaje fue el correcto ya que cumplió con el criterio de aceptación según los lineamientos establecidos en la Norma E050.

La metodología adoptada seguirá un método cuantitativo, asimismo será de nivel descriptiva y explicativa, siguiendo un diseño cuasi experimental.

Palabras claves: Anclaje postensado, ensayo de capacidad, curva carga-deformación, curva elástico-residual

## **ABSTRACT**

This research work consists in verifying the functioning of post-tensioned anchors by applying the capacity test based on tests carried out in the Hotel Ibis Building project, and throughout the collection. bibliographic standards; E050 of soils and foundations, UNE 1537-Spanish Standard, ABNT NBR 5629 - Brazilian Standard and FHWA Geotechnical Engineering Circular No. 4.

The use of post-tensioned anchors for deep foundations is the most required for buildings in Lima, so it is considered necessary to conduct a study of the behavior of this type of retention structure, in order to know if the displacements of the anchor head according to the Capacity tests are within the ranges allowed by the standard, even more so in our environment, where for many years the use of anchors were not regulated in our country.

The present investigation developed a procedure for the capacity test following the guidelines of the E050 Standard of soils and foundations, which allowed verifying the deformations of the anchors.

The deformations obtained in the trial were compared with the theoretical deformations of the Peruvian Standard, this result supported the criterion of acceptance of the anchor.

The application of the capacity test in the Hotel Ibis project, made it possible to verify that the anchor design was correct since it met the acceptance criteria according to the guidelines established in Standard E050.

The methodology adopted will follow a quantitative method, it will also be descriptive and explanatory, following a quasi-experimental design.

**Keywords:** Post-tensioned anchor, capacity test, load-strain curve, elastic-residual curve

## INTRODUCCIÓN

Las excavaciones profundas en nuestra ciudad son cada vez más requeridas por ello los muros anclados conocido como muro pantalla son el sistema más utilizado en las construcciones de edificaciones y otros tipos de estructuras.

En las excavaciones las masas de tierra generan presiones laterales, por ello los muros anclados son las estructuras que impiden los desplazamientos laterales por encima de los máximos permitidos, donde los desplazamientos dependen de la tipología, características y empujes del suelo, conjuntamente con el diseño y el proceso constructivo que se realice. Si este desplazamiento es excesivo, puede producir inestabilidad a la construcción, originando diversos tipos de fallas y pudiendo ocasionar derrumbes, más aún cuando se tienen edificaciones con gran número de sótanos. Por eso se propone la implementación de un procedimiento del ensayo de capacidad que verifique el correcto funcionamiento de los anclajes.

La realización de estos ensayos de capacidad es poco aplicada en nuestro país entre otros factores por la falta de implementación del procedimiento en la norma E050 de suelos y cimentaciones. Por el contrario, en otros países es una práctica común y está debidamente reglamentada.

Este tipo de ensayos son muy beneficioso pues conllevaría a realizar diseños más óptimos, que reduzcan recursos y tiempos de ejecución en el proceso constructivo, además de poder identificar las fallas que presentan los anclajes y tomar medidas correctivas en el momento oportuno.

Esta investigación realizó ensayos experimentales, que consistió en la aplicación de cargas y descargas cíclicas de tensionamiento usando un equipo hidráulico, obteniendo deformaciones en cada ciclo de carga y descarga de la longitud libre de anclaje que permitió comparar en un gráfico con las deformaciones teóricas que se encuentran detallada en la norma E050 de suelos y cimentaciones.

Para poder lograr todo esto, esta investigación se ha estructurado en seis capítulos, El capítulo I nos habla acerca del planteamiento del problema, donde se describe la realidad problemática, se explican los objetivos y alcances de la investigación, luego en el capítulo II se plasma toda la revisión bibliográfica que sirvió de apoyo para poder elaborar el marco teórico, además el capítulo III trata del tipo y diseño metodológico adoptado para

esta investigación, por otro lado el capítulo IV consiste en la aplicación y desarrollo de la investigación, donde se describe y explica todo lo concerniente al proceso del estudio, mientras que el capítulo V nos muestra la presentación, análisis y discusiones de los resultados, y finalmente presentan las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

## **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1 Descripción de la realidad problemática**

En Lima, en las últimas décadas el sector de la construcción viene experimentando un crecimiento en la construcción de nuevas edificaciones para diferentes usos como; oficinas, departamentos, centros comerciales, entre otros. Adicionalmente a ello, el aumento del parque automotor; hacen necesario para las edificaciones la construcción de mayor número de sótanos, por ende, realizar excavaciones cada vez más profundas.

Es así como se aprecia en zonas urbanas, edificaciones con gran número de sótanos, debido a la demanda de grandes áreas para estacionamientos y a la optimización de espacios de dichas áreas.

El tipo de estructuras de contención más utilizadas para la construcción de sótano son los muros anclados, que además de servir como elementos de contención, logran convertirse en elementos estructurales definitivos para las edificaciones.

En este tipo de estructuras, el procedimiento de aplicación e interpretación de ensayos de verificación de los anclajes, está debidamente estudiada y normada internacionalmente, no siendo el caso en nuestro país, que no cuenta con una reglamentación, sobre los procedimientos de aplicación e interpretación, para los ensayos de verificación de los anclajes postensados, por lo que su desarrollo se ha basado principalmente en la experiencia de las empresas geotécnico – constructoras.

Es ésta la razón principal, en donde estuvieron involucrados los tesisistas, que se proponen verificar el anclaje mediante la aplicación del ensayo de capacidad para el caso del proyecto, edificio Hotel Ibis-San Isidro-Lima-Perú-2019.

## 1.2 Formulación del problema

### 1.2.1 Problema principal

¿Cómo verificar los anclajes postensados, mediante la aplicación del ensayo de capacidad en el edificio Hotel Ibis-San Isidro-Lima-Perú?

### 1.2.2 Problemas secundarios

- a) ¿Cuáles son los parámetros principales del suelo que influyen en la aplicación del ensayo de capacidad?
- b) ¿Cuál es el procedimiento para la aplicación del ensayo de capacidad según la norma E050 de suelos y cimentaciones?
- c) ¿Cuáles son las interpretaciones a los resultados del ensayo de capacidad en los anclajes postensados en el edificio Hotel Ibis-San Isidro-Lima-Perú?

## 1.3 Objetivos de la Investigación

### 1.3.1 Objetivo principal

Verificar los anclajes postensados mediante la aplicación del ensayo de capacidad en el Edificio Hotel Ibis-San Isidro-Lima-Perú.

### 1.3.2 Objetivos secundarios

- a) Identificar los parámetros principales del suelo que influyen en la aplicación del ensayo de capacidad.
- b) Implementar un procedimiento para el ensayo de capacidad según la norma E050 de suelos y cimentaciones.
- c) Interpretar resultados de ensayos de capacidad en los anclajes postensados ejecutado en el edificio Hotel Ibis-San Isidro-Lima-Perú.

## 1.4 Justificación e importancia de la investigación

### 1.4.1 Conveniencia

La presente investigación es relevante, porque tiene como fundamento principal verificar los anclajes de los muros anclados, mediante el ensayo de capacidad, realizado en obra en las excavaciones profundas del edificio Hotel Ibis-San Isidro-Lima-Perú, Ello permitirá disminuir accidentes ocasionados en los muros anclados, por falla del anclaje postensado, de esta forma previniendo accidentes hacia los trabajadores y a las viviendas aledañas a la obra.

#### 1.4.2 Relevancia Social

La investigación representa un beneficio directo hacia el proyecto Hotel Ibis-San Isidro-Lima-Perú, donde la verificación de los anclajes postensados de los muros anclados, permitirá disminuir retrasos en el cronograma de ejecución de obra, a causa de posibles fallas de los muros anclados; dichos retrasos también implican un aumento del presupuesto, a su vez será de utilidad dicha investigación para la aplicación en proyectos de similares características. Donde las verificaciones de los anclajes postensados mitigarán las pérdidas socio-económicas, salvaguardando la integridad de los trabajadores y las personas que se encuentren a los alrededores a la obra.

#### 1.4.3 Implicancia práctica

La presente investigación ayudará a verificar mediante un procedimiento de ensayo de capacidad si el anclaje en el muro anclado, se encuentra entre los parámetros de funcionamiento adecuado, en caso que se presenten deformaciones considerables en los anclajes que impliquen un riesgo en la estabilidad de los muros anclados, se podrá tomar las medidas correctivas correspondientes en el momento oportuno y no esperar a la falla del muro anclado.

#### 1.5 Limitaciones de la investigación

El estudio de investigación está enfocado a los anclajes postensados provisionales, de los muros de sostenimiento empleados en la construcción de sótanos de gran profundidad, para el caso de esta tesis, está limitado para el proyecto edificio Hotel Ibis-San Isidro-Lima-Perú.

Las recomendaciones efectuadas y los parámetros de diseño utilizados, han sido proporcionados por la empresa Geofundaciones del Perú, para el proyecto Edificio Hotel Ibis San Isidro, ubicado en la intersección de las calles Armando Blondet y Micaela Bastidas, en la urbanización Santa Ana del distrito de San Isidro, provincia y departamento de Lima, y que se encuentra dentro del suelo del conglomerado de Lima. La presente investigación se realiza en el periodo comprendido entre los meses de mayo a noviembre del año 2019.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes de la Investigación

#### 2.1.1 En el ámbito Internacional

Bentler (2004) afirma:

El predecir el comportamiento de estructuras de retención se vuelve más complicado cuando se encuentra en un entorno urbano, debido a las construcciones aledañas que pueden perjudicar, ocasionado por las excavaciones, por ello es importante una correcta aplicación de los procedimientos de instalación y evaluación de los anclajes postensados que son de soporte en los muros de sostenimientos. Toda instalación de los anclajes en los muros debe realizarse cumpliendo los procedimientos requeridos y el control posterior con una serie de requisitos que recomienda la Asociación española de ingeniería estructural (ACHE). Dichos controles son los ensayos de verificación como el ensayo de idoneidad instalados al principio de la ejecución que permiten comprobar el cumplimiento de las especificaciones del anclaje postensado en el muro de sostenimiento del proyecto. (p.90)

Malo (2008) refiere:

Antes de ejecutar el proyecto se deberá verificar el método donde se va emplear, así mismo recomienda que en todo proyecto con anclajes al terreno deben especificarse las capacidades de carga de los anclajes a instalar. Aquellas capacidades se definirán en función del tipo de terreno existente y considerando ciertos métodos de perforación e inyección, así como ciertos tipos de anclajes al terreno. En función de las capacidades de carga especificadas para los anclajes, el proyecto comprenderá un proceso de puesta en carga y preverá la evolución segura de sus cargas remanentes durante las siguientes etapas constructivas y, en general, durante la vida útil de la estructura. (p.117)

Valdez (2011) refiere:

Es recomendable la realización de los ensayos de caracterización de las lechadas y las pruebas de carga hasta el arrancamiento del anclaje. Las

pruebas de carga permitirán verificar y en muchos casos optimizar las características de los anclajes. Creemos que en todos los proyectos debería ser obligatorio realizar los ensayos de caracterización de las lechadas, pero consideramos que la realización de pruebas de carga de investigación podría evitarse en la mayoría de los proyectos de tamaño mediano o pequeño donde podrían sustituirse por una serie de pruebas de carga de idoneidad que aportarían suficiente información y seguridad general al proyecto. (p.93)

### 2.1.2 En el ámbito Nacional

Saucedo (2012) afirma:

La tecnología del muro anclado se ha establecido en la ciudad de Lima como una de las preferidas para realizar los trabajos de estabilización de excavaciones profundas en zonas urbanas. Esto se debe principalmente a las características del suelo que presenta esta ciudad, especialmente en las zonas de mayor construcción en altura como Miraflores y San Isidro, donde el suelo presenta parámetros de resistencia muy altos y no existe presencia de nivel freático. Estas condiciones son ideales para la aplicación del Muro Anclado, ya que permite la excavación secuencial mediante el uso de paneles intercalados. El método constructivo del muro anclado utiliza a la vez los muros perimetrales de la estructura como elementos de contención para la excavación de los sótanos, lo cual permite llegar a fondos de cimentación profundos optimizando costos, espacio y tiempos de trabajo. (p.65)

Zenobio (2013) refiere:

Que la comprobación de la capacidad de carga de los anclajes instalados en un terreno resulta primordial ya que es complicado determinar si el terreno real es asimilable o no al previsto en el proyecto. Se debe tener en cuenta que el terreno es un medio cuyas características pueden diferir notoriamente en distancias muy reducidas y que pueden resultar importantemente alteradas a consecuencia de causas externas como las variaciones del nivel freático, los cambios de temperaturas. También debe enfatizarse que algunas de las características del terreno que más afectan a los anclajes, como por ejemplo la deformabilidad y la plasticidad, están estrechamente ligadas al tiempo y,

por lo tanto, para poderlas evaluar correctamente deben realizarse ensayos que tengan una cierta duración temporal. (p.96)

## 2.2 Bases teóricas

### 2.2.1 Características del suelo de Lima – Perú.

En la construcción, el comportamiento del suelo está relacionada directamente a su geología, específicamente a cuatro factores importantes; litología, hidrogeología, geomorfología y geotecnia. Estos factores están interrelacionados expresando diferentes comportamientos del suelo, ocasionando problemas diversos. Sin embargo, a la influencia del suelo sobre las construcciones donde han sido emplazadas las estructuras no se le da la importancia apropiada y al pasar el tiempo esta carencia aún está presente. Hay casos donde las características del suelo son irrelevantes o el mínimo interés del responsable de conocer el suelo donde se efectuará el proyecto. Esto contradice lo que indican la mayoría de los especialistas, que afirman que es primordial tener claro las características geotécnicas que permitan seleccionar un adecuado diseño y tipo de cimentación. (Sanhueza, 2008, p.67)

### 2.2.2 Condiciones geológicas

El suelo de la ciudad de Lima pertenece principalmente al depósito del cono de deyección de los ríos Rímac y Chillón, ambos de edad cuaternaria desde la más reciente a la más antigua (pleistocénica). Su origen es fluvio-aluvial, ligado a la historia de la evolución de los ríos antes mencionados, la cual se caracteriza por ser heterogéneo, errático y discontinuo, con capas de diferentes formas y dimensiones. El suelo que predomina del conglomerado es la grava, desde suelto a compacto, intercalado con capas de arena media a fina, limos y arcillas, a veces mezclada con otros suelos finos. Su límite inferior es el basamento rocoso de origen cretáceo. (Martínez, 2007, p.134)

### 2.2.3 Condiciones de mecánica de los suelos

Los suelos de la mayor parte del área central de Lima y de distritos aledaños (Miraflores, San Isidro y el Rímac), poseen materiales gruesos, que pueden clasificarse como conglomerado de canto rodado (gravas, arenas y limos íntimamente mezclados), que se encuentran en estado suelto a compacto,

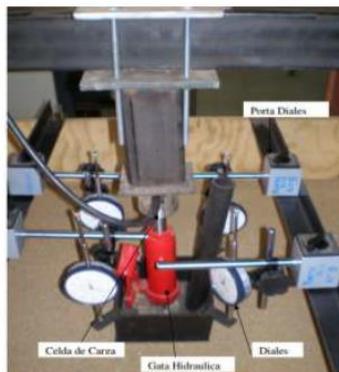
formados en su totalidad por rocas ígneas, predominando la granodiorita. En los bordes del cono del río Rímac, el suelo está conformado por material limoso o limo-arcillosos y arcillas, especialmente en los distritos de Barranco, Chorrillos y La Molina. (Carrillo, 1989, p38).

#### 2.2.4 Ensayos de investigación aplicados en suelos de Lima.

Los principales parámetros de suelo, para el diseño del muro anclado en el suelo de Lima, se obtienen de los ensayos descritos a continuación:

##### - Ensayos de carga directa:

Este ensayo consiste en aplicar una carga hacia un punto de la superficie situado en el centro de gravedad, con la ayuda de una gata hidráulica sobre una placa circular rígida, permitiendo estimar la capacidad portante del suelo, mediante el desplazamiento vertical. En la Figura 1, se observa los instrumentos del ensayo de carga directa.



*Figura 1.* Sistema de Carga Vertical y Medición de Deformaciones.

Fuente: Cerna, A. (2011, p.56)

##### - Ensayo de corte directo In Situ:

Permite la determinación de la resistencia al corte, cohesión y ángulo de fricción del suelo, la interpretación del ensayo es directa, se miden desplazamientos en dirección horizontal y vertical, obteniendo resultados sobre la deformabilidad del suelo ensayado, así como su resistencia al corte, en la Figura 2, se observa el ensayo de corte directo de la presa Montearagón.



Figura 2. Ensayo de Corte Directo In Situ

Fuente: Cerna, A. (2011, p.82)

- Ensayo de Análisis granulométrico:

El análisis granulométrico de una muestra de suelo consiste en determinar la proporción relativa de los diferentes tamaños de granos, definidos por las aberturas de las mallas utilizadas.

- Ensayo de Atterberg:

Permite obtener los límites del rango humedad dentro del cual el suelo se mantiene en estado plástico. Con ello es posible clasificar el suelo en la clasificación Unificada de suelos (USCS)

- Contenido de humedad:

Es la razón entre el peso del agua y peso del suelo seco de una muestra, y se expresa en porcentaje.

## 2.2.5 Método de diseño Geotécnico para muro anclado

### 2.2.5.1 Método de cuña profunda – Kranz

Este método simplifica la falla experimental que se observa en la Figura 3, los prismas de falla tanto en presión activa ( $dce$ ), como presión pasiva ( $bhg$ ) son reemplazados por fuerzas equivalentes  $E_a$  y  $E_p$  como se observa en la parte (c).

Con estas simplificaciones el sistema complejo de muro-suelo-anclaje de la masa  $M$  es representada por  $ecbf$ . El muro y los anclajes se reemplazan por sus reacciones en la masa,  $-E_a$  por el muro y  $F_A$  por la tensión en anclaje.

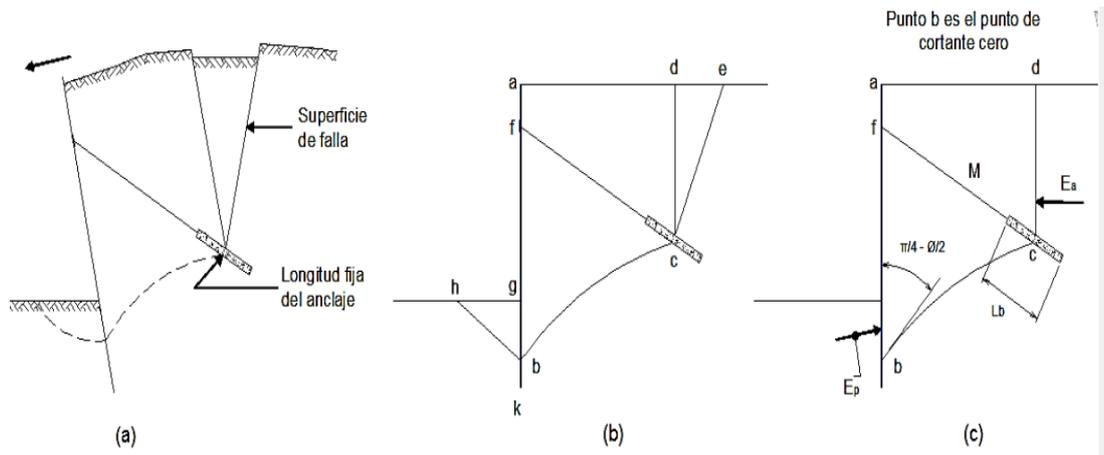


Figura 3. Sistema de falla de muro anclado-terreno

Fuente: Macedo, A. (2016, p.91)

En resumen, el método supone una falla de tipo planar, delimitado por el muro anclado, una línea que comprende desde la máxima profundidad de excavación hasta el centro de gravedad del bulbo del anclaje, una pantalla imaginaria vertical y la superficie del terreno, se aprecia en la Figura 4 el polígono de fuerzas resultantes del diagrama de fuerzas de la cuña de falla.

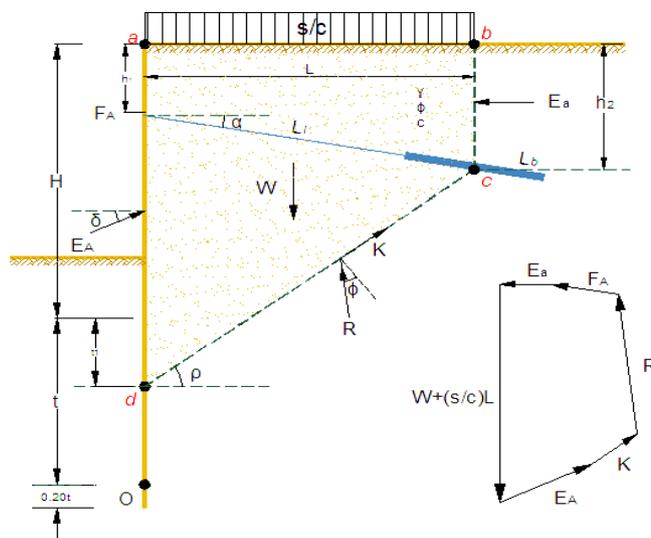


Figura 4. Diagrama de Kranz para una línea de anclaje y un estrato de suelo

Fuente: Macedo, A. (2016, p.93)

Donde:

- $t_1$ : Profundidad de empotramiento en el que el apoyo en el pie del muro se considera libre.

- t: Profundidad de empotramiento en el que el apoyo en el pie del muro se considera totalmente empotrado.
- $L_1$ : Longitud libre del anclaje.
- $L_b$ : Longitud del bulbo del anclaje.
- $h_1$ : Ubicación del anclaje, medido desde el nivel del terreno.
- W: Peso de la cuña.
- $E_A$ : Presión activa en la altura ad.
- $E_a$ : Presión activa en la altura bc.
- $F_A$ : Fuerza última del anclaje.
- K: Componente de cohesión.
- R: Resultante de las componentes de las fuerzas de fricción.
- $F_s$ : Factor de seguridad, según EAB no debe ser menor a 1.50.
- d: Punto que indica la profundidad de embebimiento usando el método de apoyo libre.
- O: Punto que indica la profundidad de embebimiento usando el método de apoyo restringido.
- $c_1$ : Punto que indica el centro de gravedad del bulbo del anclaje.

Se asume un valor de longitud libre y longitud de bulbo del anclaje para generar la cuña de falla. Del diagrama se obtiene las siguientes expresiones:

$$L = \left( L_1 + \left( \frac{1}{2} \right) L_b \right) \cos \alpha \dots\dots\dots(1)$$

$$h_2 = \left( L_1 + \left( \frac{1}{2} \right) L_b \right) \text{sen } \alpha + h_1 \dots\dots\dots(2)$$

$$K = \frac{(H+t_1-h_1)}{\text{sen} \rho} c' \dots\dots\dots(3)$$

$$\delta = \left( \frac{2}{3} \right) \emptyset \dots\dots\dots(4)$$

$$W = \frac{(H+t_1-h_2)}{2} L \gamma \dots\dots\dots(5)$$

Desarrollando se obtiene la fuerza en el anclaje:

$$F_A = \frac{[K \text{sen} \rho + E_A \text{sen} \delta - W] \text{tg}(\emptyset - \rho) + E_A \text{cos} \delta + K \text{cos} \rho - E_a}{\text{cos} \alpha + \text{sen} \alpha \text{tg}(\emptyset - \rho)} \dots\dots\dots(6)$$

Para las demás líneas de anclaje se calcula de la misma forma, sólo que la fuerza hallada para una fila inferior acumula las fuerzas de los anclajes superiores.

El método de análisis para una línea de anclaje consiste en determinar la magnitud de las fuerzas  $F_A$ , y la magnitud  $R$ , de tal forma que se cumpla el equilibrio de fuerzas del polígono.

$$F_A \geq F_S * F_A' \dots\dots\dots(7)$$

Donde  $F_A$  es la carga última de los anclajes,  $F_A'$  es la carga de trabajo de los anclajes, el  $F_S$  mínimo es de 1.50 cuando no hay sismo y de 1.25 cuando se considera los efectos del sismo, de acuerdo al R.N.E. E050 de Suelo y Cimentaciones.

### 2.2.5.2 Coeficiente de empuje activo

El coeficiente de empuje activo ayuda determinar la fuerza que provocará la falla de estabilidad de talud, la fuerza se calcula a partir de las fuerzas, véase Figura 5.

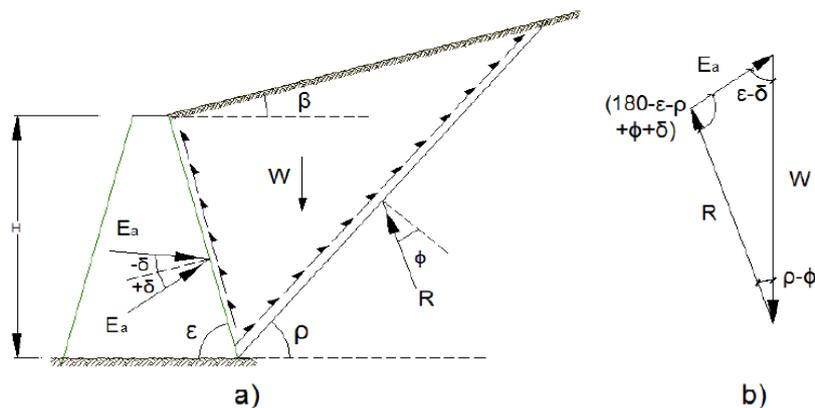


Figura 5. (a) Condición de falla, (b) triángulo de fuerzas para establecer  $E_a$

Fuente: Macedo, A. (2016, p.114)

$$E_a = \frac{\gamma H^2}{2} K_a \dots\dots\dots(8)$$

$$K_a = \frac{\text{sen}^2(\epsilon + \varphi)}{\text{sen}^2 \epsilon \text{sen}(\epsilon - \delta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\varphi + \delta) \text{sen}(\varphi - \beta)}{\text{sen}(\epsilon - \delta) \text{sen}(\epsilon + \beta)}} \right]^2} \dots\dots\dots(9)$$

### 2.2.5.3 Coeficiente de empuje pasivo

Ayuda a determinar la fuerza que aportará a la estabilidad del talud, se calcula a partir de la Figura 6.

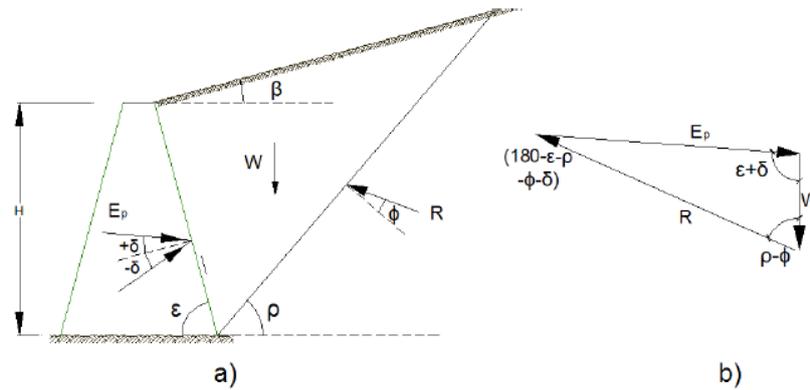


Figura 6. (a) Condición de falla asumida, (b) Triángulo de fuerzas para hallar  $E_p$

Fuente: Macedo, A. (2016, p.115)

$$E_p = \frac{\gamma H^2}{2} K_p \dots\dots\dots (10)$$

### 2.2.5.4 Modos de falla para muros anclados

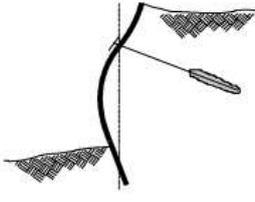
Estas fallas comúnmente son causadas por exceso de carga sobre un anclaje, que pueden estar relacionadas con la carga de tensionamiento, la secuencia de excavaciones, las fuerzas del agua y fuerzas sísmicas, entre otras. Así mismo, en la Tabla 1 y Tabla 2, se puede apreciar que los mecanismos de falla pueden involucrar los tendones, la masa de suelo, el bulbo o las estructuras superficiales.

Tabla 1. Principales tipos de fallas locales en los muros anclados. (Continuación)

Tipo de Rotura	Figura
<p>Falla a tensión del tendón: Al colocarle la carga de tensionamiento el acero del tendón recibe esfuerzos de tensión. Si la carga aplicada es mayor que la capacidad estructural del tendón, ocurre la falla.</p>	
<p>Falla por Arranque de la Unión Bulbo – Suelo: Los anclajes movilizan una fuerza perimetral entre el bulbo y el suelo. La resistencia de esta interface depende de la presión normal, de la fricción y de la cohesión en el perímetro del bulbo. Para aumentar la resistencia entre el bulbo y el suelo se acostumbra aumentar el diámetro del bulbo o su longitud.</p>	

Fuente: Monroy, R. (2007, p.95)

Tabla 2. Principales tipos de fallas locales en los muros anclados.

Tipo de Rotura	Figura
<p>Falla por Arranque de la unión Tendón – Bulbo:</p> <p>El mecanismo de falla de la unión entre el tendón y la lechada incluye problemas de adherencia, fricción e integración mecánica entre el acero del cable o varilla y la lechada.</p>	
<p>Falla del Muro por Flexión:</p> <p>La estructura superficial puede fallar por exceso de esfuerzos de flexión o de cortante, además puede darse el caso de una falla por punzonamiento, lo cual debe tenerse en cuenta en el diseño de dicha estructura.</p>	
<p>Falla de la Masa de Suelo:</p> <p>Esta falla es debida a la capacidad de soporte del suelo superficial, Si al colocarle la carga de tensionamiento, esta supera la capacidad de soporte del suelo lateral, se produce un movimiento del suelo hacia arriba. Esto ocurre especialmente en las anclas más subsuperficiales. Así mismo, se recomienda que la primera hilera de anclajes, de arriba hacia abajo, se encuentre suficientemente profunda para que la resistencia pasiva del suelo evite la falla.</p>	
<p>Falla Progresiva:</p> <p>Una falla local que se extiende en toda la estructura se denomina un colapso progresivo. El riesgo de colapso progresivo de los sistemas de muro anclado es debido a la baja capacidad del suelo para el arqueamiento y para redistribuir las cargas a los anclajes adyacentes.</p>	 <p style="text-align: center;">Anclaje fallado</p> <p style="text-align: center;">Redistribución del arco (en ambas direcciones)</p>

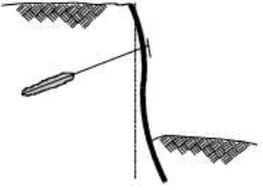
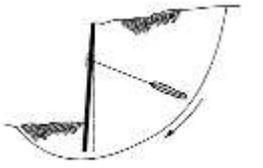
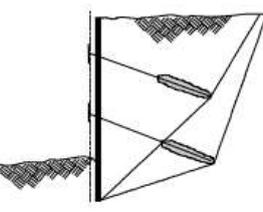
Fuente: Monroy, R. (2007, p.95)

Tabla 3. Tipos de Fallas Generales en los Muros Anclados. (Continuación)

Tipo de Rotura o Falla	Figura
<p>Falla del Muro debido a Insuficiente Capacidad Pasiva:</p> <p>Esta falla se produce cuando el empuje activo del suelo es mayor que el mecanismo de los esfuerzos de tensión del tendón y la capacidad pasiva del suelo. Así mismo también puede darse el caso de una falla por punzonamiento.</p>	

Fuente: Monroy, R. (2007, p.98)

Tabla 4. Principales Tipos de Fallas Generales en los Muros Anclados.

Tipo de Rotura o Falla	Figura
<p>Falla por Rotación Progresiva (previa a la instalación del anclaje):                      Generalmente ocurre por una corta dimensión de empotramiento del muro, que debe ser lo suficientemente larga como para evitar el giro de esta zona, así mismo la capacidad pasiva del suelo no es suficiente como para retener el pie del muro y al empuje activo del suelo.</p>	
<p>Falla debido a Insuficiente Capacidad Axial:                      Esta falla se produce debido a que la carga axial en el muro es elevada y supera la capacidad portante del suelo, ocasionando asentamientos que pueden ser diferenciales o globales.</p>	
<p>Falla por Vuelco:                      En este caso se deben tomar en cuenta todas las fuerzas que actúan en el elemento de retención. De ser necesario debe analizarse la posibilidad de que el volteo ocurra a diferentes profundidades, alrededor de uno o más puntos de giro.</p>	
<p>Falla por Deslizamiento:                      Envuelve toda la estructura incluyendo los muros y el anclaje, así mismo permite definir la longitud mínima del anclaje en función de la fuerza de este, evitando así la falla de la masa en conjunto.</p>	
<p>Falla por Rotación de la Masa de Suelo:                      Esta falla se origina por el desnivel producido por los sistemas de contención, el suelo tendera a nivelarse produciendo planos de falla de diversas formas y solo si el esfuerzo de corte del suelo tiene suficiente capacidad se podrá evitar.</p>	

Fuente: Monroy, R. (2007, p.98)

### 2.2.6 Procesamiento usando GGU-Retain

En primer lugar, se ingresa la geometría de la sección a modelar, sobrecargas, cargas puntuales, espesor del muro.

- Propiedades del suelo:

En cuanto a los estratos de suelo, se define la cantidad a utilizar y se ingresa las características; peso específico, cohesión efectiva, ángulo de fricción efectiva y

ángulo de fricción entre el muro y el suelo. Se definen las características de los anclajes, como son:

- Nivel de ubicación,
- Ángulo de inclinación con respecto a la horizontal,
- Longitud libre,
- Longitud del bulbo
- Características del cable.

- Selección del método y distribución de empujes:

Para el cálculo de la profundidad de embebimiento, en la que se puede considerar un grado de empotramiento al pie del muro, siendo 1 para apoyo empotrado, 0 para apoyo libre, u otro valor entre estos límites para un grado de empotramiento parcial. También nos proporciona la facilidad de elegir la forma de distribución del diagrama de presiones, en la que se aprecia las recomendaciones dada por la EAB, EAU 2004, la distribución clásica u otra forma que el diseñador considere según su criterio.

- Resultados:

Después de ello se corre el programa, en que la nos proporciona el diagrama de empujes (pasivo y activo), profundidad de empotramiento, capacidad de trabajo y última del anclaje, factor de seguridad, diagrama de momentos, diagrama de cortantes y deformaciones.

## 2.2.7 Proceso constructivo de muros anclados

### 2.2.7.1 Excavación masiva y perfilado del talud

Inicialmente se hace la excavación masiva consiguiendo una plataforma para la ejecución de los anclajes de la primera línea, dejando a lo largo del perímetro una banqueta, la cual es una berma de seguridad para evitar desmoronamientos, en la que su ancho superior dependerá de las cargas adyacentes existentes. Por lo general se deja en la parte superior entre 0.60 a 0.80 m con un talud natural, dando en la parte inferior un promedio de 1.20 a 1.80 m, esto depende mucho del tipo de suelo y de las cargas adyacentes, la Figura 7 muestra el proceso de eliminación de la excavación masiva del terreno.



*Figura 7.* Eliminación de tierra en obra Océano Atlántico – EF-CONSTRUCTORES

Fuente: Elaboración propia (2019)

### 2.2.7.2 Perforación de orificios para los anclajes

Una vez que se tengan las banquetas, se procede a perforar sobre las banquetas hasta terminar la primera línea. La perforación debe realizarse en tal forma que se garantice una superficie rugosa para la adherencia entre el suelo y la lechada en todo el largo del bulbo, por lo que se debe limpiar adecuadamente la perforación y evitar colapsos de las paredes de la excavación, la Figura 8 muestra el proceso de perforado para la colocación de las mechas. El diámetro del hueco de perforación generalmente es determinado por el tipo de equipo disponible y este diámetro debe ser de tal tamaño que permita la inserción del anclaje sin necesidad de forzarlo.



*Figura 8.* Perforación de muros anclados

Fuente: Elaboración propia (2019)

### 2.2.7.3 Instalación de anclajes e inyección.

Se instalan los anclajes de la primera línea siguiendo la secuencia constructiva del panelado establecida en los planos. Estos anclajes han sido diseñados y preparados

de acuerdo a las especificaciones y normas internacionales, así mismo se colocan separadores transversales cada cierta distancia para conseguir que el refuerzo del anclaje se mantenga sin contacto con el suelo para evitar su cementación a la hora de la inyección. Posterior a ello, se inyecta la lechada de cemento a presión hasta la zona de sello, esta lecha tiene una relación agua/cemento (a/c) que varía entre 0.40 a 0.60. La lechada inicia el periodo de fraguado y no debe tensarse hasta que termine ese proceso. Es importante que todos los anclajes vayan protegidos adecuadamente contra la corrosión.

#### 2.2.7.4 Perfilado de los paños de forma intercalada.

Con ayuda de una retroexcavadora se inicia el proceso de perfilado de los paños hasta llegar al nivel según requerimiento de los planos, con este perfilado se remueve la banqueta correspondiente al paño, el control de nivel se realiza permanentemente durante el proceso. Se debe de tener cuidado al realizar el corte de la banqueta cuando el anclaje ya esté dentro, debido a que la maquina puede dañar el anclaje. Este trabajo se realiza de forma intercalada según secuencia constructiva establecida en los planos. Una vez alcanzado el nivel horizontal y vertical deseado, se procede a realizar un pañeteo mediante lechada de cemento para evitar el desmoronamiento del terreno.

#### 2.2.7.5 Colocación del enmallado de acero.

Una vez realizado el pañeteo, se procede al enmallado según secuencia constructiva, como se muestra en la Figura 9. Las especificaciones técnicas del enmallado son determinadas por el proyectista y van plasmados en los planos de cada proyecto. Así mismo los traslapes laterales y verticales se pueden doblar o mantener recto, si se da esto último, es recomendable disminuir la longitud de vaciado para que la longitud de abertura no supere lo estipulado en el proyecto, caso contrario podría originar que se desmorone el suelo, poniendo en riesgo la estabilidad de la zona.



*Figura 9.* Construcción de muros anclados – obra Marsano

Fuente: Elaboración propia (2019)

#### 2.2.7.6 Encofrado de los muros.

Para este proceso se tiene que verificar que el anclaje inyectado tenga un pase (tuvo PVC) entre el terreno y el encofrado de diámetro entre 4” a 6” dependiendo el diámetro del anclaje, con su respectiva inclinación (según lo especificado) y lo suficientemente sujetado a la malla, para que al momento del vaciado del hormigón no se salga de su posición y no se altere el ángulo. Posterior a esto, se instalan los paneles intercalados según secuencia constructiva con el uso de moldaje industrializado. Se requiere el uso de apuntalamientos, los cuales sirven como estructura de apoyo al empuje que genera el concreto sobre las planchas de encofrado.

#### 2.2.7.7 Vaciado de concreto.

Este procedimiento se realiza con concreto premezclado con resistencia temprana a cuatro días, el proyectista deberá verificar si la resistencia utilizada para el diseño del muro no se ve afectada por las cargas de punzonamiento. El vaciado se realiza por la parte superior y utilizando una bomba de concreto.

#### 2.2.7.8 Desencofrado de los muros.

Se desencofra el paño y se apuntala paralelamente en los extremos para evitar desplomes, así mismo no se deberá retirar los puntales hasta que se realice el tensado respectivo.

### 2.2.7.9 Ensayo de los anclajes

Antes del tensado, se debe garantizar que el muro alcanzó la resistencia de diseño para las cargas de tensado a aplicar y así evitar fallas por punzonamiento. Durante el procedimiento de tensado, el 100% de los anclajes deben ser sometidos a una prueba de aceptación en la cual se verifica la calidad de la ejecución, las características de fluencia y pérdida de carga de los anclajes en estado límite de servicio. (Ensayo de Aceptación según la norma DIN 4125 o UNE-EN 1537).

El ensayo se inicia con una pre-carga ( $F_i$ ) que es incrementada en etapas hasta una carga de prueba ( $F_p$ ) igual a 1.25 veces la carga de servicio del anclaje ( $F_w, k$ ). Posteriormente el anclaje es descargado hasta su carga de bloqueo, dejando al anclaje en su estado de carga definitivo. En cada etapa de carga, el desplazamiento del anclaje es medido como una función de la carga para verificar el comportamiento de fluencia del elemento suelo – bulbo. La carga de prueba del Ensayo de Aceptación será como máximo  $F_p \leq 0.90 R_i, k$  (Carga de fluencia del anclaje).

Una vez terminado con los paños impares, se continúa con los pares repitiendo el mismo proceso de perfilado, puesta de acero, encofrado y vaciado de concreto. Luego de terminado el tensado de los paños pares, siguiendo el mismo procedimiento, se procede con la excavación masiva del segundo nivel, continuando de la misma forma que el primer nivel, la Figura 10 muestra el proceso de tensado con el personal calificado.



*Figura 10.* Tensado de anclaje en obra Altovento

Fuente: Elaboración propia (2019)

#### 2.2.7.10 Destensado de los anclajes

Es el procedimiento por el cual se da por terminada la vida útil del anclaje y la carga necesaria para la estabilidad de la entibación, a partir de ese momento, está dada por la capacidad a flexión de los muros de entibación y las losas de la estructura definitiva del edificio, las cuales cumplen como arriostres horizontales.

### 2.3 Definiciones Conceptuales

- Muros anclados: Son un tipo de muro de retención que está anclado al suelo que está reteniendo, se usan mucho en la contención de suelos en sótanos, se pueden identificar muy fácilmente por las cabezas de los anclajes, que se pueden ver a lo largo de todo el muro cuando está en construcción.
  
- Estabilidad del muro anclado: Son muros que logran su estabilidad a través de tirantes de anclaje con capacidad para soportar las fuerzas que cargan sobre el muro, como lo son el empuje del suelo, del agua y de las sobrecargas. Estas fuerzas son trasladadas por los anclajes a una zona detrás de la zona activa del terreno, en donde el anclaje se fija por intermedio de un bulbo de adherencia. El suelo y la pared del muro igualmente deben estar en capacidad de resistir las cargas aplicadas. En general, el suelo, el tirante y el muro deben integrar un sistema capaz de resistir todos los posibles modos de falla que puedan presentarse.
  
- Anclajes al terreno: Dispositivo capaz de transmitir las fuerzas de tracción, que le son aplicadas, a un lecho de terreno resistente.
  
- Cabeza de anclaje: Parte del tendón que transmite las fuerzas de tracción de la armadura a la placa de apoyo o a la estructura.
  
- Longitud libre equivalente: Longitud del tendón comprendida entre el punto de fijación del tendón sobre la zona de presión y un punto de anclaje ficticio, deducido de un ensayo de puesta en carga.
  
- Modelación Numérica: Son aquellos modelos que resuelven ecuaciones matemáticas y con ello logran describir un fenómeno en estudio. Uno de los fenómenos que han logrado simular es la del transporte de sedimentos, donde distintas ecuaciones proporcionan resultados muy diferentes.

- Resistencia interna característica del anclaje: Fuerza de tracción característica del tirante o tendón.
- Límite de fluencia: Desplazamiento máximo permitido debido a la fluencia, para un determinado nivel de carga.
- Carga crítica de fluencia: La carga correspondiente al final de la primera parte lineal de la curva de fluencia en función de la carga aplicada al tirante.
- Carga de referencia: La carga a partir de la cual se miden, en la cabeza del tirante, los desplazamientos durante el ensayo de tensado. En general se adopta como valor de carga de referencia, el 10% de la carga de ensayo.
- Resistencia externa del tirante: La fuerza de tracción límite del tirante de anclaje en el contacto del terreno con la zona de bulbo.
- Longitud de bulbo: La longitud teórica del tirante sobre la cual la fuerza de tracción se transmite al terreno circundante, con ayuda de una zona inyectada.
- Longitud libre del anclaje: La distancia comprendida entre el punto de fijación de la armadura sobre la cabeza de anclaje y el comienzo del bulbo.
- Lechada: Material endurecible que transfiere las fuerzas de tracción de la armadura al suelo, a lo largo del bulbo, y que puede rellenar el resto de la perforación y/o contribuir a la protección contra la corrosión.
- Carga de bloqueo: La carga transmitida a la cabeza del anclaje inmediatamente después de una operación de puesta en carga.

## 2.4 Estructura teórica y científica que sustenta la investigación

### 2.4.1 Anclajes postensados

Conceptualmente, un anclaje es un elemento estructural instalado en suelo o roca que se utiliza para transmitir al terreno una carga de tracción aplicada, como se observa en la Figura 11.

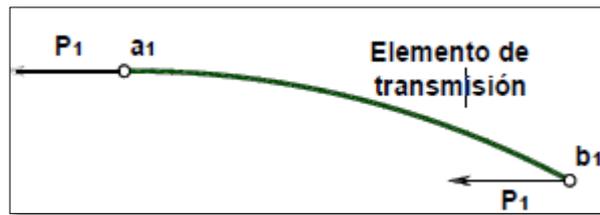


Figura 11. Concepto de anclaje

Fuente: Puelles J. (2011, p.56)

Aplicando el mismo concepto a los muros anclados, el mecanismo básico de un anclaje consiste en transferir las fuerzas de tensión aplicadas al muro estructural por el cabezal y placa de apoyo, hacia el interior de la masa de terreno, véase Figura 12, a través de la resistencia movilizada en el contacto suelo o roca - lechada de cemento, del tramo anclado o bulbo.

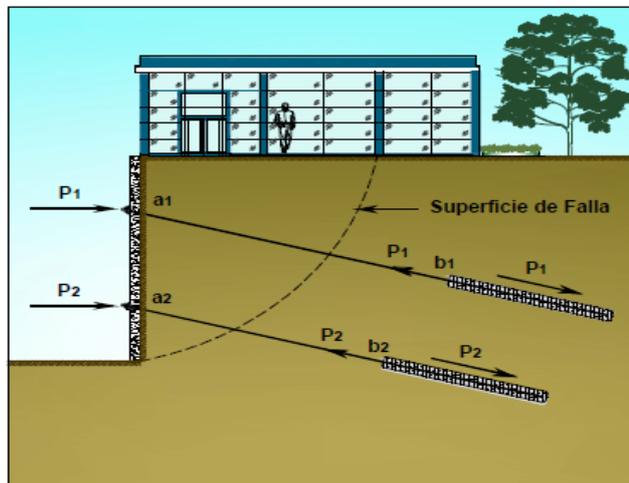


Figura 12. Anclajes postensados en la contención de taludes de excavación.

Fuente: Puelles J. (2011, p.62)

#### 2.4.1.1 Tipos de anclajes postensados

Por el tipo de trabajo al que estarán sujetos podemos diferenciarlos como anclajes pasivos y activos. Los pasivos son instalados en taladros y no se tensan inicialmente, el tensado del tendón ocurre al producirse un desplazamiento entre el cabezal y el bulbo. Los activos son instalados y tensados inicialmente, introduciendo una fuerza adicional al macizo o a la estructura en una magnitud y dirección deseada. Por el medio en que se fija el bulbo, pueden ser anclajes en suelo, roca o concreto. La capacidad de carga del tendón y el medio en el que se fija el bulbo determina el tipo de elemento, tipo de acero y número de cables que se emplean. Diferenciándose de este modo entre anclajes de barra y anclajes de

cables, estos últimos de alta capacidad. Por otro lado, podríamos clasificar a los anclajes según el método de fijación del anclaje al medio, pudiendo ser mecánico, por agente cementante o resinas químicas. En general los anclajes de barras son empleados para fijación en roca o concreto, mientras que los anclajes de cables son utilizados como anclajes activos, en suelo o roca. Los anclajes activos pueden también ser clasificados de acuerdo al tipo de inyección de la lechada de cemento para formación del bulbo, como se observa en la Figura 13. Así podemos diferenciar tres tipos:

- a) Anclajes inyectados a gravedad: aquellos cuya perforación es llenada con lechada de cemento formándose un bulbo que teóricamente debe tener forma cilíndrica, con diámetro  $d$  igual al de la perforación. Son usados comúnmente en roca.
- b) Anclajes inyectados a presión: el bulbo se forma con lechada de cemento inyectada a una presión entre 0 y 5 bar, incrementándose el diámetro del mismo  $D > d$ . Son apropiados para suelos granulares gruesos y rocas fisuradas.
- c) Anclajes reinyectables: aquellos a los cuales se aplican múltiples inyecciones a presión, lo cual permite incrementar el diámetro del bulbo  $D > 2d$  y por ende su capacidad de carga. Estos anclajes son recomendados por el *Post-Tensioning Institute* por ofrecer mayor seguridad y eficiencia.

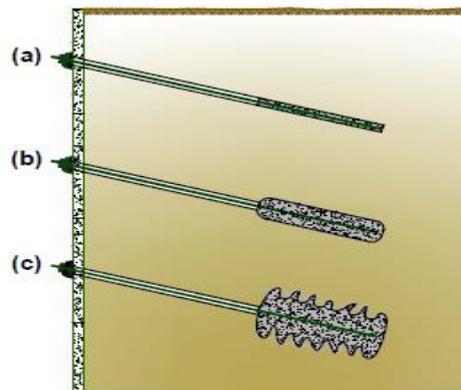


Figura 13. Clases de anclajes en función al tipo de inyección de lechada

Fuente: Puelles J. (2011, p.69)

En la ejecución de muros anclados, usamos anclajes activos de alta capacidad, por lo que principalmente son anclajes de cables, cimentados en suelo o roca con lechada de cemento en toda la extensión del bulbo. Geotécnica S.A.C. sugiere usar anclajes reinyectables, para garantizar la seguridad y eficiencia en la obra, aun cuando el costo sea mayor.

### 2.4.1.2 Componentes de los anclajes postensados

Los anclajes postensados están constituidos básicamente por tres elementos definidos conforme a la Figura 14.

- Cabezal del anclaje: Es el elemento de fijación de la carga aplicada a la pantalla o muro estructural (punto a) que deberá ser transmitida al tramo anclado (punto b).
- Tramo Libre: Es el elemento estructural de acero, convenientemente protegido del intemperismo y agentes nocivos con una tubería plástica flexible, interiormente llena de grasa para evitar fricción con el suelo o roca, de manera que permita la transferencia de la carga del cabezal (punto a) al tramo anclado (punto b).
- Tramo Anclado o Bulbo: Es el elemento estructural de acero fijado al suelo, que recibe la carga del cabezal de anclaje a través del tramo libre (punto b).

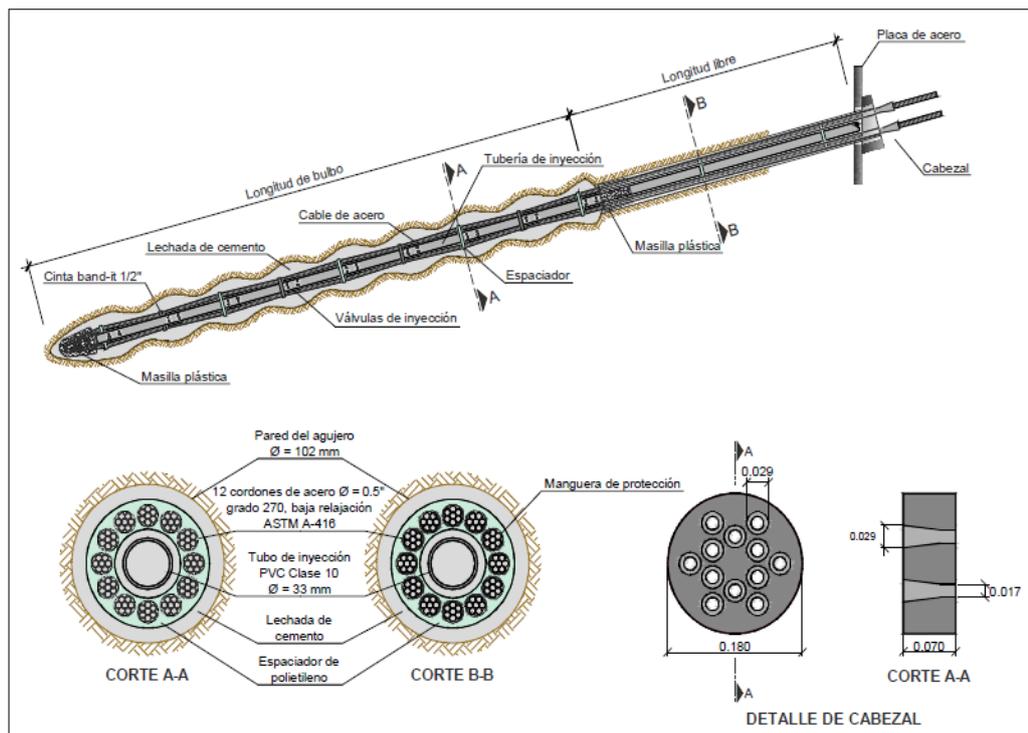


Figura 14. Componentes típicos de un anclaje de cables.

Fuente: Cerna, A. (2011, p.84)

Actualmente los anclajes están constituidos por un conjunto de cables de acero armónicamente distribuidos alrededor de una tubería con válvulas de inyección, a través de la cual se ejecuta la inyección de lechada de cemento para la formación y fijación del tramo anclado en el suelo o en roca.

Los elementos de acero son espaciados entre sí por medio de dispositivos denominados espaciadores, de manera de dejarlos libres y sin contacto entre ellos. En todo el bulbo, la tubería de inyección posee válvulas espaciadas a cada 0.50 m. En el tramo libre el anclaje es protegido por una manguera flexible para evitar el contacto del acero con el suelo o roca y dejando libre los cables para transferir con eficacia las cargas para el bulbo del anclaje.

## 2.4.2 Consideraciones básicas del diseño de anclajes postensados

### 2.4.2.1 Análisis del talud a estabilizar

- Con los parámetros geo mecánicos, sobrecargas y geometría de la excavación se procede a elaborar el modelo y cálculo numérico de la estabilidad del talud. Se muestran los incrementos de desplazamiento totales en la falla del talud en cada nivel excavado y anclado.
- Evaluadas las condiciones locales de la obra, el diseñador selecciona la metodología necesaria para evaluar el comportamiento del macizo o estructura a estabilizar. Se suele emplear para estos fines; el método de equilibrio límite en su versión de métodos rigurosos; el método de elementos finitos para evaluar el estado de esfuerzos y deformaciones de la masa de suelo o roca.
- El modelo geo mecánico del talud, contempla la interacción de todos los fenómenos considerados para la estabilidad global, tales como: sobrecargas de construcciones vecinas, vehiculares, sobrecargas de equipos que operan en el local, efectos sísmicos considerando la aceleración estándar para la región en estudio, En la Figura 15 se observa el cálculo de la estabilidad global del talud empleando elementos finitos con el software Slide.

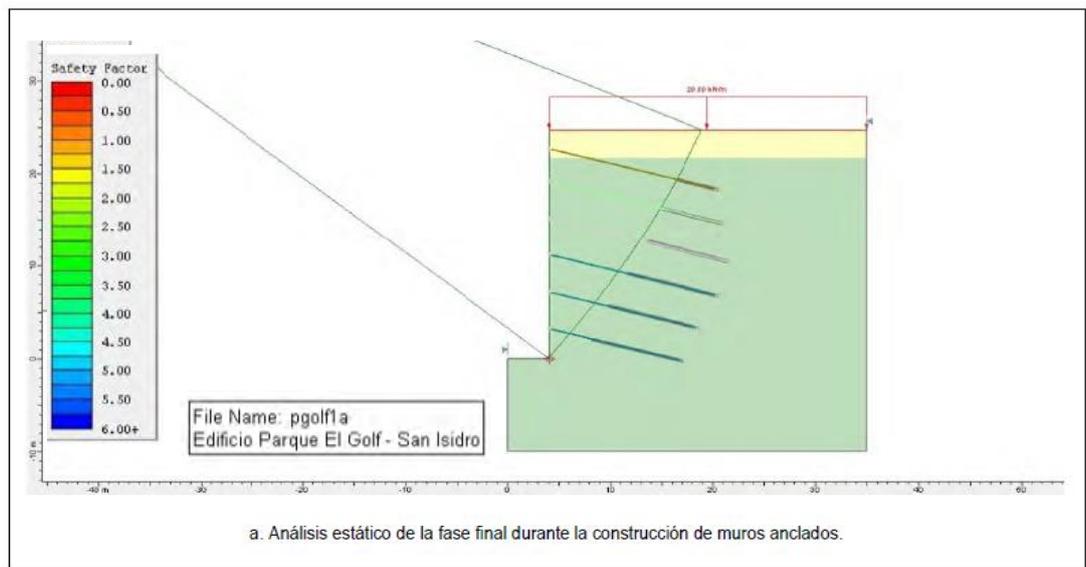
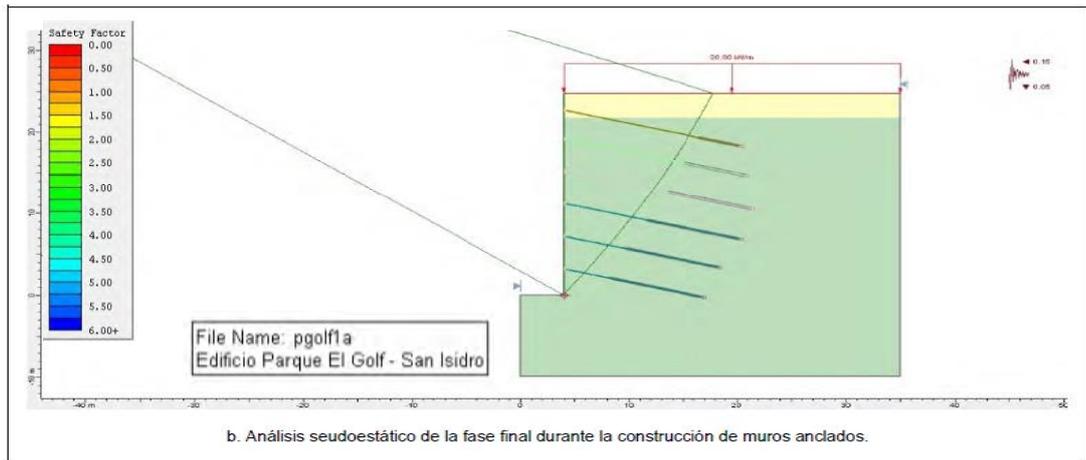


Figura 15. Modelos numéricos para cálculo de la estabilidad global del talud

Fuente: Puelles J. (2011, p.77)

Por otro lado, un anclaje puede tener carácter permanente o temporal según el tipo de proyecto. Usualmente en las excavaciones de sótanos se emplean anclajes temporales debido a que su función concluye cuando todos los elementos estructurales de los sótanos fueron ejecutados, principalmente las losas de los entresijos que soportar las cargas laterales transmitidas por el suelo a los muros de contención.

#### 2.4.2.2 Diseño de tendones de anclajes.

Como se mencionó anteriormente el diseño de los anclajes está en función del carácter temporal o permanente de la estructura que se desea estabilizar. En general el factor de seguridad de los anclajes está definido por la siguiente expresión:

$$n = \frac{0.90 f_y A_s}{P_w} \dots\dots\dots (11)$$

Donde:

$P_w$  : Carga de trabajo de anclaje

$n$  : Coeficiente de seguridad.  $n = 1.50$  para anclajes provisionales

$f_y$  : Esfuerzo de fluencia del acero.

$A_s$  : Área del acero de refuerzo.

- Tendones para anclajes temporales:

Son empleados en obras provisionales, considerándose como tales aquellas cuyo periodo vida útil no exceda los dos años. En estos casos, los cables de acero no reciben ningún tratamiento anticorrosivo. Según la expresión 2 la carga de trabajo del anclaje será:

$$P_w = \frac{0.90 f_y A_s}{1.50} \dots\dots\dots (12)$$

- Tendones para anclajes permanentes:

Son empleados en obras permanentes y por lo tanto deberán tener vida útil compatible con las necesidades de la obra principal o superior a los dos años. Los cables de acero deben recibir tratamiento anticorrosivo especial en toda su extensión. El cabezal luego del tensado deberá quedar herméticamente protegido para evitar la agresión de factores externos. Según la expresión 3 la carga de trabajo del anclaje está definida por:

$$P_w = \frac{0.90 f_y A_s}{1.75} \dots\dots\dots (13)$$

#### 2.4.2.3 Diseño del bulbo o tramo anclado.

El parámetro más importante para el diseño del bulbo es la capacidad última de adherencia en el contacto suelo - lechada de cemento, que se puede definir como la resistencia lateral ofrecida por la fricción o interacción suelo - lechada de cemento en el tramo de formación de bulbo, que permite absorber las fuerzas de tensado aplicadas al tendón.

El *Post-Tensioning Institute* (2004), recomienda valores promedios de la capacidad de adherencia en función del tipo de suelo o roca, con fines de diseño preliminar de la longitud del bulbo. Sin embargo, la única forma de determinar su valor con precisión es mediante ensayos in-situ. En general, la capacidad de carga del bulbo es determinada por la expresión:

$$P_b = \pi D L_b \tau_w \dots\dots\dots (14)$$

La longitud del tramo anclado o bulbo será determinada por:

$$L_b = \frac{P_b}{\pi D \tau_w} \dots\dots\dots (15)$$

Considerando que la carga mínima asumida por el bulbo deberá ser igual a la capacidad de carga límite del acero:

$$P_b = P_{s\ Lim.} = 0.90 f_y A_s \dots\dots\dots (16)$$

Entonces,

$$L_b = \frac{0.90 f_y A_s}{\pi D \tau_w} \dots\dots\dots (17)$$

Donde:

- $P_b$  : Capacidad de carga mínima del bulbo
- $D$  : Diámetro de la perforación
- $L_b$  : Longitud del bulbo de anclaje
- $\tau_w$  : Capacidad de adherencia de trabajo en el contacto lechada de cemento – suelo
- $P_{s\ Lim.}$  : Carga límite del anclaje
- $f_y$  : Esfuerzo de fluencia del acero
- $A_s$  : Área del acero de refuerzo
- $P_b$  : Carga de trabajo del anclaje

#### 2.4.3 Criterios para la resistencia de la parte anclada.

El proceso de análisis y diseño de una estructura de sostenimiento temporal de muro anclado, consiste en determinar las fuerzas de diseño asociadas a las longitudes de anclaje, de la parte libre y de la parte anclada llamada longitud de bulbo.

La capacidad última que puede soportar la interacción del suelo-anclaje está comprendida por el tipo de suelo y las características geométricas de la parte

inyectada con la lechada de cemento (bulbo), será conocida por una prueba de jalonamiento, "pull-out" test. En primer lugar, se evalúa la resistencia al jalado del bulbo del anclaje, seguidamente se analiza la tensión máxima que puede soportar un anclaje, dichas metodologías aplicadas van asociadas a un factor de seguridad relativamente alto respecto a otros problemas de mecánica de suelos.

#### 2.4.3.1 Expresión teórica de resistencia para la longitud anclada.

El esfuerzo cortante promedio a través del bulbo se relaciona con la carga aplicada de la siguiente manera.

$$T = \pi \cdot D \cdot L \cdot \tau \dots\dots\dots (18)$$

Donde:

D: Diámetro promedio

L: Longitud anclada

$\tau$ : resistencia unitaria cortante al jalado.

Esta expresión es aceptada por diferentes códigos e investigadores: (DIN, NBR, PTI, Fargeot 1972, Mascardi 1973, White 1973), siendo válidos para las siguientes suposiciones:

- Transferencia de carga del bulbo hacia el suelo se experimenta sobre la longitud anclada.
- El agujero realizado mantiene sus dimensiones.
- EL criterio de diseño es ubicar la parte anclada fuera de la superficie potencial de falla, de tal manera que la transferencia de carga sea en toda la longitud.
- Los anclajes son suficientemente largos y profundos, falla "dúctil"
- La carga total es resistida en este tramo, y no tiene participación la longitud libre.
- La resistencia cortante total desarrollada en la interfase es una función de la dimensión de la longitud anclada y las cargas aplicadas.
- La resistencia de la parte anclada depende de las propiedades del suelo.
- Las condiciones de operación de campo también inciden en la resistencia.

#### 2.4.3.2 Método de Bustamante - 1985

El método para el dimensionamiento de los anclajes considera la presión de inyección y el volumen de cemento inyectado, la capacidad máxima del anclaje viene dada por:

$$T = \pi \cdot D_e \cdot L_b \cdot q_s \dots\dots\dots(19)$$

$$D_e = \beta \cdot D_p \dots\dots\dots (20)$$

Donde:

$D_e$  : Diámetro medio para el tramo anclado.

$D_p$  : Diámetro perforado para el tramo anclado.

$L_b$  : Longitud del tramo anclado.

$\beta$  : Coeficiente de aumento del diámetro del bulbo debido a la inyección.

$q_s$  : Resistencia al cizallamiento o cortante.

Se muestra valores del coeficiente  $\beta$ , 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.

#### 2.4.4 Criterios para el dimensionamiento del sistema de anclajes.

Los anclajes instalados al terreno, deben pasar un proceso de verificación de sus propiedades para confirmar la zona adecuada para su localización, en muchos casos cada anclaje difiere en su localización, también puede predecir el comportamiento y los errores en la etapa de diseño e instalación, la metodología general consiste en tomar en cuenta las características del material y las demandas de anclaje de la estructura.

El proceso de calidad tiene por objeto validar la capacidad de carga de los anclajes, en base a ensayos insitu de carga y descarga, que arrojará gráficos de esfuerzo-deformación, donde se apreciará zonas de deformación.

##### 2.4.4.1 Aspectos geométricos del anclaje

La posición del anclaje para desarrollar los esfuerzos de tensión en el suelo más adecuada es horizontal, sin embargo, esta no siempre se puede desarrollar por diferentes factores como; detalles constructivos, línea de agua o desagüe existente o problemas en la instalación misma.

Problemas sobre la ejecución del agujero y la introducción de la lechada de cemento, se muestran para valores de 10° a 15°, mientras que para valores de 20° a 45° de inclinación pueden presentarse por presencia de ductos, cimientos

vecinos que se encuentren cercanos al nivel del muro anclado, lo que lleva a soluciones como aumento de la longitud del anclaje o aumento del ángulo de inclinación. Para la grava de Lima según experiencia los valores recomendados son de  $15^\circ$  a  $20^\circ$ .

Littlejohn (1972), da sugerencias sobre la longitud total:

Los bulbos de los anclajes deben situarse fuera de la cuña del empuje activo del suelo soportado por el muro anclado. Se recomienda longitudes de desarrollo del bulbo estén por debajo de los 5 a 6 m de la superficie del terreno, o 3 m por debajo de las cimentaciones, véase la Figura 16.

Espaciamiento mínimo de 1.5m entre bulbos, de tal forma que los esfuerzos de los bulbos no se superpongan y no se genere sobreesfuerzos, originando que los anclajes pierdan su capacidad. Espaciamientos mínimos según la Figura 17.

La longitud libre inferior no debe ser inferior que 5 a 6 m de tal forma que las tensiones transmitidas al suelo a través del bulbo no originen aumentos significativos de presión a largo plazo.

Longitudes de bulbo menores a 3m no son aconsejables, el valor final depende de la capacidad de carga deseable del anclaje.

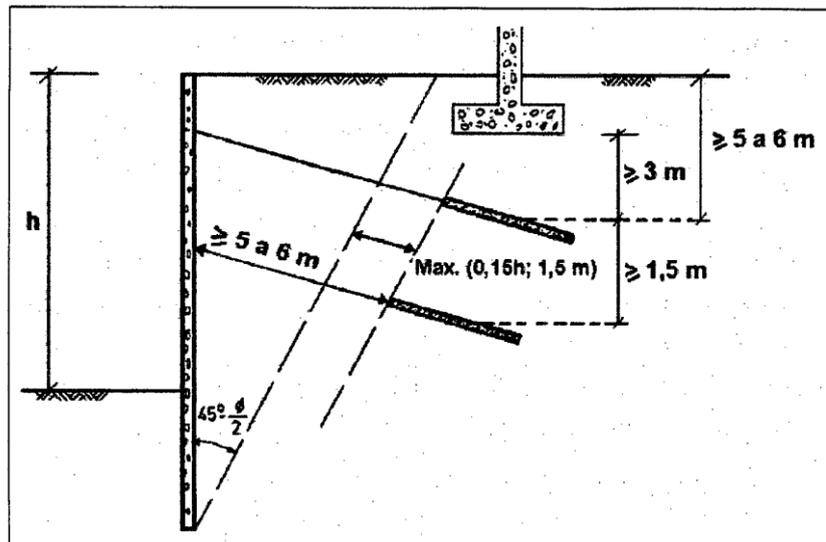


Figura 16. Aspectos para el dimensionamiento de muros anclados

Fuente: Paredes, J. (2015, p.67)

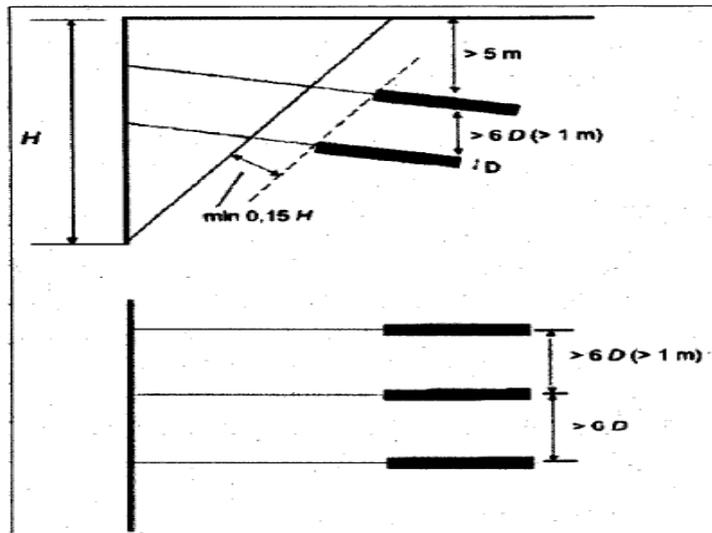


Figura 17. Espaciamiento entre anclajes

Fuente: Paredes, J. (2015, p.97)

#### 2.4.5 Ensayo para anclajes según Norma Española UNE-EN 1537

Esta norma distingue dos categorías de ensayos de anclajes, denominados de idoneidad y aceptación. En esta norma hay tres tipos diferentes de ensayos in situ.

- Ensayos de investigación
- Ensayos de adecuación
- Ensayos de aceptación.

Los dos primeros tipos de ensayo se pueden considerar como subdivisiones de la categoría general de ensayos de idoneidad.

Los ensayos de investigación tienen por objeto establecer, antes de la ejecución de anclajes de servicio:

- a) Resistencia del anclaje, en la interfaz lechada-terreno.
- b) Resistencia crítica de fluencia del sistema de anclaje
- c) Las características de fluencia del sistema de anclaje bajo diferentes niveles de carga hasta la rotura.
- d) Las características de la pérdida de carga del sistema de anclaje en estado límite de servicio.
- e) Longitud libre equivalente.

Los ensayos de adecuación tienen por objeto confirmar, para una situación de cálculo particular:

- a) La capacidad del anclaje de soportar una tracción de prueba.
- b) Las características de fluencia o la pérdida de carga del sistema de anclaje hasta la carga de prueba.
- c) Longitud libre equivalente.

Los ensayos de aceptación tienen por objeto confirmar para cada tirante:

- a) Capacidad del tirante para soportar una carga de prueba.
- b) Las características de fluencia o la pérdida de carga en el estado límite de servicio, si es necesario.
- c) Longitud libre equivalente.

La supervisión y evaluación de todos los ensayos de anclajes se deberán realizar por una persona competente y experimentada en técnicas de anclaje. Los métodos de ensayo prescritos para cada tipo de ensayo se deberán aplicar tanto a los anclajes provisionales como a los permanentes.

#### 2.4.5.1 Precisión de las medidas

En cada ensayo donde se mida la fluencia, durante las fases donde la carga se mantiene constante, la precisión de las medidas de desplazamiento debe ser de 0,05mm. Cuando no sea necesario medir la fluencia, la precisión de las medidas de desplazamiento será de 0,5mm. Cuando se mida la fluencia, el dispositivo de medida deberá tener una sensibilidad de 0,01mm.

La medida de carga en los tirantes se deberá realizar con dispositivos de medida hidráulicos, eléctricos o mecánicos con una precisión de medida superior o igual al 2% de la carga máxima aplicada en cada ensayo. Todo dispositivo de medida utilizado para medir la pérdida de carga, tendrá una precisión superior o igual al 0,5% de la carga de prueba.

#### 2.4.5.2 Carga de referencia.

La carga de referencia  $P_a$ , a partir de la cual se inician las medidas de desplazamiento, está entorno al 10% de la carga de prueba. En las puestas en carga

cíclicas, donde se produzcan alargamientos inusualmente elevados del tendón, está permitido utilizar cargas de referencia superiores (Ver Figura 18).

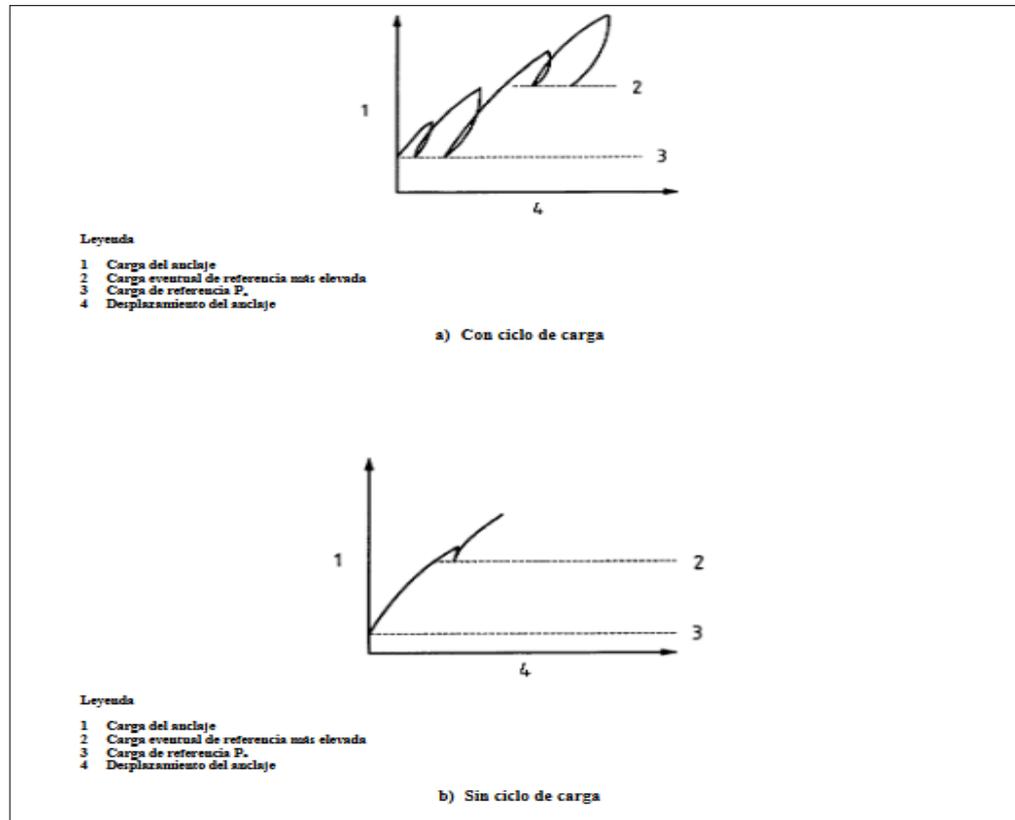


Figura 18. Procedimiento de puesta en carga con aumento de la carga de referencia.

Fuente: Norma española-UNE. (2001, p.113)

#### 2.4.5.3 Métodos de ensayo.

El representante técnico del cliente deberá dar su aprobación sobre el método de ensayo y la interpretación que se deberá utilizar en cada tipo de ensayo. En cada tipo de ensayo el anclaje se pondrá en carga por etapas, conforme al procedimiento requerido para este tipo de ensayo. Estos métodos son:

- a) Método de ensayo 1: El anclaje se pone en carga progresivamente o en varios ciclos, a partir de una carga de referencia hasta una carga de prueba. Los desplazamientos de la cabeza del anclaje se miden durante un cierto tiempo a la carga máxima de cada ciclo.
- b) Método de ensayo 2: El anclaje se pone en carga progresivamente por ciclos, desde una carga de referencia hasta una carga de prueba o hasta la rotura. La

pérdida de carga en la cabeza de anclaje se mide durante un período de tiempo, a la carga máxima de cada ciclo.

- c) Método de ensayo 3: El anclaje se pondrá en carga progresivamente por escalones, a partir de un valor de referencia hasta una carga máxima. Los desplazamientos de la cabeza del anclaje se miden a carga constante en cada escalón.

Durante toda la duración del ensayo, el tendón se debe cargar y descargar sin brusquedad con el fin de que no aparezcan choques ni cargas dinámicas.

#### 2.4.5.4 Ensayo de investigación.

- Los ensayos de investigación pueden ser exigidos para suministrar al proyectista, antes de la instalación de los anclajes, el valor y la resistencia última en relación a las condiciones del terreno y a los materiales utilizados, para probar la capacidad de la empresa y/o para probar un nuevo tipo de anclaje llevando el ensayo hasta la rotura lechada – terreno.
- Se recomienda hacer ensayos de investigación cuando los anclajes se utilicen en condiciones de terreno que no haya sido objeto de ensayos previos, o cuando las cargas de servicio son superiores a las adoptadas en condiciones de terreno similares.
- Los anclajes utilizados para ensayos de investigación son sometidos a cargas más elevadas que en los ensayos de control, se podrá pues, aumentar la sección del tendón. Cuando sean solicitados hasta la rotura, los anclajes sometidos a ensayos de investigación no se deberán utilizar en obras permanentes.
- Se recomienda escoger como diámetro de la perforación y dimensión de otros componentes, excepto el tendón, los mismos que los anclajes en servicio.
- Cuando sea imposible aumentar la capacidad del tendón, se puede utilizar una longitud de bulbo menor para inducir el fallo lechada – suelo.
- Cuando un ensayo de un anclaje con longitud de bulbo reducida se ha llevado a rotura, para anclajes con longitud de bulbo mayor, no se debe esperar un aumento de la resistencia externa proporcional al aumento de la longitud de bulbo.

- Cuando el diámetro de una perforación se aumenta, es posible que el comportamiento de un anclaje en un ensayo de investigación no sea comparable al de los tirantes de servicio.
- El anclaje de ensayo se deberá poner en carga hasta la rotura (Ra) o hasta la carga de prueba (Pp) sin sobrepasar para la carga de los tendones, el valor menor de 0,80 Ptk o 0,95 Pt 0,1k.

#### 2.4.5.5 Ensayo de adecuación

Antes de realizar ensayos de adecuación, se recomienda tener en cuenta toda la experiencia de ensayos de investigación y evaluar los resultados de cada uno de dichos ensayos.

Los objetivos de un ensayo de adecuación son:

- a) Confirmar, cuando se hayan realizado ensayos de investigación, las características de fluencia y la pérdida de carga aceptable en la carga de prueba, y de bloqueo de futuros ensayos de aceptación, o la carga crítica de fluencia.
- b) Determinar, cuando no se haya realizado un ensayo de investigación, cuando no exista ningún resultado de ensayo de investigación sobre anclajes similares en condiciones terreno similar, las mismas características del punto a) y proporcionar los criterios de fluencia, o de pérdida de carga aceptable de prueba para los ensayos de aceptación, o la carga crítica de fluencia.
- c) Determinar la longitud libre equivalente. Como mínimo se realizarán tres ensayos de adecuación sobre anclajes ejecutados en condiciones idénticas a aquellas de los anclajes de obra. Cuando no se realicen ensayos de investigación el tendón de los anclajes utilizados para los ensayos de adecuación podrá tener una capacidad superior a la de los anclajes de obra.

#### 2.4.5.6 Ensayo de aceptación.

Cada anclaje de obra deberá ser sometido a un ensayo de aceptación.

Los objetivos de un ensayo de aceptación son:

- a) Demostrar que una carga de prueba, la cual depende del método de ensayo, puede ser soportada por el tirante.
- b) Determinar la longitud libre equivalente.
- c) Asegurar que la carga de bloqueo, excluyendo las fuerzas de rozamiento, se situará al nivel de la carga de cálculo.
- d) Determinar si fuera necesario, las características de fluencia y la pérdida de carga en el estado límite de servicio.

#### 2.4.5.7 Carga máxima de bloqueo.

Cuando la fluencia o la pérdida de carga límite no se sobrepase, la carga máxima de bloqueo (P0) se deberá limitar a 0,60 Ptk.

Cuando en el curso de un ensayo de adecuación o de un ensayo de aceptación, la fluencia o la pérdida de carga límite se rebasa, la carga máxima de bloqueo se deberá reducir a un valor donde se satisfaga el criterio de fluencia o de pérdida de carga.

#### 2.4.5.8 Evaluación de la longitud libre equivalente

La longitud libre equivalente Lapp, se calcula a partir del alargamiento de la armadura Δs medida a partir del punto de fijación del tendón sobre el gato o en un puesto de referencia ligado al tendón. Esto permite definir la posición de un punto de anclaje ficticio del tendón y comparar esta posición con la del principio de la zona de bulbo.

En general, la ecuación siguiente se utiliza para calcular la longitud libre equivalente

$$L_{app} = (A_t \cdot E_t \cdot \Delta s) / \Delta P \dots\dots\dots(21)$$

Donde:

Lapp : Longitud libre equivalente

At : Sección del tendón

Et : Módulo de elasticidad del tendón

Δs : Alargamiento elástico del tendón

ΔP : Carga de prueba menos la carga de referencia

- Los límites en los cuales se debe encontrar el valor Lapp son:

- Límite superior: El mayor de los valores siguientes:

$$L_{app} \leq L_{tf} + L_e + 0,5 L_{tb} \dots\dots\dots (22)$$

$$L_{app} \leq 1,10 L_{tf} + L_e \dots\dots\dots (23)$$

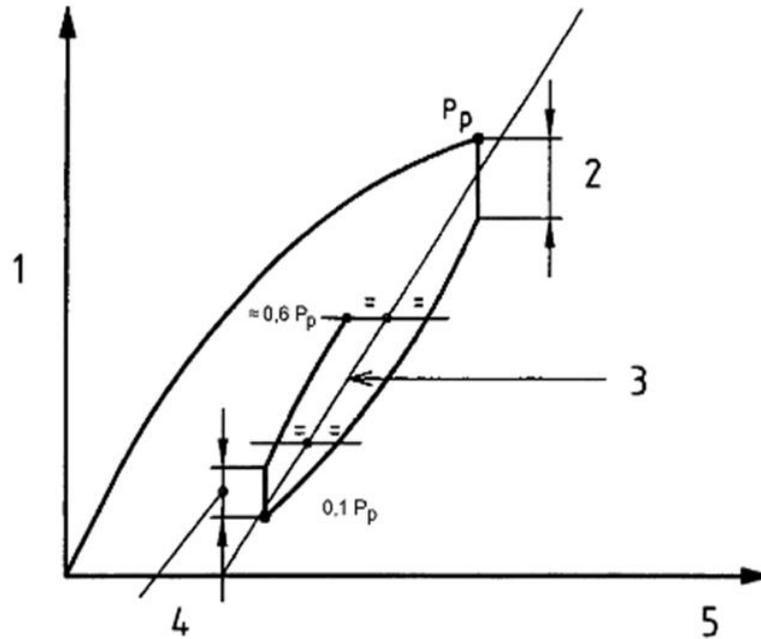
- Límite inferior:

$$L_{app} \geq 0,80 L_{tf} + L_e \dots\dots\dots (24)$$

Cuando exista un rozamiento significativo en la zona libre el método indicado se podrá utilizar para estimar el valor de la rigidez elástica aparente de la zona libre ( $\Delta P/\Delta s$ ), considerando el ciclo de histéresis en el interior de un ciclo de carga descarga.

Cuando el rozamiento sobrepase el 5% de  $P_p$ , se puede tener en cuenta para determinar carga mínima de prueba o de bloqueo. Si fuera necesario se podrá reducir la carga de prueba.

Cuando la longitud libre equivalente está fuera de los límites definidos anteriormente el anclaje se podrá someter a ciclos de carga repetitivas hasta  $P_p$ . Si el comportamiento tracción/alargamiento del anclaje se repite, puede ser aceptado por el proyectista, Véase Figura 19.



**Leyenda**

- 1 Carga del anclaje (P)
- 2 Rozamientos
- 3 Pendiente de la curva tracción - desplazamiento  $\Delta P/\Delta s$
- 4 Rozamientos
- 5 Desplazamientos

Figura 19. Evaluación de la rigidez elástica cuando hay un rozamiento significativo.

Fuente: Norma Española-UNE-1537 (2001, p.121)

#### 2.4.6 Ensayos para anclajes según Norma Brasileira ABNT NBR-5629

##### 2.4.6.1 Métodos de prueba de calificación y recepción.

Los métodos de prueba para calificación (comportamiento) y recepción (rendimiento) evalúan las cargas de tirantes en función de la aplicación de carga axial a medición de tracción y desplazamiento en el cabezal de la barra de acoplamiento. El aparato requerido para llevar a cabo las pruebas consiste en:

- a) Conjunto de gato y manómetro con una curva de manómetro correspondiente con una resolución máxima de 2,0 MPa (20 kg / cm<sup>2</sup>).
- b) Bomba de aceite manual o eléctrico.
- c) Celda de carga (opcional)
- d) Dispositivo de medición de desplazamiento de 0.01 mm (extensómetro) o dispositivo eléctrico / digital equivalente, dependiendo del tipo de prueba: regla graduada en milímetros.

- e) Indicador de cuadrante para soporte del gato, si no está conectado directamente a la placa de distribución de carga del cabezal de la barra de acoplamiento.
- f) Otros accesorios para distribución de carga o fijación de instrumentos y referencia antideslizante.

#### 2.4.6.2 Cargas.

La carga máxima a aplicar en cualquier prueba no puede exceder el 90% de la resistencia del elemento resistente al flujo a la tracción. Las fuerzas aplicadas deberán coincidir con el eje de la barra de acoplamiento durante todo el ensayo. Las cargas máximas de prueba, trabajo e incorporación se indicarán en el diseño.

#### 2.4.6.3 Medición de cargas.

Las mediciones de cargas aplicadas se realizan mediante la relación de la presión de aceite del manómetro a la carga en el gato o a través de la celda de carga, de acuerdo con el aparato descrito.

#### 2.4.6.4 Tolerancias de la etapa de carga.

Todos los valores para leer las cargas dadas en las Tablas 3 y Tabla 4, pueden caer dentro del 10% de los valores indicados, excepto la carga de prueba máxima.

#### 2.4.6.5 Carga inicial ( $F_0$ )

Todas las pruebas en esta norma deben iniciarse desde una carga inicial del pedido y el 10% de la carga de prueba máxima.

#### 2.4.6.6 Mediciones de los desplazamientos de la cabeza del vástago.

Siempre deben obtenerse en alineación del eje del vástago y seguir los procedimientos específicos indicados. Las compensaciones que ocurren en cargas más pequeñas que  $F_0$  no se miden.

#### 2.4.6.7 Realización de la prueba de recepción (rendimiento)

Todas las pruebas deben comenzar desde la carga  $F_0$ , ir a la carga máxima esperada para regresar a la carga  $F_0$  y recargarse a la carga de incorporación. El Ensayo se pueden utilizar otros procedimientos para la incorporación siempre que

estén indicados en el diseño. Las mediciones de desplazamiento del cabezal se tomarán tanto en carga como en descarga a todos los valores dados en la Tabla 3. Los desplazamientos del tirante deben medirse con una regla o instrumento de tamaño milimétrico con una unidad de medida más pequeña, en relación con una referencia indescriptible en la dirección de la tracción aplicada.

La medición puede realizarse en el émbolo del gato, siempre que también se mida el desplazamiento del marco de reacción del gato.

Una etapa de carga solo puede iniciarse después de la estabilización de los desplazamientos de la cabeza del timón en la etapa anterior con una resolución de 1 mm. A plena carga, los desplazamientos de la cabeza deben ser inferiores a 1 mm después de 5 min.

Tabla 3. Carga para lecturas de ensayos de recibimiento (rendimiento)

Estadios de carga	F <sub>o</sub>	0.3F <sub>t</sub>	0.6F <sub>t</sub>	0.8F <sub>t</sub>	1.0F <sub>t</sub>	1.2F <sub>t</sub>	1.4F <sub>t</sub>	1.5F <sub>t</sub>	1.6F <sub>t</sub>	1.75F <sub>t</sub>
En al menos el 10% de los tirantes	Permanente (tipo A)									
	Provisorio (tipo C)									
En los otros	Permanente (tipo B)									
	Provisorio (tipo D)									

Fuente: Adaptado de la Norma Brasileña ABNT NBR 5629

Donde:

F<sub>t</sub>: Carga de trabajo esperada

F<sub>o</sub>: Carga inicial.

#### 2.4.6.8 Realización de una prueba de calificación (comportamiento)

Aplicada para la investigación o idoneidad de un determinado tirante en un terreno determinado. Debe estar compuesto por al menos el 1% de la cantidad redondeada de los tirantes permanentes y uno de los primeros tirantes del trabajo. En esta prueba, a partir de los desplazamientos observados, se medirá lo siguiente:

- a) La capacidad de carga
- b) Desplazamientos bajo carga constante

- c) La longitud libre equivalente
- d) Fricción a lo largo de la longitud libre
- e) El comportamiento de la carga a largo plazo (en el caso de la prueba de medición de fluencia).

La prueba se realiza en ciclos de carga y descarga, todas las pruebas deben comenzar desde la carga  $F_0$ , ir a la carga de la primera etapa y regresar a la carga  $F$ , luego continuar a la siguiente etapa y regresar la carga  $F_0$ , sucesivamente, en todas las etapas indicadas, a la carga máxima esperada.

Las mediciones de desplazamiento del cabezal se tomarán en las fases de carga y descarga cuando las cargas excedan los valores dados en la Tabla 4.

Los desplazamientos de la barra de unión se medirán a partir de la carga inicial ( $F_0$ ). Indicador de esfera (extensómetro) u otro instrumento con una resolución de 0,01 mm en relación con una referencia indescriptible en la dirección aplicada La medición puede realizarse en el émbolo del gato, siempre que también se mida el desplazamiento en el marco de reacción del gato.

A la carga máxima de cada etapa, antes de la descarga, los desplazamientos de la cabeza de la barra de acoplamiento bajo carga constante se medirán a estabilización de acuerdo con los siguientes criterios:

- a) Para cargas menores o igual a  $0,75 F_t$ - menores de 0.1 mm en un intervalo de 5 min.
- b) Para cargas de  $0.75F_t$  a  $1.0 F_t$ -menos de 0.1 mm en un intervalo de 15 min.
- c) Para cargas superiores a  $1,0F_t$  – menores que 0,1 mm en un intervalo de 60 min. en cualquier suelo. La Tabla 4, indica las etapas de carga para las pruebas de calificación donde se deben realizar mediciones de desplazamiento, carga y descarga.

Tabla 4. Cargas para lecturas de ensayos de calificación (comportamiento)

Estadio de carga	$F_0$	$0.4 F_t$	$0.75 F_t$	$1.0bF_t$	$1.25bF_t$	$1.5bF_t$	$1.75 F_t$
Tirantes permanentes							
Observación de fluencia							

Fuente: Adaptado de la Norma Brasileira ABNT NBR 5629.

Donde:

$F_t$ : Carga de trabajo esperada

$F_0$ : Carga inicial

- Realización de la prueba de calificación (comportamiento), con medición de fluencia:

Esta prueba se aplica para la evaluación de la caída de presión del tirante a lo largo del tiempo. Se debe realizar al menos 0,5%. El número de anclajes permanentes, en trabajos con más de 100 anclajes, y también puede realizarse en trabajos con menos anclajes, siempre que lo indique el diseñador, en común acuerdo con el diseñador y el contratista. Usar el procedimiento anterior más los siguientes pasos:

- a) Los desplazamientos de la cabeza se medirán con dos medidores de tensión diametralmente opuestos al eje trasero.
- b) Mantenga una carga constante. Para las etapas indicadas en la Tabla 4, mida al menos los desplazamientos en los siguientes momentos en cada etapa: 10 min, 20 min, 30 min, 40 min, 50 min y 60 min.
- c) Desde 60 min, las mediciones pueden considerarse completas hasta que el desplazamiento en los últimos 30 minutos sea inferior al 5% del desplazamiento total del ensayo; de lo contrario, las mediciones se tomarán cada 30 minutos.
- d) las cargas deben mantenerse lo más estables posible, ya que la calidad de la prueba y la interpretación dependen directamente de la estabilización de la carga en cada etapa.

#### 2.4.6.9 Presentación de resultados

- Recepción o pruebas de desempeño:

Los resultados de la forma de representación se presentarán utilizando la tabla de lectura y los gráficos que se muestran en la Figura 19, para cada tipo de prueba indicado en la tabla 4.

- Representación gráfica: Todas las gráficas deben originarse en el punto correspondiente a las gráficas  $F_0$  denominadas "Gráfica de carga vs

desplazamiento total" deben tener el eje horizontal de fuerzas (F), que representa todos los ciclos de carga y descarga.

- a) La línea "a" o línea límite superior, correspondiente al desplazamiento elástico de la cabeza del anclaje, con longitud libre ( $L_L$ ), más la mitad del bulbo ( $L_b$ ) cuya ecuación está dada por

$$d_{ea} = \frac{(F-F_0) (L_L + L_b/ 2)}{E.S} \dots\dots\dots (25)$$

- b) La línea "b" o límite inferior, correspondiente al desplazamiento de la cabeza del anclaje de longitud libre ( $L_L$ ) reducido en un 20%, cuya ecuación se proporciona a continuación:

$$d_{eb} = \frac{0.8 (F-F_0) L_L}{E.S} \dots\dots\dots (26)$$

- c) La línea "c" o comportamiento teórico, corresponde al desplazamiento de la cabeza para un anclaje con la longitud libre ( $L_L$ ) igual al diseño, cuya ecuación se da debajo:

$$d_{ec} = \frac{(F-F_0) L_L}{E.S} \dots\dots\dots (27)$$

Donde:

Fo : Carga inicial

$L_L$  : Longitud del estiramiento libre

$L_a$  : Longitud de la sección anclada

E : Módulo de elasticidad del material del elemento de resistencia a la tracción

S : Área de sección del miembro de resistencia a la tracción.

#### 2.4.6.10 Pruebas de calificación (comportamiento)

El "Gráfico de carga - desplazamiento total" de la Figura 20(a), tendrá el eje horizontal de fuerzas (F) que representa todos los ciclos de carga y descarga, el "gráfico de desplazamiento elástico y permanente de carga" de la Figura 20(b), el comportamiento de los desplazamientos elásticos y permanentes en función de la distribución de la carga (F vs  $d_e$  y F vs  $d_p$ ).

El gráfico tendrá las líneas como se describe a continuación:

- a) Línea a "o línea de límite superior, correspondiente al desplazamiento elástico de la cabeza del anclaje de longitud libre ( $L_L$ ) más la mitad del bulbo ( $L_b$ ), cuya ecuación está dada por:

$$d_{ea} = \frac{(F-F_0)(L_L + L_b/2)}{E.S} \dots\dots\dots(28)$$

- b) Línea "b" o límite inferior, correspondiente al desplazamiento de la cabeza del anclaje con una longitud libre ( $L_L$ ) disminuido en un 20%, cuya ecuación se proporciona a continuación, con un RS desviado inicial, donde los puntos R y S se definen por coordenadas:

$$d_{eb} = \frac{0.8(F-F_0)L_L}{E.S} \dots\dots\dots(29)$$

- c) Línea "c" o comportamiento teórico, corresponde entre el desplazamiento de la cabeza a una barra de acoplamiento con la longitud libre ( $L_i$ ) igual al diseño, cuya ecuación se da a seguir:

$$d_{ec} = \frac{(F-F_0)L_L}{E.S} \dots\dots\dots(30)$$

- d) Línea "RS" con las siguientes coordenadas:

Punto R:	$d = 0$	$F = F_0 + 0.15F_{lim}$
Punto S:	$d = (0.6F_{lim})L_L / E.S$	$F = F_0 + 0.75F_{lim}$

Donde:

$F_{lim}$  : Carga de prueba máxima

$F_0$  : Carga inicial

$L_L$  : Longitud de estiramiento libre

$L_b$  : Longitud del bulbo.

E : Módulo de elasticidad del material del elemento resistente a la tracción

S : Área de la sección del elemento resistente a la tracción.

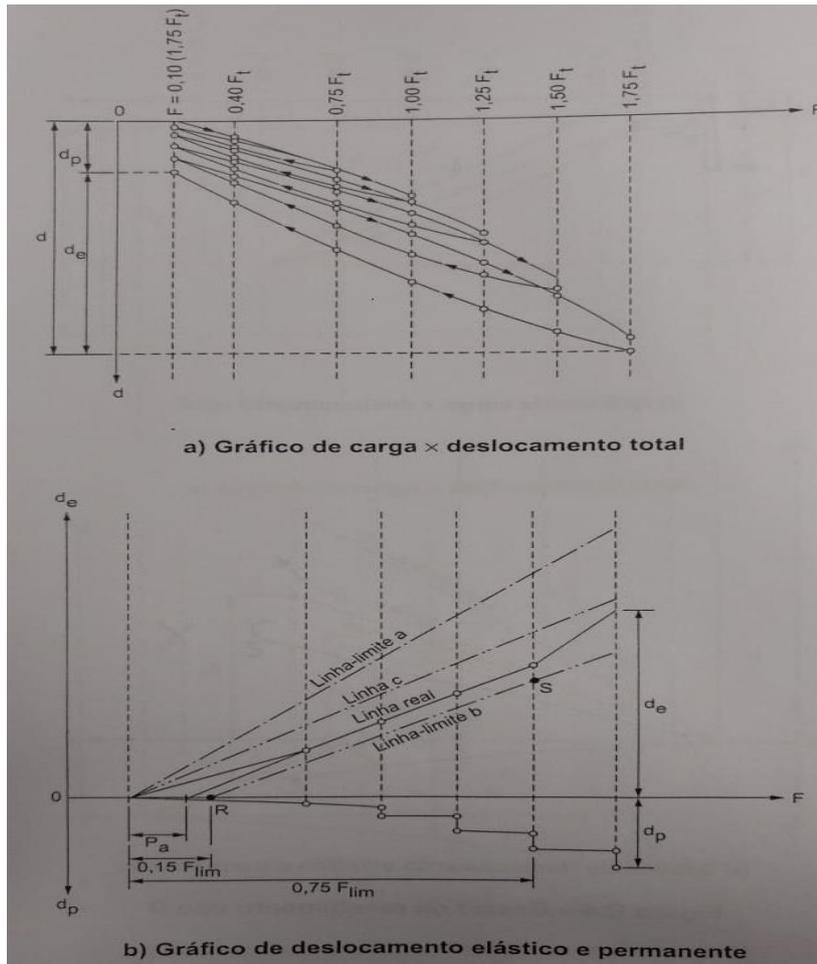


Figura 20. Curvas del ensayo de calificación

Fuente: Norma Brasileira ABNT-NBR-5629 (2006, p.82)

#### 2.4.6.11 Prueba de recepción (rendimiento)

La prueba de recepción (rendimiento) debe interpretarse con respecto a la estabilización de la cabeza y la fricción a lo largo del recorrido libre.

- Los desplazamientos de la cabeza se estabilizan con la aplicación de la carga de prueba máxima prevista.
- El desplazamiento máximo de la cabeza, representada en los gráficos de la Figura 20 (b), está entre las líneas "a y b" de estos gráficos.

Cuando la barra de acoplamiento no resiste la carga máxima, se debe consultar al diseñador quién, entre otros, puede adoptar las siguientes soluciones:

- Aceptar la barra de acoplamiento con una carga igual o menor a la carga estabilizada obtenida en la prueba, dividido por el factor

- b) Indique la ejecución de otro tirante para complementar la carga requerida para cumplir con el proyecto;
- c) Solicite la reinyección en caso de tirantes reinyectables y repita la prueba de recepción (rendimiento)

Cuando el tirante no está entre las líneas "a" y "b" del gráfico, consulte al diseñador que, entre otros, puede adoptar las siguientes soluciones:

- a) Indique la ejecución de los ciclos de carga y descarga para "aflojar" el estiramiento libre y repita la prueba.
- b) Reevalúe el diseño para verificar si el tirante puede ser aprovechado.
- c) Acepte la barra de carga inferior.

#### 2.4.7 Ensayos para anclajes según Norma Americana - FHWA

##### 2.4.7.1 Pruebas de rendimiento

- Las pruebas de rendimiento implican la carga y descarga incremental de un ancla de producción. La prueba de rendimiento se utiliza para verificar la capacidad del ancla, establecer el comportamiento de deformación de la carga, identificar las causas del movimiento del ancla y verificar que la longitud real no ligada sea igual o mayor que la asumida en el diseño del ancla. Los resultados de una prueba de rendimiento también pueden usarse para ayudar en la interpretación de la prueba de prueba más simple.
- Las pruebas de rendimiento se realizan comúnmente en los primeros dos o tres anclajes de producción instalados y, posteriormente, en un mínimo del dos por ciento de los anclajes de producción restantes. Es posible que se requieran pruebas de rendimiento adicionales cuando se sospeche la presencia de suelos susceptibles a la fluencia o cuando se encuentren condiciones de suelo variables. Cuando las condiciones del terreno son variables, los anclajes de prueba de rendimiento deben ubicarse cerca de perforaciones geotécnicas, si es posible, para facilitar la interpretación de las mediciones de prueba.

#### 2.4.7.2 Procedimientos para la prueba de rendimiento.

El cronograma de carga para una prueba de desempeño se muestra en las primeras tres columnas de la Tabla 5. El primer paso en una prueba de desempeño comprende aplicar una carga nominal al tendón de anclaje. Esta carga, denominada carga de alineación, generalmente no es más del cinco por ciento de la carga de diseño y su propósito es garantizar que el equipo de prueba y tensión esté correctamente alineado. El equipo de medición de desplazamiento se pone a cero al estabilizar la carga de alineación, AL. Durante el primer ciclo de carga, la carga se eleva al 25 por ciento de la carga de diseño y se registra el movimiento incremental (es decir, el punto 1, ver Figura 21). La carga se reduce nuevamente a la carga de alineación. Este procedimiento se repite, utilizando incrementos de carga como se muestra en la Tabla 5, hasta que se alcanza la carga de prueba máxima, denominada carga de prueba. La carga de prueba puede variar de 120 a 150 por ciento de la carga de diseño, con 133 por ciento de uso común para aplicaciones permanentes y 120 por ciento de uso común para aplicaciones temporales. Se puede usar una carga de prueba del 150 por ciento para anclajes en suelos potencialmente rastreros o cuando no se puede establecer una referencia independiente para el indicador de cuadrante.

Tabla 5. Pasos para la prueba de rendimiento (Continuación)

Paso	Cargando	Carga aplicada	Grabar y trazar movimiento total ( $\delta ti$ )	Grabar y trazar movimiento residual ( $\delta ri$ )	Cálculo del movimiento elástico ( $\delta ei$ )
1	Aplicar carga de alineación	(AL)			
		0.25DL	$\delta t1$		$\delta t1 - \delta r1 = \delta e1$
2	Ciclo 1	AL		$\delta t1$	
		0.25DL	$\delta 2$		$\delta t2 - \delta r2 = \delta e2$
3	Ciclo 2	0.50DL	$\delta t2$		
		AL		$\delta t2$	
		0.25DL	$\delta 3$		$\delta t3 - \delta r3 = \delta e3$
4	Ciclo 3	0.50DL	$\delta 3$		
		0.75DL	$\delta t3$		
		AL		$\delta t3$	

Fuente: Departamento of Transportation Federal Highway Administration (1999, p.124)

Tabla 5. Pasos para la prueba de rendimiento

Paso	Cargando	Carga aplicada	Grabar y trazar movimiento total ( $\delta ti$ )	Grabar y trazar movimiento residual ( $\delta ri$ )	Cálculo del movimiento elástico $\delta(ei)$
5	Ciclo 4	0.25DL	$\delta 4$		$\delta t4 - \delta r4 = \delta e4$
		0.50DL	$\delta 4$		
		0.75DL	$\delta 4$		
		1.00DL	$\delta t4$		
		AL		$\delta t4$	
6	Ciclo 5	0.25DL	$\delta 5$		$\delta t5 - \delta r5 = \delta e5$
		0.50DL	$\delta 5$		
		0.75DL	$\delta 5$		
		1.00DL	$\delta 5$		
		1.2DL	$\delta t5$		
		AL		$\delta t5$	
7	Ciclo 6	0.25DL	$\delta 6$		
		0.50DL	$\delta 6$		
		0.75DL	$\delta 6$		
		1.00DL	$\delta 6$		
		1.2DL	$\delta 6$		
		1.33DL	$\delta 6$		
8	Mantenga la carga durante 10 minutos mientras graba el movimiento a horas específicas. Si el movimiento total medido durante la retención de carga excede el valor máximo especificado, entonces la retención de carga debe extenderse a un total de 60 minutos.				
9	Ciclo 6 cont.	AL		$\delta r6$	Ciclo 6: $\delta tn - \delta r6 = \delta e6$
10	Ajuste a la carga de bloqueo si los resultados de la prueba satisfacen los criterios de aceptación; de lo contrario, consulte la sección 7.4.5.4				
Notas: AL = Carga de alineación, DL = Carga de diseño, $\delta i$ = movimiento total en una carga distinta del máximo para el ciclo, i = número que identifica un ciclo de carga específico.					

Fuente: Departamento of Transportation Federal Highway Administration (1999, p.124)

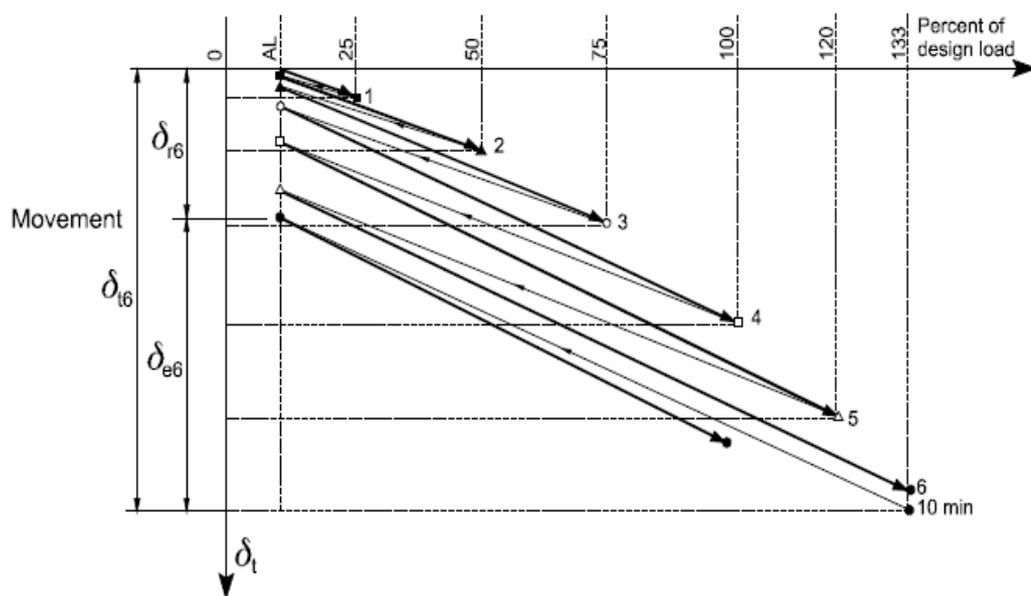


Figura 21. Trazado de datos de pruebas de rendimiento (después de PTI, 1996).

Fuente: Departamento of Transportation Federal Highway Administration (1999, p.134)

En la carga de prueba, se mantiene una carga constante durante diez minutos antes de reducir la carga a la carga de bloqueo. Durante este período de retención de carga de diez minutos, los movimientos se miden y registran en 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 10 minutos.

El propósito de esta retención de carga es medir los movimientos del ancla dependientes del tiempo (es decir, de arrastre). Esta parte de la prueba de rendimiento se conoce como prueba de fluencia. Si el movimiento total entre 1 y 10 minutos excede el movimiento de arrastre máximo especificado, la carga de prueba se mantiene durante 50 minutos adicionales y el movimiento total se registra a los 20, 30, 40, 50 y 60 minutos.

Si los resultados de una prueba de fluencia para un ancla específica indican que la fluencia. Los movimientos son excesivos en relación con los criterios especificados, el anclaje puede incorporarse a la estructura con una carga reducida, el anclaje puede reemplazarse o, solo en el caso de los anclajes posgrupables, el anclaje puede reagruparse y luego volver a probarse.

#### 2.4.7.3 Registro de datos de prueba de rendimiento.

La magnitud de cada carga se determina a partir del manómetro de presión del gato. Durante la prueba de fluencia, se controla una celda de carga para garantizar

que la carga del gato permanezca constante. Los datos de deformación de carga obtenidos para cada incremento de carga en una prueba de rendimiento se trazan como se muestra en la Figura 22.

El movimiento se registra en cada incremento de carga y para la carga de alineación. El movimiento total (t) que se mide consiste en movimiento elástico y movimiento residual. Los criterios de aceptación para los anclajes requieren que se conozca el movimiento elástico del ancla. Los movimientos elásticos (e) resultan del alargamiento del tendón y los movimientos elásticos del anclaje del suelo a través del suelo. El movimiento residual (r) incluye el alargamiento de la lechada del ancla y el movimiento de toda el ancla a través del terreno. El movimiento residual para un incremento de carga dado es el movimiento que corresponde al movimiento neto "irrecuperable" que ocurre tras la aplicación de un incremento de carga y la relajación posterior de la carga a la carga de alineación.

Por lo tanto, el movimiento elástico es la diferencia aritmética entre el movimiento total medido en la carga máxima para un ciclo y el movimiento medido en la carga de alineación (ver Tabla 5). Aunque no se utiliza para la aceptación del ancla, el movimiento residual es un indicador del comportamiento de tensión-deformación de la unión de la lechada de tierra en la zona de unión del ancla.

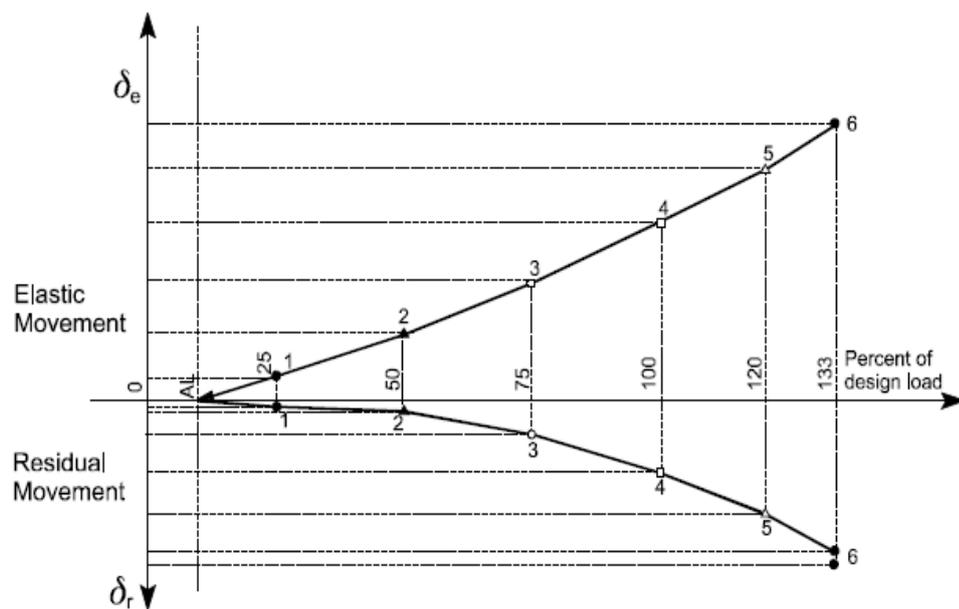


Figura 22. Trazado de movimiento elástico y residual, prueba de rendimiento

Fuente: Departamento of Transportation Federal Highway Administration (1999, p.135)

Durante la parte de la prueba de fluencia de la prueba de rendimiento, se registra el movimiento medido en momentos específicos (es decir, 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 10 minutos). El tiempo en el que se mide el movimiento total para la carga de prueba (es decir, el tiempo en el que se mide el punto 6 en la figura 27, representa el tiempo de inicio de la prueba de fluencia.

El movimiento de uno a diez minutos después de este tiempo de inicio se registra y se compara con los criterios de aceptación con respecto a la fluencia. Si no se cumple el criterio de aceptabilidad de la fluencia, la carga de prueba se mantiene en el ancla durante 50 minutos adicionales.

Se registran 6 y 60 minutos y se comparan con los criterios especificados. Se establecieron criterios de aceptabilidad de fluencia para los anclajes que utilizan hebras de pretensado desnudas. Para los tendones de filamento rellenos con recubrimiento epoxídico, los movimientos de arrastre del filamento en sí son significativos durante las pruebas de carga. Los movimientos de arrastre de la cadena deben deducirse del movimiento total medido durante una prueba de carga para que los movimientos de arrastre dentro del suelo puedan calcularse con precisión.

#### 2.4.7.4 Análisis de datos de prueba de rendimiento.

Uno de los criterios de aceptabilidad para los anclajes al suelo se basa en los movimientos elásticos medidos del anclaje al suelo durante las pruebas de carga. Los movimientos elásticos calculados a partir de un incremento de carga durante una prueba de rendimiento se evalúan utilizando las ecuaciones que se muestran en la Tabla 5. Estos movimientos elásticos deben calcularse para cada ciclo de carga y representarse frente a cada carga como se muestra en la Figura 22.

La curva de movimiento residual también debe ser tramado Para que un ancla de suelo se considere aceptable con respecto a los movimientos elásticos, el movimiento elástico en la carga de prueba debe exceder un valor mínimo especificado. Para un ancla de roca, el movimiento elástico debe estar limitado por un mínimo especificado y un valor máximo especificado.

#### 2.4.7.5 Criterios de aceptación.

Un anclaje puede ponerse en servicio en la carga de bloqueo después de la prueba de carga si se cumplen los criterios de aceptabilidad. Estos criterios, que se

describen en este documento, prescriben aceptables límites de fluencia (es decir, movimiento durante retenciones de carga) y movimiento elástico medido durante la prueba de carga. Los criterios de fluencia y movimiento elástico se han integrado en una decisión de aceptación. Este árbol de decisiones describe los procedimientos que se utilizarán en eventos de que no se cumple un criterio específico.

#### 2.4.7.6 Arrastramiento.

- Se realizan pruebas de fluencia, ya sea como parte de una prueba de rendimiento o como una prueba de fluencia extendida.
- En cada ancla de producción para evaluar el movimiento de arrastre del cuerpo de la lechada de anclaje a través del suelo.
- Para que se acepte un ancla, los movimientos totales medidos durante la retención de carga deben estar por debajo de límite especificado
- Para las pruebas de rendimiento y prueba, el movimiento total medido para la retención de carga requerida en la prueba la carga no debe exceder 1 mm entre 1 y 10 minutos. Si los movimientos son menores a 1 mm para este período, el ancla se considera aceptable con respecto a la fluencia.
- Para las pruebas de carga en las que el movimiento total medido excede los criterios descritos anteriormente, la carga es retenido por un período adicional de 50 minutos. Si el movimiento total medido sobre este adicional el período de tiempo no excede los 2 mm entre 6 y 60 minutos, entonces se considera el ancla aceptable con respecto a la fluencia.
- Para pruebas de fluencia prolongada, el movimiento total para cualquier retención de carga no debe exceder los 2 mm por ciclo logarítmico de tiempo (PTI, 1996) sobre el ciclo de registro final de tiempo de cada incremento de carga.
- Alternativamente, la carga de anclaje puede reducirse al 50 por ciento de la carga cuando la fluencia sea aceptable los movimientos se midieron durante el ciclo de registro final de tiempo.

#### 2.4.7.7 Longitud libre aparente.

La aparente longitud libre de un tendón forma la base para evaluar la aceptabilidad de un suelo. El anclaje con respecto al movimiento elástico. La longitud libre

aparente se define como la longitud del tendón, es decir, basado en movimientos elásticos medidos en la carga de prueba, no unido al entorno suelo o lechada. La longitud libre aparente,  $L_a$ , se puede calcular utilizando la siguiente ecuación:

$$L_a = \frac{A_t E_s \delta_e}{P} \times \frac{1}{10^9} \dots\dots\dots (31)$$

Para tendones de múltiples hilos largos, es probable que el módulo elástico del tendón de múltiples hilos sea menos que el módulo elástico del fabricante para un solo hilo. Debido a esto, PTI (1996) recomienda que se reduzca el módulo elástico reportado por los fabricantes del 3 al 5 por ciento permitido para satisfacer criterios de longitud libre aparente.

- Criterio de longitud libre aparente mínima:

Si la longitud libre aparente es mayor que la longitud libre aparente mínima especificada, se supone que la longitud no unida se ha desarrollado adecuadamente. La longitud libre aparente mínima es definida como la longitud del gato más el 80 por ciento de la longitud sin unir del diseño. Una longitud libre aparente menos de la longitud libre aparente mínima especificada puede indicar que la carga se está transfiriendo a lo largo de la longitud no unida y, por lo tanto, dentro de la superficie de deslizamiento potencial asumida para la estabilidad general del sistema anclado. Alternativamente, una longitud libre aparente menor que la aparente mínima especificada.

La longitud libre puede ser causada por fricción debido a una alineación incorrecta del equipo de tensión o tendón dentro del anclaje. Cuando los resultados de la prueba no satisfacen este criterio, el ancla puede estar sujeta a dos ciclos desde la carga de alineación hasta la carga de prueba en un intento de reducir la fricción a lo largo de la longitud no ligada.

La longitud libre aparente se vuelve a calcular en función del movimiento elástico en la carga de prueba para el ancla recargada. Un valor mayor que la longitud del gato más el 80 por ciento de la longitud sin unir del diseño se puede utilizar para definir la longitud libre aparente mínima especificada para los casos en el que la redistribución de la fricción a lo largo de la longitud no unida podría causar una

estructura estructural inaceptable movimiento o donde existe la posibilidad de que las cargas de pretensado se transfieran en uniones no unidas longitud por fricción del tendón.

- Criterio de longitud libre aparente máxima:

El criterio de aceptación basado en la longitud libre aparente máxima se utilizó en el pasado cuando la carga se supuso que la transferencia a lo largo de la longitud del enlace se propaga a una velocidad uniforme ya que la carga aplicada aumentado. Para esa suposición, el valor máximo de la longitud libre aparente fue restringido a movimientos elásticos del 100 por ciento de la longitud libre más el 50 por ciento de la longitud de la unión más la longitud del gato. Sin embargo, el concepto de distribución uniforme de enlace no es válido para el suelo.

Anclajes y solo se aproxima al comportamiento de la mayoría de los anclajes de roca. El uso principal de este criterio es como un criterio de aceptación alternativo para pruebas de prueba en *sound rock*, donde no se realizan pruebas de fluencia. Las anclas que no pasan este criterio preliminar son posteriormente sometidas a pruebas de fluencia para determinar aceptabilidad antes de que se tome la decisión de rechazar el ancla.

#### 2.4.7.8 Esquema de decisión de aceptación del anclaje de suelo.

PTI (1996), desarrolló un árbol de decisión de aceptación de ancla de tierra que se muestra en la Figura 23. El árbol de decisión no incluye el criterio de longitud libre aparente máxima ya que este criterio no es usado habitualmente. El propósito del árbol de decisiones es proporcionar recomendaciones sobre el campo.

Procedimientos que deben seguirse en caso de que un ancla no satisfaga la aceptación especificada:

- Los anclajes que no satisfacen los requisitos de bloqueo en la carga de bloqueo de diseño pueden ser bloqueado a una carga reducida o reemplazado.
- Si un ancla cumple con el criterio de longitud libre aparente mínima es la primera decisión a tomar hecho usando el árbol de decisión. El árbol de decisión de aceptación del ancla de tierra indica que, para un ancla para poner en servicio en la carga de bloqueo de diseño, el movimiento elástico (es decir, mínimo criterio de longitud libre aparente) debe cumplirse. Las siguientes

secciones proporcionan información de procedimientos recomendados que se utilizarán para un ancla que ha pasado la longitud libre aparente mínima criterio y para un ancla que ha fallado el criterio de longitud libre aparente mínima.

Anclas que pasan el criterio de longitud libre aparente:

- Para anclas que pasan el criterio de longitud libre aparente mínima, pero que no pasan el requisito de la prueba de fluencia, el ancla puede, si es posible, ser posgrupo. Esos anclajes que pueden ser posgrupo se volverá a probar y estará sujeto a una prueba de fluencia mejorada y a una prueba más estricta criterio de aceptación en comparación con las pruebas de fluencia y de fluencia prolongada.
- Para esta prueba de fluencia mejorada, Los movimientos se controlan durante una retención de carga en la carga de prueba durante 60 minutos. El ancla puede ser bloqueado en la carga de prueba de diseño si el movimiento total no excede 1 mm entre 1 y 60 minutos. Si el ancla no cumple con este criterio, puede ser rechazado y reemplazado o bloqueado apagado al 50 por ciento de la carga que sostiene el ancla sin movimiento detectable. Si el ancla no puede posgrupo, puede ser rechazado y reemplazado o bloqueado al 50 por ciento de la carga que el ancla se sostiene sin movimiento detectable.

Anclajes que fallan Criterio de longitud libre mínima aparente:

- Los anclajes que no cumplen el criterio de longitud libre aparente mínima pueden estar bloqueados con una carga sin más del 50 por ciento de la carga máxima alcanzada durante la prueba o rechazada y reemplazada.
- Los anclajes de reemplazo deben cumplir con todas las especificaciones del proyecto. Cambios en las ubicaciones de anclaje a tierra requieren aprobación del ingeniero de diseño.
- Se debe fabricar una nueva conexión. Las conexiones no pueden estar desviadas del centro de un soldado viga para un ancla permanente. Las conexiones descentradas inducirán flexiones adversas y torsionales tensión en la viga del soldado y tensiones de flexión en el tendón.

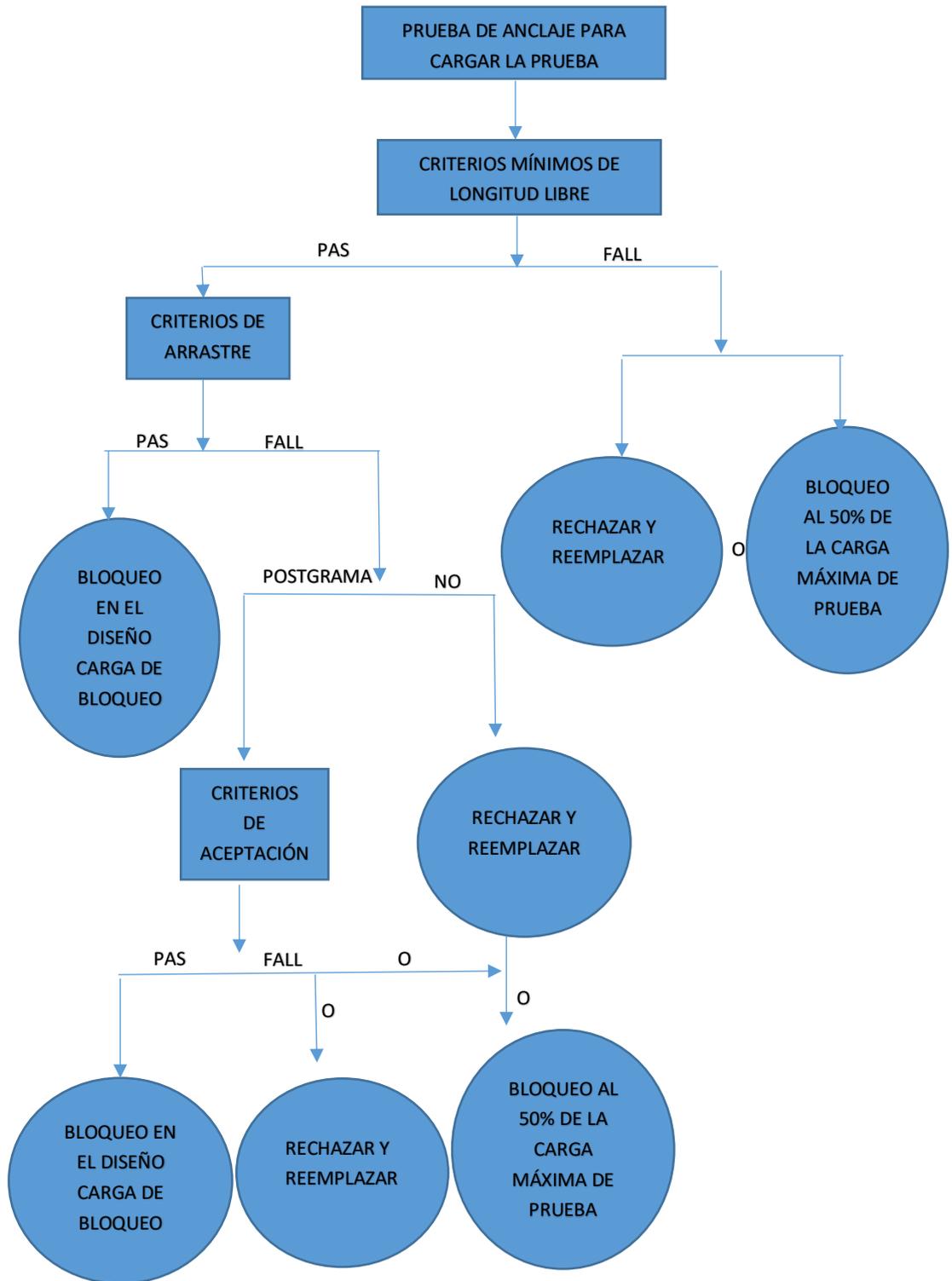


Figura 23. Árbol de decisión de aceptación del anclaje de suelo.  
 Fuente: Geotechnical Engineering Circular No.4 – FHWA-IF-99-015

#### 2.4.7.9 Carga de bloqueo de anclaje.

Después de que se complete la prueba de carga y se haya aceptado el ancla, la carga en el ancla se reducirá a una carga específica denominada carga de

"bloqueo". Cuando se alcanza la carga de bloqueo, la carga se transfiere desde el gato utilizado en la prueba de carga al anclaje. El anclaje transmite esta carga a la pared o estructura de soporte.

El diseñador selecciona la carga de bloqueo y generalmente oscila entre el 75 y el 100 por ciento de la carga de diseño del ancla, donde la carga de diseño del ancla se evalúa en función de las envolventes de presión de tierra aparente. Las cargas de bloqueo de aproximadamente el 75 por ciento de la carga de diseño se pueden usar para el soporte temporal de los sistemas de excavación donde se permiten movimientos de pared lateral relativamente grandes. Dado que los diagramas de presión aparente de la tierra dan como resultado cargas totales mayores que las cargas reales del suelo.

El porcentaje de la carga de diseño generalmente produce un movimiento neto hacia adentro de la pared. Es posible que se requieran cargas de bloqueo superiores al 100 por ciento de la carga de diseño para estabilizar un deslizamiento de tierra. Para este caso, los elementos estructurales deben dimensionarse para transmitir fuerzas de deslizamiento de tierra potencialmente grandes al suelo. Las cargas consistentes con la fuerza de restricción de deslizamiento requerida para obtener un factor de seguridad de estabilidad del pendiente objetivo se seleccionan para la carga de bloqueo.

Al transferir la carga de bloqueo al anclaje, la carga se reducirá inevitablemente debido a las pérdidas mecánicas asociadas con la transferencia física de la carga entre dos sistemas mecánicos (es decir, el gato y el anclaje). Estas pérdidas se denominan pérdidas de asiento y generalmente son del orden de 1,6 mm para los tendones de barra y 6,4 mm para los tendones de hebra desnuda (FHWA-DP-68-1R, 1988). En el caso de los tendones, las pérdidas de asiento se producen cuando el gato se retrae y las cuñas se introducen alrededor del tendón. Las cuñas deben asentarse a una carga no menor al 50 por ciento de la carga final para el tendón. Esto evitará el posible deslizamiento de hebras a través de las cuñas si aumenta la carga en el tendón por encima de la carga de bloqueo durante la vida útil. Para el hilo recubierto de epoxi, las cuñas deben morder a través del recubrimiento de epoxi; Esto da como resultado pérdidas de asientos adicionales.

Para tener en cuenta las pérdidas de asiento, después de cargar el tendón a la carga de bloqueo, el pistón del gato se extiende en una cantidad equivalente a la pérdida de asiento anticipada.

A largo plazo, la carga también se reducirá debido a la relajación en el acero de pretensado. Las pérdidas de carga a largo plazo pueden estimarse en un 4 por ciento para los tendones de cadena y en un 2 por ciento para los tendones de barra (FHWA-DP-68-1R, 1988).

La información específica sobre las pérdidas por relajación debe obtenerse del proveedor del tendón. Para tener en cuenta estas pérdidas de carga, la carga que se transfiere al anclaje puede aumentar por encima de la carga deseada en función de los resultados de una prueba de despegue. Después de las pérdidas, la carga transferida se reducirá presumiblemente a la carga deseada a largo plazo.

#### 2.4.8 Ensayos para anclajes según NTP-E050 de suelos y cimentaciones

a) Estos ensayos son:

- Ensayos de arrancamiento
- Ensayos de calidad o recibimiento
- Ensayos de capacidad o calificación.

b) La carga máxima para cualquier tipo de ensayo es:

$$P_e = P_{s\ Lim.} = 0.90 f_y A_s \dots\dots\dots(32)$$

Donde:

- $P_{s\ Lim.}$  : Carga límite del anclaje
- $f_y$  : Esfuerzo de fluencia del acero
- $A_s$  : Área del acero de refuerzo
- $P_e$  : Carga de trabajo del anclaje

c) El criterio de aceptación de un anclaje debe considerar que las deformaciones elásticas se encuentren dentro de los límites siguientes:

- Deformación mínima: 0.80 de la deformación teórica de la longitud libre.
- Deformación máxima: de formación teórica de la longitud libre, más la deformación elástica del 50% de la longitud del bulbo.

d) Si durante los ensayos las deformaciones permanentes sufren un aumento brusco, significa que llegamos a la carga límite. entonces, la carga de trabajo es:

$$P_w = \frac{P_{ult}}{FS_n} \dots\dots\dots (33)$$

$P_{ult}$  : Carga correspondiente al aumento brusco de las deformaciones permanentes

$FS_n$  : Factor de seguridad del anclaje postensado.

e) Para las mediciones requeridas durante los ensayos se cumple con lo siguiente:

- El manómetro del sistema para aplicación de carga gato-bomba debe tener un certificado de calibración con fecha no mayor a un año respecto a la fecha de ejecución del ensayo.
- Las deformaciones del anclaje se miden desde la carga inicial  $P_0$ , en relación con un punto de referencia fija en el extremo del anclaje, en la dirección de la carga aplicada, con un extensómetro con precisión de 0.01mm. La base de lectura es un elemento de referencia fijado en una zona segura fuera de la influencia de las deformaciones del terreno derivadas de las cargas aplicadas durante el ensayo o de cualquier otra fuente de perturbación.

2.4.8.1 Ensayos de Capacidad o Calificación.

Estos ensayos se realizan obligatoriamente al 2% de los anclajes por obra, por tipo de terreno, materiales constituyentes del anclaje, con un mínimo de dos ensayos por obra. Ver la aplicación en la Tabla 6.

Las cargas máximas para los ensayos de capacidad son las siguientes:

- Para anclajes permanentes:  $1.75 P_w$
- Para anclajes provisionales:  $1.50 P_w$

Tabla 6. Cargas a ser aplicadas en ensayos de capacidad o calificación

Tipo Anclaje	Estadios de Carga y Descarga						
	1	2	3	4	5	6	7
Permanente	$P_0$	$0.40 P_w$	$0.75 P_w$	$1.00 P_w$	$1.25 P_w$	$1.50 P_w$	$1.75 P_w$
Provisional	$P_0$	$0.40 P_w$	$0.75 P_w$	$1.00 P_w$	$1.25 P_w$	$1.50 P_w$	

Fuente: Norma E050 de Suelos y cimentaciones (2018)

La carga es mantenida en cada incremento sólo el tiempo suficiente para obtener las lecturas de los desplazamientos, pero no más de 1 minuto.

Antes de cada alivio de carga (descarga), los desplazamientos bajo carga constante, son observados y medidos hasta la estabilización, de acuerdo con los siguientes criterios:

- Para los estadios de carga inferiores o iguales a  $0.75 P_w$ , con desplazamientos menores que 0.1 mm, el tiempo de espera no debe ser menor a 5 minutos antes de pasar al siguiente estadio.
- Para los estadios de carga entre  $0.75 P_w$  y  $1.00 P_w$ , con desplazamientos menores que 0.1 mm.
- El tiempo de espera no debe ser menor a 15 minutos antes de pasar al siguiente estadio, en suelos granulares.
- El tiempo de espera no debe ser menor a 30 minutos antes de pasar al siguiente estadio, en suelos cohesivos o no granulares.
- Para las etapas de cargas superiores a  $1.00 P_w$  hasta  $P_e$ , con desplazamientos menores que 0.1 mm, el tiempo de espera no debe ser menor a 60 minutos antes de pasar al siguiente estadio, para cualquier tipo de suelo.

#### 2.4.8.2 Ensayos de Calidad o Recibimiento.

Estos ensayos son ejecutados en todos los anclajes donde no se hayan realizado ensayos de capacidad o calificación. Véase la aplicación en la Tabla 7.

Las cargas máximas para los ensayos de capacidad son las siguientes:

- Para anclajes permanentes:  $1.40 P_w$
- Para anclajes provisionales:  $1.20 P_w$

Tabla 7. Cargas a ser aplicadas en ensayos de calidad o recibimiento

Tipo Anclaje	Estadios de Carga y Descarga						
	1	2	3	4	5	6	7
Permanente	$P_0$	$0.30 P_w$	$0.60 P_w$	$0.80 P_w$	$1.00 P_w$	$1.20 P_w$	$1.40 P_w$
Provisional	$P_0$	$0.30 P_w$	$0.60 P_w$	$0.80 P_w$	$1.00 P_w$	$1.20 P_w$	

Fuente: Norma E050 de Suelos y cimentaciones (2018)

Un estadio de carga sólo puede ser aplicado después de la estabilización de la presión del manómetro del sistema de tensado. En la carga máxima, los

desplazamientos del anclaje deben ser inferiores a 1 mm en los siguientes tiempos de espera:

- No debe ser menor a 5 minutos antes de pasar al siguiente estadio, en suelos granulares.
- No debe ser menor a 10 minutos antes de pasar al siguiente estadio, en suelos cohesivos o no granulares.

#### 2.4.8.3 Ensayos de arrancamiento

Estos ensayos se realizan con fines de determinar la capacidad de adherencia última en el contacto suelo – material cementante, en el bulbo del anclaje. El objetivo es causar la falla en la interacción suelo – material cementante, acero – material cementante u otros componentes del anclaje. La necesidad y cantidad de estos ensayos es definida por el PRS, con un mínimo de tres. Estos ensayos siguen los principios descritos en los ciclos de carga y descarga hasta la rotura o falla del bulbo.

Los Ensayos de Anclajes, considerar: Referencia: ABNT (1996), “*Execução de Tirantes Acorados no Terreno*” NBR 5629/1996. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, agosto 1996.

A continuación, se muestra la curva de Carga vs. Deformación y Carga – Elástica – Residual de los ensayos de calificación y recibimiento, así como el análisis del criterio de aceptación para anclajes temporales, véase Figura 24 y 25.

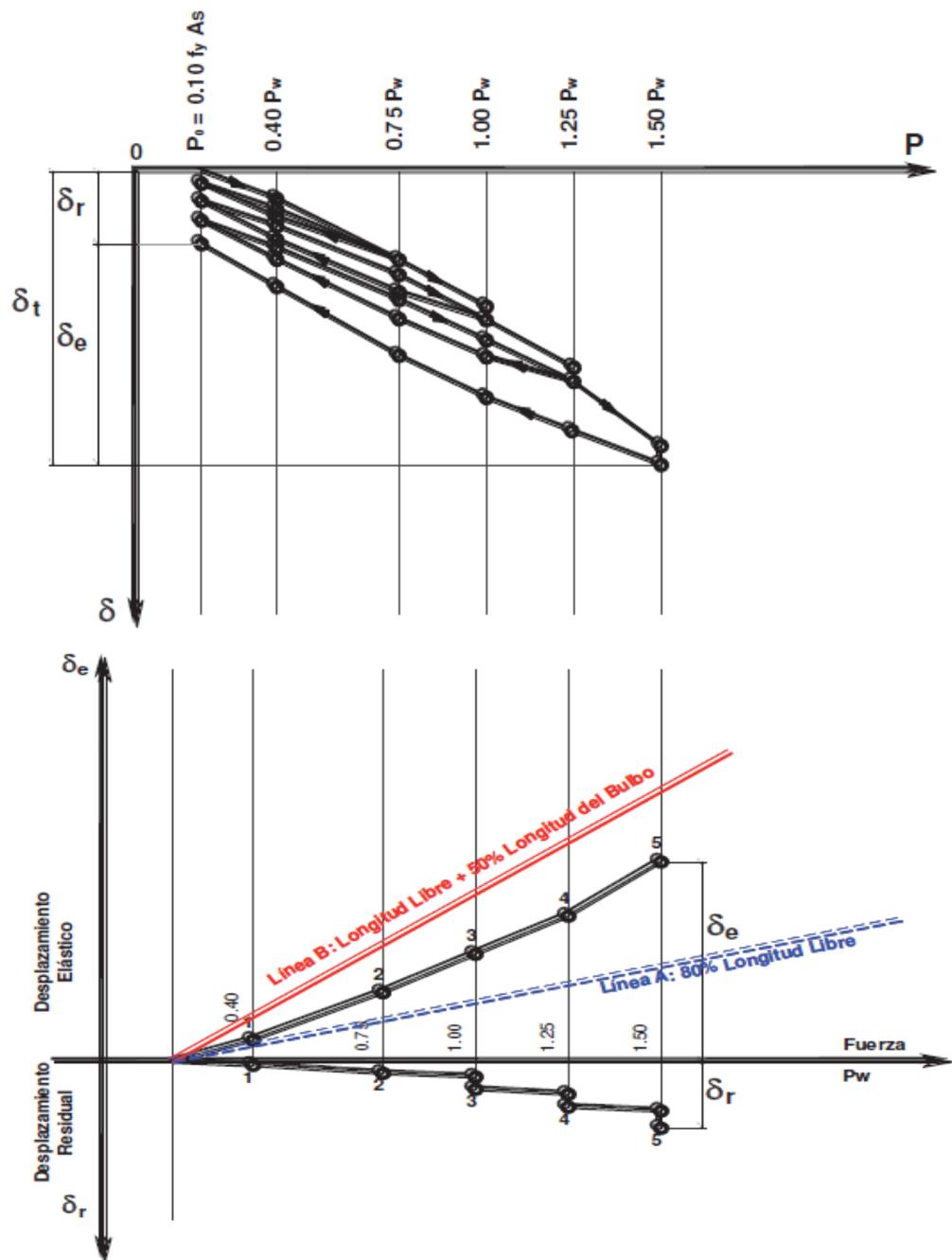


Figura 24. Curva de Ensayo de Calificación para anclajes temporales  
 Fuente: NTP E050 de Suelos y cimentaciones (2018, p.59)

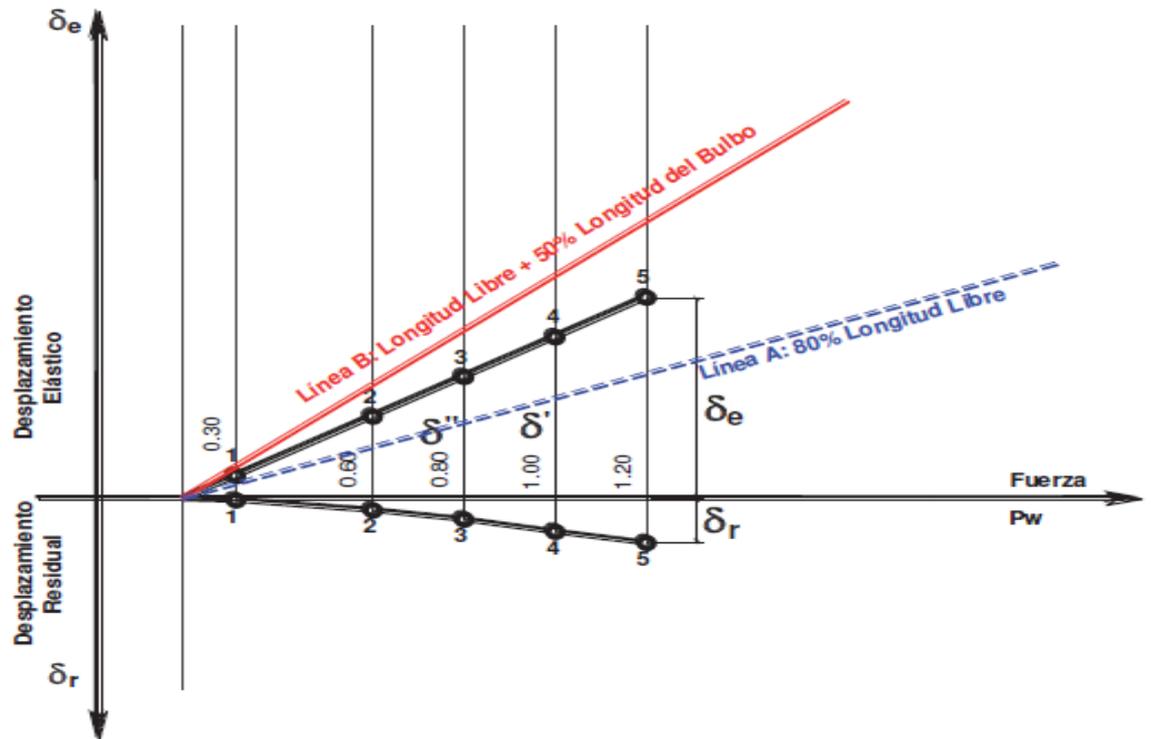
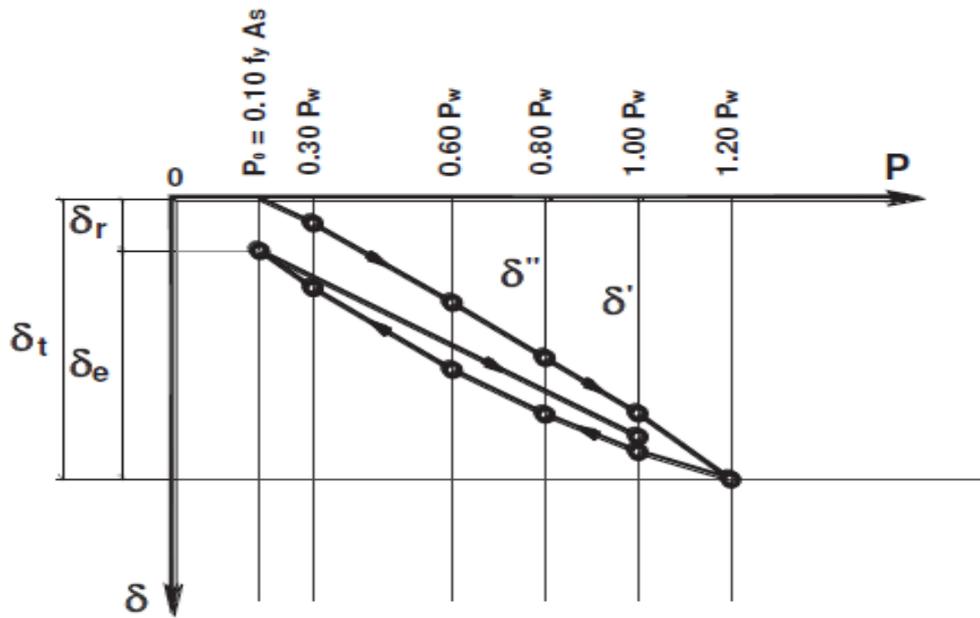


Figura 25. Curva de Ensayo de Recibimiento para anclajes temporales  
 Fuente: NTP E050 de Suelos y cimentaciones (2018, p.60)

## 2.5 Formulación de Hipótesis.

### 2.5.1 Hipótesis general.

La aplicación del ensayo de capacidad permitirá verificar los anclajes postensados en el edificio Hotel Ibis san isidro -Lima- Perú.

### 2.5.2 Hipótesis específicas.

- a) El ensayo de mecánica de suelos permitirá identificar los parámetros que influyen en el ensayo de capacidad.
- b) La aplicación del ensayo de capacidad en el edificio Hotel Ibis san isidro - Lima- Perú permitirá implementar un procedimiento según la norma E050 de suelos y cimentaciones.
- d) El análisis y comparación de las curvas de deformación teóricas y reales del anclaje ensayado permitirá interpretar los resultados del ensayo de capacidad en los anclajes postensados ejecutado en el edificio Hotel Ibis-San Isidro-Lima-Perú.

### 2.5.3 Variables.

#### 2.5.3.1 Definición Conceptual de las Variables.

- Variables Dependiente: Verificación de anclajes postensados
- Variable Independiente: Aplicación del ensayo de capacidad

#### 2.5.3.2 Operacionalización de las Variables.

En la siguiente tabla se puede apreciar la operacionalización de las variables para la presente investigación, identificamos las variables dependientes e independientes donde hemos identificado, las dimensiones, indicadores y unidades. Ver Tabla 8.

Tabla 8. Operacionalización de las variables

Variables	Dimensiones	Indicadores	Unidad
(V.I) Aplicación del ensayo de capacidad	- Carga de servicio	-Resistencia del anclaje	KN
	- Estadios de carga	- Aplicación porcentual de la carga de servicio	%
	-Curva carga-deformación	-Deformaciones respecto a carga y descarga	mm
	-Capacidad de carga del torón	-Resistencia a la tensión	Ton
(V.D) Verificación de anclajes postensados	-Tipo de suelo	-Cohesión, ángulo de fricción	Kg/cm <sup>2</sup> , grados
	-Tipo de anclaje	-Duración	-temporal
	-Duración de la aplicación de carga y descarga	-Tiempo	-min
	-Dimensiones mínimas del bulbo	-Longitud	-mm

Fuente: Elaboración propia (2019)

## CAPÍTULO III: DISEÑO METODOLÓGICO

### 3.1 Tipo y nivel.

#### - Tipo:

La presente investigación es de tipo Aplicada, debido a que los alcances son prácticos, y se sustentan a través de normas, leyes, manuales, software y de instrumentos técnicos para la recopilación de información. Así también por que las conclusiones finales de nuestro trabajo tienen un sustento empírico y cuantitativo.

#### - Nivel:

Esta investigación es de nivel descriptivo, por que buscamos las características y parámetros más importantes del ensayo de capacidad, para posteriormente describir los resultados.

### 3.2 Diseño de investigación.

Esta investigación seguirá un diseño cuasi experimental – transversal descriptivo, cuasi experimental porque no existe una selección aleatoria de la muestra, y transversal por que describe las variables y analiza su incidencia en un momento dado. Se realizará una recolección de datos en campo mediante técnicas como la medición, uso de magnitudes, observación, entre otros, para su posterior análisis. Esta recolección de datos se basa en protocolos de ensayos de los anclajes postensados para medir desplazamientos de los anclajes tensados en el muro pantalla, además del uso de la observación que nos permitirá comparar la data registrada con modelos matemáticos.

Asimismo, será de nivel descriptiva, puesto que en un inicio se describirá la metodología del muro anclado, así como su procedimiento constructivo, sus ventajas y desventajas. Por otro lado, se describirá los ensayos de verificación de los anclajes, el ensayo de capacidad y el registro de datos de campo para su posterior análisis e interpretación correspondiente. También podemos catalogarla de nivel explicativa, ya que no solo describirá cómo se aplica el ensayo de capacidad que verifica el correcto funcionamiento del anclaje, sino que se analizará las causas que generan esos desplazamientos y en qué condiciones se dan, tomando en cuenta el diseño y el procedimiento constructivo adoptado para un proyecto en el Conglomerado de Lima.

### 3.3 Población y muestra.

- Población: Para la presente investigación, la población está limitado al edificio Hotel Ibis ubicado en San isidro -Lima- Perú.
- Muestra: La muestra son dos anclajes ejecutados en el Edificio Hotel Ibis, ubicado en el distrito de San Isidro, Lima. El tamaño de la muestra se obtiene en base al criterio de la N.T.P. E050 de suelos y cimentaciones para el ensayo de capacidad o calificación que dice; se realizan obligatoriamente al 2% de los anclajes, con un mínimo de dos ensayos por obra.

### 3.4 Técnicas de recolección de datos.

#### 3.4.1 Tipos de técnicas e instrumentos.

En cuanto a las técnicas de investigación se aplica la técnica de observación experimental, de la ejecución del ensayo de capacidad, obteniendo datos cuantitativos. Según la investigación el instrumento lo conformará Fichas de Recolección de Datos, curvas de; “cargas vs deformación”, “Elástico vs Residual”.

#### 3.4.2 Criterio de Validez y confiabilidad de los instrumentos.

Se utilizará la información brindada por la oficina técnica de la empresa Geofundaciones del Perú, del proyecto de edificación Hotel Ibis, ubicado en la urbanización Santa Ana de San Isidro, provincia y departamento de Lima, además de utilizar información de las Normas; E050 de suelos y cimentaciones, UNE 1537 – Norma Española, ABNT NBR 5629 – Norma Brasileira, FHWA - *Geotechnical Engineering Circular No. 4*.

#### 3.4.3 Técnicas para el procesamiento y análisis de datos.

El procesamiento de datos y elaboración de las curvas se apoya en las hojas de cálculo del software Microsoft Excel, para el análisis de muro anclado se utiliza el software GGU-Retain, que nos da como resultado la carga de servicio del anclaje, longitudes del anclaje. Los criterios de aplicación e interpretación del ensayo de capacidad según las normas internacionales, las curvas de carga vs deformación de la norma E050 de suelos y cimentaciones que nos ayuda a la comparación con las curvas de los resultados experimentales.

## CAPITULO IV: DESARROLLO DE INVESTIGACIÓN

### 4.1 Descripción del proyecto.

#### 4.1.1 Características del proyecto “Edificio Hotel Ibis”

El terreno está ubicado en la intersección de las calles Armando Blondet y Micaela Bastidas, en la urbanización Santa Ana de San Isidro, provincia y departamento de Lima. El terreno tiene una extensión de 1,041.65 m<sup>2</sup> y presenta una forma cuadrangular y tiene las siguientes medidas perimétricas:

- Línea recta de 51.40 m frente a la calle Armando Blondet.
- Línea recta de 22.16 m colindando con un edificio de oficinas de 3 pisos de altura.
- Línea recta de 52.40 m colindando con 2 viviendas de 3 pisos de altura y un edificio de oficinas de 5 pisos.
- Línea recta de 18.00 m frente a la calle Micaela Bastidas.

El terreno comprende 4 lotes donde existen viviendas de material noble de 2 a 3 pisos de altura, una de las cuales tiene semisótano, en las fotografías adjuntas se aprecian las características de las edificaciones que actualmente ocupan el terreno.

El edificio Hotel Ibis, contará con 9 pisos de altura, azotea y 3 sótanos, la estructura será aporticada de concreto armado, techos aligerados y tabiquería de ladrillos, y estará cimentado por medio de zapatas y cimientos corridos, que transmitirán al terreno cargas no mayores de 450 Ton y 80 Ton/ml, respectivamente.

#### 4.1.2 Localización y descripción de los ensayos

El programa de exploración de campo llevado a cabo comprendió tres calicatas excavadas en forma manual hasta profundidades comprendidas entre 11.00 y 15.00 m respecto a la superficie actual del terreno, denominadas C-1 a C-3.

En las calicatas se realizó un perfilaje minucioso, el cual incluyó el registro cuidadoso de las características de los suelos que conforman cada estrato del perfil del suelo, la clasificación visual de los materiales encontrados de acuerdo con los procedimientos del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos y la extracción de muestras representativas de los suelos típicos las cuales debidamente

protegidas e identificadas fueron remitidas al laboratorio para su verificación y análisis. En el Anexo 2, se muestra la ubicación de las calicatas efectuadas y en el Anexo 5, se presentan los perfiles de suelos respectivos.

- Ensayos de Laboratorio:

En el laboratorio se verificó la clasificación visual de las muestras obtenidas y se escogieron muestras representativas para ejecutar con ellas los siguientes ensayos:

- Análisis Granulométrico por Tamizado
- Límites de Atterberg
- Contenido de Humedad
- Clasificación Unificada SUCS
- Contenido de Sulfatos Solubles

Los ensayos de laboratorio fueron realizados de acuerdo con las normas N.T.P E050 de suelos y cimentaciones, con los resultados obtenidos se procedió a efectuar una comparación con las características de los suelos obtenidas en el campo y las compatibilizaciones correspondientes en los casos en que fue necesario para obtener los perfiles de suelos definitivos, que son los que se presentan.

#### 4.1.3 Descripción del estudio de mecánica de suelos

- Perfil del Suelo

En las tres calicatas se registraron capas superiores de relleno de 0.40 a 1.25 m de espesor, constituidas por arena fina, gravosa, arcillosa, medianamente densa, con restos de desmonte; y arcilla limosa, arenosa, gravosa, de plasticidad media, medianamente compacta.

Bajo las capas de relleno, subyace un depósito de grava arenosa, predominantemente mal graduada, con piedras y bolones redondeados de 10 pulgadas de tamaño máximo, cuya densidad relativa tiende a aumentar con la profundidad, encontrándose en estado medianamente denso hasta profundidades comprendidas entre 3.20 y 4.10 m, en estado medianamente denso a denso hasta

profundidades comprendidas entre 9.80 y 10.40 m, y en estado denso a muy denso hasta el límite de la profundidad investigada (15.00 m).

- Nivel Freático

En las calicatas no se detectó el nivel de la napa freática.

#### 4.1.4 Parámetros para diseño de las obras de sostenimiento.

Para el cálculo de los empujes de tierras sobre los muros enterrados de los sótanos y cisterna, se recomienda la utilización de los siguientes parámetros promedios representativos:

Donde:

- Ángulo de fricción interna  $\phi = 38^\circ$
- Cohesión  $c = 0.40 \text{ Kg/cm}^2$
- Coeficiente de empuje de tierras activo  $K_A = 0.24$
- Coeficiente de empuje de tierras en reposo  $K_O = 0.38$
- Coeficiente de empuje de tierras pasivo  $K_P = 4.20$
- Peso volumétrico del suelo  $\gamma = 2.10 \text{ Ton/m}^3$

#### 4.1.5 Taludes de corte y estructuras de sostenimiento temporal.

- Por las características del proyecto del edificio y disponibilidad de espacio será necesario efectuar cortes verticales del terreno para alcanzar el nivel de los sótanos proyectados, siendo necesario construir estructuras de sostenimiento temporal de las paredes de excavación, las cuales deberán diseñarse para ser capaces de soportar las cargas y empujes horizontales.
- Dado a la profundidad de excavación requerida, la importancia y tráfico de las calles Armando Blondet y Micaela Bastidas y la existencia de edificaciones colindantes, se recomienda construir pantallas ancladas en el frente de las calles y en los lados del perímetro donde la profundidad del sótano inferior proyectado sea menor que el nivel de cimentación de la edificación vecina.
- El diseño de los anclajes deberá efectuarse considerando las características del perfil del suelo registradas en este estudio, los parámetros de empujes de tierras indicados, las características de las edificaciones colindantes y considerando un factor de seguridad en los cálculos de estabilidad del talud soportado con la pantalla, de al menos 1.25 en condiciones estáticas y 1.15 con sismo.

- Previo a los trabajos de excavación y sostenimiento temporal de las paredes de excavación, se recomienda efectuar una inspección de las edificaciones vecinas; luego, durante los trabajos de movimiento de tierras y construcción de los sótanos, se recomienda efectuar una inspección periódica del comportamiento del terreno, de las estructuras adyacentes y de las obras de sostenimiento. Deberá reportarse cualquier anomalía observada (desmoronamiento, rajadura, hundimiento), para poder tomar a tiempo las medidas de correctivas de refuerzo.
- En los frentes del terreno de las calles Armando Blondet y Micaela Bastidas será recomendable dejar una franja libre de 3 m paralela al borde superior de la excavación. En esta franja deberá restringirse el tránsito de vehículos y la acumulación de materiales para evitar transmitirle cargas al talud de corte.
- La supervisión de la obra deberá verificar que se sigan los procedimientos indicados en los planos de las estructuras de sostenimiento temporal, prestando especial cuidado en la secuencia de excavaciones, vaciados de las pantallas, longitud de anclajes, tensado y destensado. Durante la excavación y construcción de los sótanos deberá controlarse el sistema de riego los jardines que se encuentren en los alrededores de la excavación, no deberán permitirse el riego por inundación.

## 4.2 Diseño de anclaje postensado.

### 4.2.1 Parámetros de diseño – Obra Hotel Ibis.

En base a la revisión de los antecedentes y a la inspección in situ del terreno en estudio, se considera para los respectivos diseños, los siguientes parámetros:

1° estrato:

- Ángulo de fricción interna:  $\Phi = 28^\circ$
- Cohesión:  $c = 05 \text{ (kN/m}^2\text{)}$
- Peso unitario:  $\gamma = 18 \text{ (kN/m}^2\text{)}$

2° estrato (grava de Lima):

- Ángulo de fricción interna:  $\Phi = 43^\circ$
- Cohesión:  $c = 20 \text{ (kN/m}^2\text{)}$
- Peso unitario:  $\gamma = 22 \text{ (kN/m}^2\text{)}$

3° estrato (grava de Lima):

- Ángulo de fricción interna:  $\Phi = 45^\circ$
- Cohesión:  $c = 26 \text{ (kN/m}^2\text{)}$
- Peso unitario:  $\gamma = 22 \text{ (kN/m}^2\text{)}$

- Nivel Freático:

Según los antecedentes, no existe la presencia de nivel freático.

- Consideraciones de sismo:

El coeficiente sísmico horizontal adoptado es 0.12g en calles, 0.15g en las edificaciones.

- Sobrecargas consideradas:

Las zonas donde existan calles se han tenido en consideración la sobre carga de 1 ton/m<sup>2</sup>, con respecto a las estructuras vecinas dependerá estrictamente de la cantidad de pisos y será proporcional a la sobrecarga indicada. Para la zona 01A se considera S/C = 15 kN/m ya que se encuentra en el límite con la calle Armando Blondet y para la zona. 02 se considera S/C = 30 kN/m ya que se tiene una casa vecina de 3 pisos en la zona.

#### 4.2.2 Modelamiento geotécnico usando el software GGU-Retain.

##### 4.2.2.1 GGU-Retain versión 8

El Software GGU-RETAIN realiza el análisis y diseño de muros anclados de concreto armado. Está basado esencialmente en las publicaciones alemanas "Recomendaciones del Grupo de Trabajo para Excavaciones" (EAB) y "Recomendaciones del Comité de estructuras portuarias" (EAU 2012). Una característica especial del programa, es la búsqueda automática de la redistribución de empujes sugerida en la EAB. El cálculo y diseño pueden ser realizados con factores globales de seguridad de acuerdo a la Norma DIN 1054 (Antigua) o factores parciales de seguridad de acuerdo a la nueva Norma DIN 1054.

#### 4.2.2.2 Procesamiento usando GGU-Retain.

Para nuestro análisis se realizó el modelamiento de la zona 01A donde se encuentra el anclaje 1.10, ver Figura 26. Y también se realizó el modelamiento de la zona. 02 de nuestro terreno donde se encuentra el anclaje 2.20, ver Figura 27.

- En primer lugar, ingresamos la geometría de la sección a modelar, sobrecargas, cargas puntuales, espesor del muro.
  - Ingresamos las propiedades del suelo: En cuanto a los estratos de suelo, se definió la cantidad a utilizar y se ingresó las siguientes características; peso específico, cohesión efectiva, ángulo de fricción efectiva y ángulo de fricción entre el muro y el suelo.
  - Se definió las características de los anclajes, como son: Nivel de ubicación, Ángulo de inclinación con respecto a la horizontal, Longitud libre, Longitud del bulbo Características del cable.
  - Luego seleccionamos el método y distribución de empujes: Para el cálculo de la profundidad de embebimiento, en la que se puede considerar un grado de empotramiento al pie del muro, siendo 1 para apoyo empotrado, 0 para apoyo libre, u otro valor entre estos límites para un grado de empotramiento parcial.
  - Después de ello se corre el programa, en el que nos proporciona el diagrama de empujes (pasivo y activo), profundidad de empotramiento, capacidad de trabajo y última del anclaje, factor de seguridad, diagrama de momentos, diagrama de cortantes y deformaciones.
- Para el Anclaje 1.10:

Los datos utilizados para el ensayo de capacidad proporcionado por el programa GGU Retain son:

- La carga de servicio del anclaje por unidad de longitud de muro:  
 $F_w = 60 \text{ KN/m}$ .
- La longitud del anclaje desde el eje del muro hasta el centro del bulbo:  
 $L_1 = 6 \text{ m}$ .

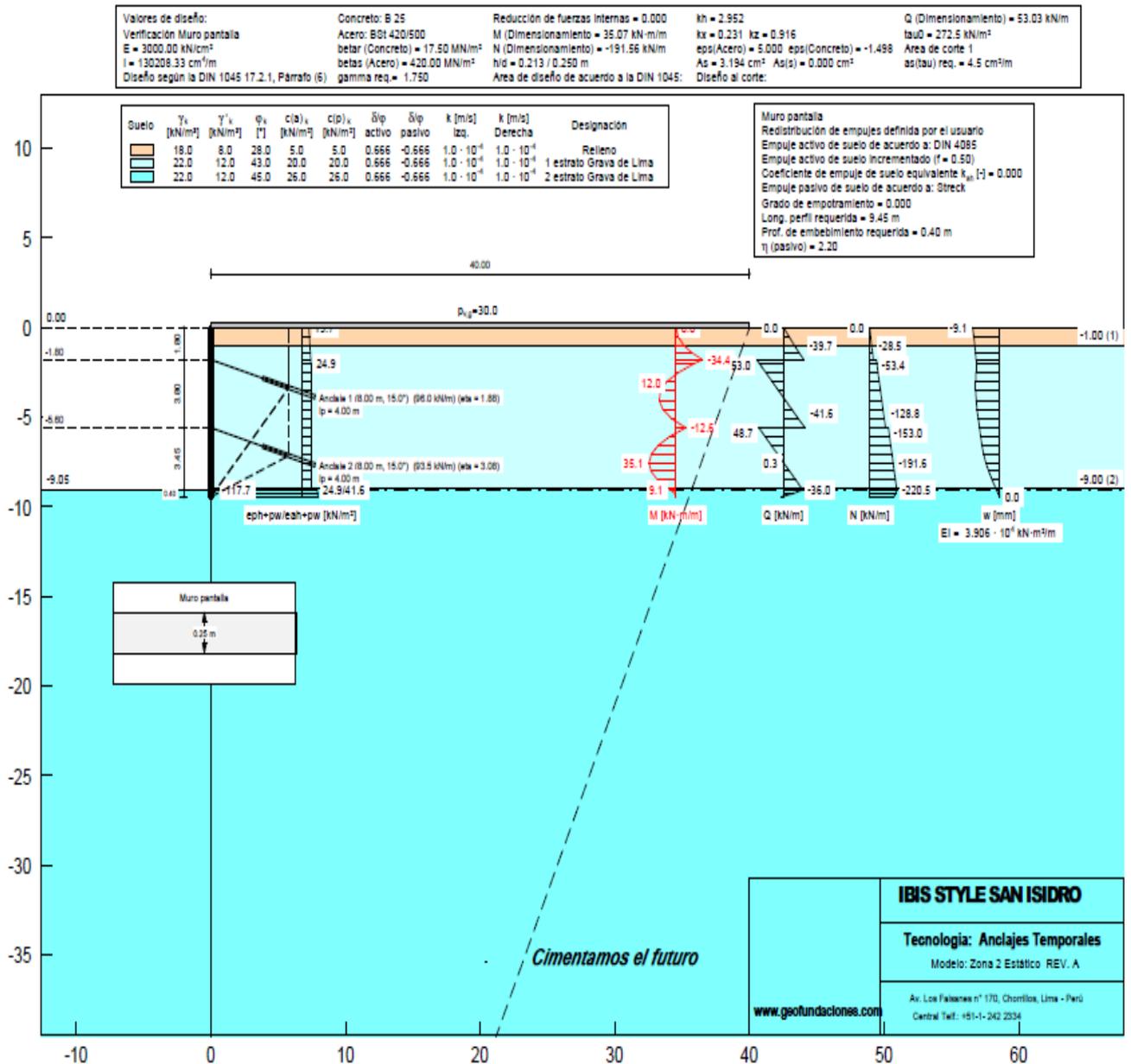


Figura 26. Modelamiento con GGU Retain - Zona 01 - Anclaje 1.10  
 Fuente: Elaboración propia (2019)

- Para el Anclaje 2.20:

Los datos utilizados para el ensayo de capacidad proporcionado por el programa GGU Retain son:

- La carga de servicio del anclaje por unidad de longitud de muro:  
 $F_w = 96 \text{ KN/m}$
- La longitud del anclaje desde el eje del muro hasta el centro del bulbo:  
 $L1 = 6 \text{ m.}$

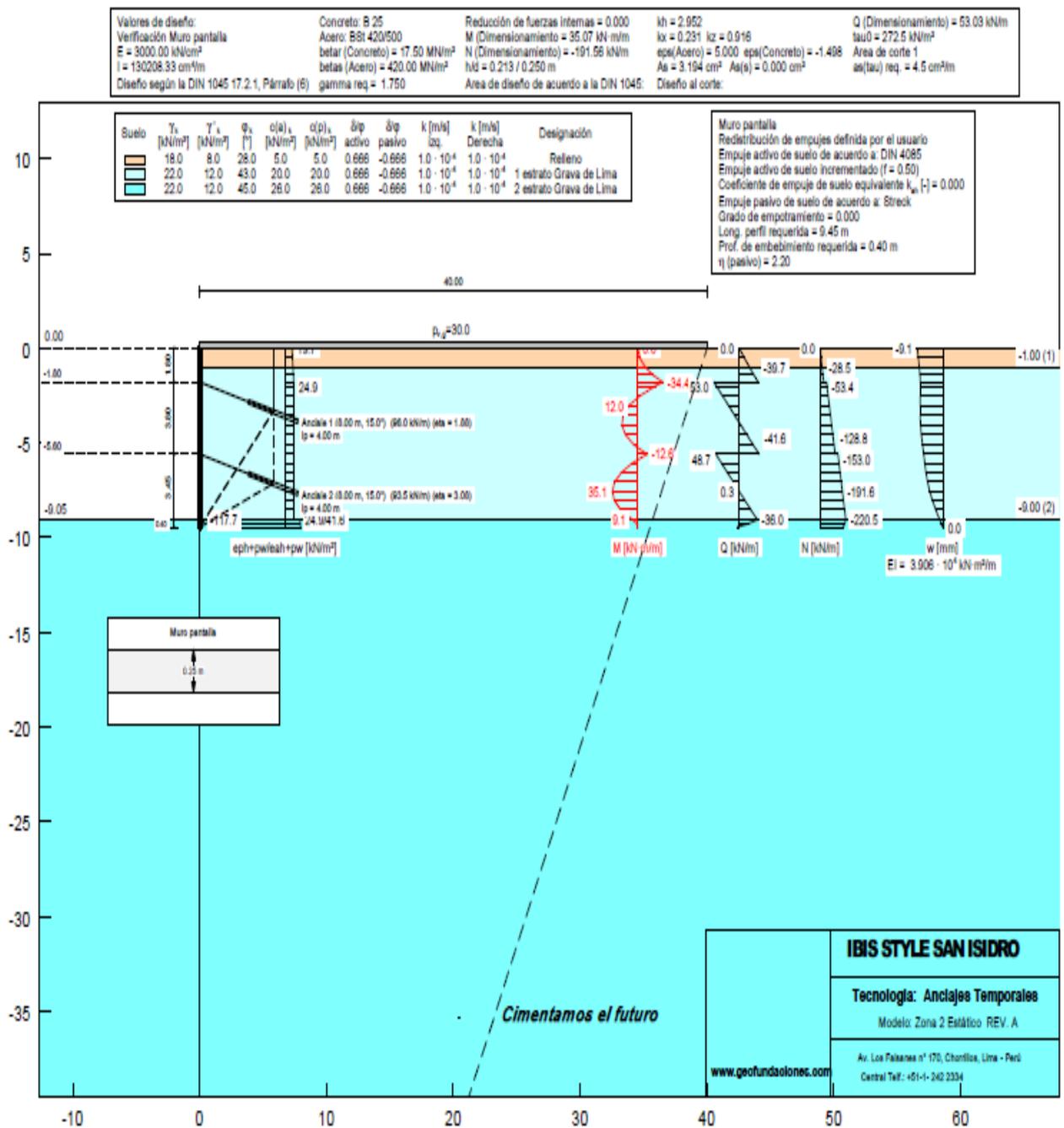


Figura 27. Modelamiento con GGU Retain - Zona 01 - Anclaje 2.20

Fuente: Elaboración propia (2019)

#### 4.2.3 Diseño de anclaje.

Se realizó el diseño del anclaje con los resultados de la modelación GGU Retain y el método de Bustamante.

#### 4.2.3.1 Para el Anclaje 1.10

A continuación de muestra los datos del anclaje 1.10. Véase Figura 28.

- Ubicación: Zona: 01A, Eje: 07, Nivel:
- Ángulo del anclaje:  $15^\circ$
- Carga de diseño: 40 toneladas.
- F. S = 1.5
- Torones: 03
- Longitud de Bulbo: 4.5 metros
- Longitud libre: 4.5 metros

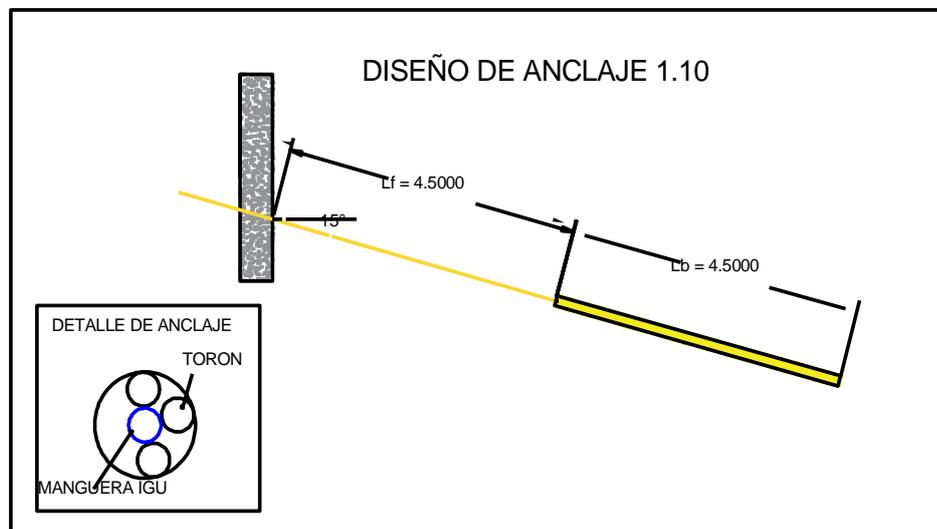


Figura 28. Esquema del diseño de anclaje 1.10

Fuente: Elaboración Propia (2019)

#### 4.2.3.2 Anclaje 2.20

A continuación de muestra los datos del anclaje 2.20. Véase Figura 29.

- Ubicación: Zona: 02, Eje: 01, Nivel: 2
- Ángulo del anclaje  $15^\circ$
- Carga de diseño: 50 toneladas.
- F. S = 1.5
- Torones: 04
- Longitud de Bulbo: 5.8 metros
- Longitud libre: 4.5 metros

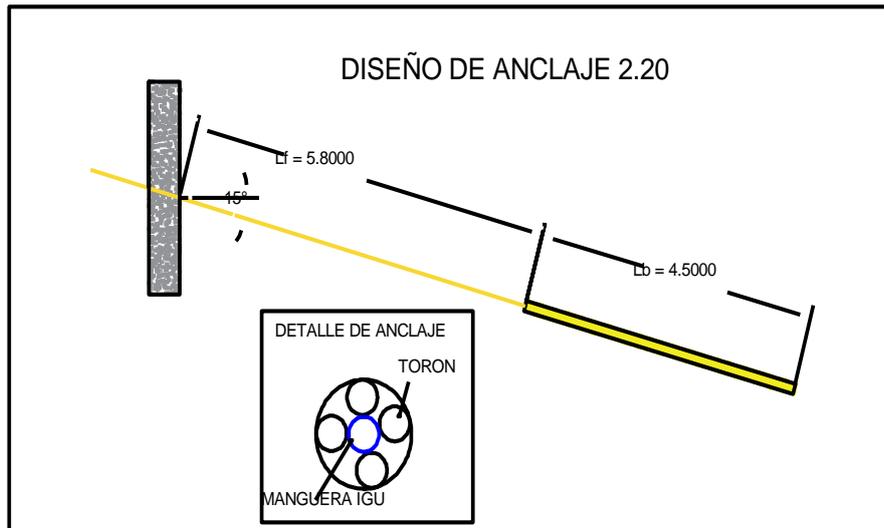


Figura 29. Esquema del diseño de anclaje 2.20

Fuente: Elaboración Propia (2019)

### 4.3 Aplicación del ensayo de capacidad en obra Hotel Ibis

#### 4.3.1 Personal técnico de tensado

- Operador del Equipo de Tensado: persona responsable del uso y funcionamiento correctos del equipo de tensado, supervisión de los trabajos, registro de los datos necesarios para los protocolos, conducción del personal directo que participa en las tareas de tensado, supervisión de las condiciones de seguridad de los trabajos.
- Conductor de vehículo. Es la persona responsable del vehículo que moviliza al equipo de tensado, también sirve de apoyo en los trabajos previos y en el proceso de tensado una vez que este estacionado el vehículo.
- Ayudante de Tensionamiento El ayudante es una persona que colabora con el operador antes y durante los trabajos de tensionamientos. Entre sus trabajos previos están la limpieza de los cables del anclaje y la superficie de apoyo de la estructura de contención. Se encarga de la colocación tanto de la placa como del cabezal del anclaje, utilizando las cuñas de sujeción antes de su fijación con el equipo de tensado, Véase Figura 30.



*Figura 30.* Personal calificado para el tensado del anclaje.

Fuente: Elaboración Propia (2019)

#### 4.3.2 Equipos de Protección Personal Básico (EPP):

- a) Casco de seguridad.
- b) Lentes de seguridad.
- c) Guantes de cuero.
- d) Zapatos dieléctricos con refuerzo en la punta del zapato.
- e) Uniforme (EPP)
- f) Orejeras tipo copa y/o tapones de seguridad.
- g) Barbiquejo.
- h) Arnés de cuerpo entero (para labores a más de 1.8m de altura), ver anexo 8

#### 4.3.2 Equipos y herramientas

El equipo de tensado de anclajes de cables está constituido por:

- a) Bomba Hidráulica.
- b) Gato Hidráulico.
- c) Plato Delantero (1), Posterior (2), Guarda para Cuñas (3):
- d) Mangueras hidráulicas.
- e) Cabezal de 5, 7, 9 y 12 huecos.
- f) Platina
- g) Cuñas fijas y Cuñas de arrastre, ver anexo 8.

#### 4.3.3 Ensayo de Capacidad Anclaje 1.10

- El día sábado 08 de junio del 2019 se realizó el primer ensayo de capacidad desarrollándose de acuerdo a los lineamientos de la norma E050. Para el inicio del ensayo se entregó documentos correspondientes a los equipos y del personal técnico al personal de supervisión y de calidad de la obra.
- El ensayo tuvo una duración de aproximadamente 3 horas con 35 minutos y durante el ensayo se verificó que el manómetro marcara la carga correspondiente y en el vernier se verificó los resultados de deformación.
- Se realizó el ensayo de capacidad con equipo técnico de la empresa Geofundaciones del Perú S.A.C.
- Se inició instalando los equipos para el ensayo, posicionando la gata hidráulica en el anclaje 1.10 como se observa en el la Figura 31.



*Figura 31.* Instalación de equipos para ensayo de capacidad

Fuente: Elaboración propia (2019)

- Configuramos el equipo de tensado de acuerdo a las características del anclaje 1.10 a ensayar y colocamos las cargas asignadas según el protocolo de campo, véase Figura 32.



*Figura 32. Medición de la deformación con Vernier*

Fuente: Elaboración propia (2019)

- Durante el ensayo se tomaron los datos correspondientes al ensayo y se procedió a elaborar la curva tomando los datos de carga y deformación del anclaje, ver Figura 33.



*Figura 33. Toma de datos y elaboración del protocolo de campo*

Fuente: Elaboración propia (2019)

#### 4.3.4 Ensayo de Capacidad Anclaje 2.20

- El día miércoles 12 de junio del 2019, se realizó el segundo ensayo de capacidad desarrollándose de acuerdo a los lineamientos de la norma E050. Para el inicio del ensayo se entregó documentos correspondientes de equipos y del personal técnico, al personal de supervisión y de calidad de la obra.

- El ensayo tuvo una duración de aproximadamente 4 horas con 10 minutos y durante el ensayo se verificó que el manómetro marcara la carga correspondiente y en el vernier se verificó los resultados de deformación.
- Se realizó el ensayo de capacidad con equipo técnico de la empresa Geofundaciones del Perú.
- Iniciamos instalando los equipos para el ensayo y posicionando la gata hidráulica en el anclaje 2.20 como se observa en el la Figura 34.



*Figura 34.* Instalación de equipos para ensayo de capacidad

Fuente: Elaboración propia (2019)

- Configuramos el equipo de tensado de acuerdo a las características del anclaje 2.20 y aplicamos las cargas asignadas progresivamente, según el protocolo de campo, Ver Figura 35.



*Figura 35.* Medición de la deformación con Vernier

Fuente: Elaboración propia (2019)

- Durante el ensayo se tomaron los datos correspondientes al ensayo y se procedió a elaborar la curva, tomando los datos de carga y deformación del anclaje, ver Figura 36.



*Figura 36.* Toma de datos y elaboración del protocolo de campo

Fuente: Elaboración propia (2019)

## CAPÍTULO V: PROPUESTA O APLICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

- 5.1 Verificación de los anclajes postensados mediante el ensayo de capacidad.
- Se describe a continuación el procedimiento del ensayo de capacidad para anclajes postensados temporales de cables, mediante la utilización de gato hidráulico multitorón.
  - Para selección la muestra a ensayar se toma como referencia la norma E050 de suelos y cimentaciones que nos indica que el número de ensayos a realizar en una obra es del 2% de la cantidad total de anclajes y como mínimo 2 ensayos de capacidad por obra.

### 5.1.1 Requerimientos previos.

- La altura de los anclajes, respecto a la base del muro anclado, deberá tener una altura máxima de 1.40 m, en caso contrario se utilizarán andamios al momento del tensado.
- El procedimiento del ensayo de capacidad se debe realizar una vez ejecutado el anclaje y cuando haya transcurrido el tiempo suficiente para que la lechada que compone el bulbo de anclaje haya alcanzado la resistencia adecuada ( $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ ) para los requerimientos de tensado; con un tiempo de maduración del bulbo como mínimo 05 días, ver Tabla 9.
- Cuando se use acelerante en la inyección de lechada el tiempo para el tensado como mínimo será 120 horas previa confirmación de resultados de rotura de probeta.

Tabla 9. Días para realizar el tensado, de acuerdo al tipo de Suelo.

Tipo de suelo	Roca dura o suelo muy rígido	Suelos intermedios	Suelos blandos
Sin acelerantes	5 días	6 días	7 días
Con acelerantes	3 días	4 días	5 días

Fuente: Elaboración Propia (2019)

### 5.1.2 Procedimiento para el ensayo de capacidad.

#### 5.1.2.1 Inspección y habilitación de anclaje.

- Verificar la disponibilidad de espacio de acuerdo a los requerimientos del equipo.
- El muro a tensar debe estar adecuadamente apuntalado para evitar cualquier riesgo de aplastamiento.
- Disponer de una plataforma de trabajo suficiente para que el personal de tensado maniobre el gato y realice las mediciones correspondientes. Esta plataforma debe tener un ancho mínimo de 2.5 m. desde la pila hacia la excavación y la altura del anclaje a esta plataforma no debe exceder 1.5 m. Véase Figura 37 y Figura 38.



*Figura 37.* Muro apuntalado para el ensayo de capacidad

Fuente: Elaboración propia (2019)



*Figura 38.* Altura apropiada para el ensayo de capacidad

Fuente: Elaboración propia (2019)

- Limpieza del cable del anclaje y superficie de apoyo de la estructura de contención.
- Se verificará que los cables no se encuentren atrapados por concreto; caso contrario se solicitará que sea liberado, normalmente utilizan un roto martillo.
- Se debe realizar el retiro de la manguera de revestimiento de 50 mm en la longitud adicional de los cables para el tensado. Se debe controlar que el retiro de la vaina sea sólo en la longitud adicional para el tensado.
- La longitud adicional del anclaje es 1.50 m y este nos permitirá el tensado correcto del anclaje y la aplicación del ensayo de capacidad.
- A continuación, se muestra las características de los anclajes a ensayar; Ver Tabla 10 y Tabla 11.

Tabla 10. Características del Anclaje 1.10

CARACTERÍSTICAS DEL ANCLAJE		
Nº de cables	unid.	3
Long. libre (Lf)	[m]	4.50
Long. bulbo (Lv)	[m]	4.50
Long. total (Lo)	[m]	9.00
Carga límite anclaje	kN	648.00
Módulo de elasticidad	KN/mm <sup>2</sup>	195.00
Área de torón de 0.6"	mm <sup>2</sup>	140.00

Fuente: Elaboración propia (2019)

Tabla 11. Características del Anclaje 2.20

CARACTERÍSTICAS DEL ANCLAJE		
Nº de cables	unid.	4
Long. libre Lf	[m]	4.50
Long. Bulbo Lv	[m]	5.80
Long. total Lo	[m]	10.30
Carga límite anclaje	kN	864.00
Módulo de elasticidad	KN/mm <sup>2</sup>	195.00
Área de torón de 0.6"	mm <sup>2</sup>	140.00

Fuente: Elaboración propia (2019)

#### 5.1.2.2 Instalación de platina y cabezal.

- Sobre el muro construido y teniendo ya el concreto la resistencia mínima que sugiere el proyectista estructural de parte del Cliente, una vez efectuado el

picado y retiro de la lechada fraguada, se procede a instalar la platina. Se debe procurar que el tubo trompeta o de pase quede a ras del muro pantalla; es fundamental la correcta ubicación de la placa de apoyo de tal manera que mantenga y conserve el ángulo de inclinación del anclaje.

- Se coloca la platina, el cabezal sin las cuñas fijas, deben quedar atrapadas al cabezal lo mejor posible, con la ayuda de un martillo, ver Figura 39.
- Se debe verificar que el sistema de apoyo sea el adecuado para el ángulo formado entre el anclaje y el muro. Normalmente el ángulo de inclinación es de  $15^\circ$ , para casos especiales de ángulos mayores a  $30^\circ$  se procederá a la colocación de platinas con un ángulo de  $30^\circ$ . Como máximo este ángulo será de  $35^\circ$ .



Figura 39. Instalación de la platina y cabezal

Fuente: Elaboración propia (2019)

#### 5.1.2.3 Instalación de los platos, el gato hidráulico y cuñas de arrastre.

- Se procede a colocar el plato delantero, el gato hidráulico, el plato posterior y las cuñas de arrastre, de manera centrada con el anclaje.
- Colocamos la guarda para cuñas (araña) que servirá como protección para que no salga disparado las cuñas de arrastre, estas serán de uso obligatorio.
- Prendemos bomba hidráulica y enviamos una carga de 30-40 Bares (Gato 140) y 15-30 bares (Gato 270), para el acomodo de las partes, correspondiente a la Carga.
- Se debe verificar que el sistema de apoyo sea el adecuado para el ángulo formado entre el anclaje y el muro.
- Verificar que la posición de todo el equipo este alineada en el eje del anclaje para poder dar inicio al ensayo de capacidad., véase Figura 40.



Figura 40. Instalación de los platos, el gato hidráulico y cuñas de arrastre

Fuente: Elaboración propia (2019)

#### 5.1.2.4 Ejecución del ensayo de capacidad

- Teniendo los datos del anclaje, tanto el número de cables, la carga, la longitud libre, la longitud de bulbo y el gato a utilizar se determina las cargas de tensionamiento para la ejecución del ensayo de capacidad. Según lo indicado en la norma E050 de suelos y cimentaciones, las cargas para el tensionamiento se muestran en la Tabla 12.
- Las cargas para el ensayo de capacidad se convierten a bares para ello se tiene en cuenta la calibración del gato hidráulica que nos indica la conversión de Ton. a Bares, a continuación, se muestra el tipo de Gata Hidráulica, la bomba Hidráulica, el manómetro y la curva de calibración. Ver Figura 41.

		Curva calibración: P(bar)	
<b>Tipo de Gato utilizado (marca):</b>	<b>DSI-140.2</b>	<b>DSI-140.1</b>	$p(\text{bar}) = 0.51 \cdot Q(\text{kN}) - 2.36$
Bomba Hidráulica - Serie: CI20EPLPO61D**72-220V		<b>DSI-140.2</b>	$p(\text{bar}) = 0.49 \cdot Q(\text{kN}) - 7.59$
Gata Hidráulica - Serie: L-HK-DZ-140-250-105-HP		<b>DSI-270</b>	$p(\text{bar}) = 0.26 \cdot Q(\text{kN}) - 2.17$
Manómetro - Serie: ASHCROFT S/N° 1000 BAR			

Figura 41. Curva de Calibración de conversión de KN a Bar.

Fuente: Elaboración Propia (2019)

- Se toma las lecturas correspondientes a cada carga.
- Las cargas a ejecutar en el ensayo, estas cargas serán ejecutadas en carga y descarga, Los datos obtenidos y medidos serán las deformaciones (mm).
- La carga es mantenida en cada incremento sólo el tiempo suficiente para obtener las lecturas de los desplazamientos, pero no más de 1 minuto.

Antes de cada alivio de carga (descarga), los desplazamientos bajo carga constante, son observados y medidos hasta la estabilización, de acuerdo con los siguientes criterios:

- Para los estadios de carga inferiores o iguales a  $0.75 P_w$ , con desplazamientos menores que 0.1 mm, el tiempo de espera no debe ser menor a 5 minutos antes de pasar al siguiente estadio.
- Para los estadios de carga entre  $0.75 P_w$  y  $1.00 P_w$ , con desplazamientos menores que 0.1 mm:
  - El tiempo de espera no debe ser menor a 15 minutos antes de pasar al siguiente estadio en suelos granulares.
  - El tiempo de espera no debe ser menor a 30 minutos antes de pasar al siguiente estadio, en suelos cohesivos o no granulares.
- Para las etapas de cargas superiores a  $1.00 P_w$  hasta  $P_e$ , con desplazamientos menores que 0.1 mm, el tiempo de espera no debe ser menor a 60 minutos antes de pasar al siguiente estadio, para cualquier tipo de suelo.
- Se resalta de color naranja el tiempo que se tendrá que mantener en la carga correspondiente según lo indicado anteriormente, de color verde se indica el inicio y final de cada ciclo del ensayo de capacidad, Véase Tabla 12 y 13.

Tabla 12. Datos para la curva de Carga-Deformación, Anclaje 1.10 (Continuación)

ENSAYO DE CAPACIDAD			
Rango de Carga	Carga KN	DSI-140.2 bar	t min
0.10 $F_w$	39	12	0.0
0.40 $F_w$	157	69	0.0
		69	5.0
0.10 $F_w$	39	12	0.0
0.40 $F_w$	157	69	0.0
0.75 $F_w$	294	136	0.0
		136	5.0
0.40 $F_w$	157	69	0.0
0.10 $F_w$	39	12	0.0
0.40 $F_w$	157	69	0.0
0.75 $F_w$	294	136	0.0
1.00 $F_w$	392	184	0.0

Fuente: Elaboración Propia (2019)

Tabla 12. Datos para la curva de Carga – Deformación - Anclaje 1.10

ENSAYO DE CAPACIDAD			
Rango de Carga	Carga KN	DSI-140.2 bar	t min
		184	15.0
0.75 F <sub>w</sub>	294	136	0.0
0.40 F <sub>w</sub>	157	69	0.0
0.10 F <sub>w</sub>	29	12	0.0
0.40 F <sub>w</sub>	157	69	0.0
0.75 F <sub>w</sub>	294	136	0.0
1.00 F <sub>w</sub>	392	184	0.0
1.25 F <sub>w</sub>	490	233	0.0
		233	60.0
1.00 F <sub>w</sub>	392	184	0.0
0.75 F <sub>w</sub>	294	136	0.0
0.40 F <sub>w</sub>	157	69	0.0
0.10 F <sub>w</sub>	39	12	0.0
0.40 F <sub>w</sub>	157	69	0.0
0.75 F <sub>w</sub>	294	136	0.0
1.00 F <sub>w</sub>	392	184	0.0
1.25 F <sub>w</sub>	490	233	0.0
1.50 F <sub>w</sub>	588	281	0.0
		281	60.0
1.25 F <sub>w</sub>	490	233	0.0
1.00 F <sub>w</sub>	392	184	0.0
0.75 F <sub>w</sub>	294	136	0.0
0.40 F <sub>w</sub>	157	69	0.0
0.10 F <sub>w</sub>	39	12	0.0

Fuente: Elaboración Propia (2019)

Tabla 13. Datos para la curva de Carga-Deformación, Anclaje 2.20 (Continuación)

ENSAYO DE CAPACIDAD			
Rango de Carga	Carga KN	DSI-140.2 bar	t min
0.10 F <sub>w</sub>	49	16	0.0
0.40 F <sub>w</sub>	196	88	0.0
		88	5.0
0.10 F <sub>w</sub>	49	16	0.0
0.40 F <sub>w</sub>	196	88	0.0

Fuente: Elaboración Propia (2019)

Tabla 13. Datos para la curva de Carga – Deformación - Anclaje 2.20

ENSAYO DE CAPACIDAD			
Rango de Carga	Carga KN	DSI-140.2 bar	t min
0.75 F <sub>w</sub>	368	172	0.0
		172	5.0
0.40 F <sub>w</sub>	196	88	0.0
0.10 F <sub>w</sub>	49	16	0.0
0.40 F <sub>w</sub>	196	88	0.0
0.75 F <sub>w</sub>	368	172	0.0
1.00 F <sub>w</sub>	490	233	0.0
		233	15.0
0.75 F <sub>w</sub>	368	172	0.0
0.40 F <sub>w</sub>	196	88	0.0
0.10 F <sub>w</sub>	49	16	0.0
0.40 F <sub>w</sub>	196	88	0.0
0.75 F <sub>w</sub>	368	172	0.0
1.00 F <sub>w</sub>	490	233	0.0
1.25 F <sub>w</sub>	613	293	0.0
		293	60.0
1.00 F <sub>w</sub>	490	233	0.0
0.75 F <sub>w</sub>	368	172	0.0
0.40 F <sub>w</sub>	196	88	0.0
0.10 F <sub>w</sub>	49	16	0.0
0.40 F <sub>w</sub>	196	88	0.0
0.75 F <sub>w</sub>	368	172	0.0
1.00 F <sub>w</sub>	490	233	0.0
1.25 F <sub>w</sub>	613	293	0.0
1.50 F <sub>w</sub>	735	353	0.0
		353	60.0
1.25 F <sub>w</sub>	613	293	0.0
1.00 F <sub>w</sub>	490	233	0.0
0.75 F <sub>w</sub>	368	172	0.0
0.40 F <sub>w</sub>	196	88	0.0
0.10 F <sub>w</sub>	49	16	0.0

Fuente: Elaboración Propia (2019)

- A continuación, se muestra las operaciones de cálculo de los datos para la curva Elástico-Residual, ver Tabla 14

Tabla 14. Datos para la curva de Carga – Elástico - Residual

Datos para la curva de Carga – Elástico - Residual					
Ciclo	% Carga	Carga (bar)	S	Elástico	Residual
1	0.40 $F_w$	C1	S1	0	0
	0.10 $F_w$	C <sub>01</sub>	S <sub>01</sub>	S1-S <sub>01</sub>	S <sub>01</sub>
2	0.75 $F_w$	C2	S2	0	0
	0.10 $F_w$	C <sub>02</sub>	S <sub>02</sub>	S2-S <sub>02</sub>	S <sub>02</sub>
3	1.00 $F_w$	C3	S3	0	0
	0.10 $F_w$	C <sub>03</sub>	S <sub>03</sub>	S3-S <sub>03</sub>	S <sub>03</sub>
4	1.25 $F_w$	C4	S4	0	0
	0.10 $F_w$	C <sub>04</sub>	S <sub>04</sub>	S4-S <sub>04</sub>	S <sub>04</sub>
5	1.50 $F_w$	C5	S5	0	0
	0.10 $F_w$	C <sub>05</sub>	S <sub>05</sub>	S5-S <sub>05</sub>	S <sub>05</sub>

Fuente: Elaboración Propia (2019)

#### 5.1.2.5 Desmontaje de gata hidráulica y colocación de cuñas de fijación

- Terminada la última lectura de carga, se hace la descarga del gato y se empieza a retirar las cuñas de arrastre, el plato posterior, el gato y el plato delantero.
- Se coloca las cuñas fijas, plato delantero, gato hidráulico, plato posterior, cuñas de arrastre y guarda para cuñas.
- Verificamos que todo el equipo este alineado al eje del anclaje para iniciar el tensado hasta la carga de bloqueo.

#### 5.1.2.6 Tensado del anclaje (Lock-off)

- El tensado del anclaje hasta la carga de bloqueo se realiza después del ensayo de capacidad.
- Durante la ejecución del tensado se tendrá especial cuidado para que ninguna persona se encuentre en la línea de tiro del anclaje, en previsión que pueda romperse un cable por falla de fabricación y salga proyectada la cuña de fijación, para ello será de vital importancia la colocación de la guarda de cuñas o llamado también como araña, ver Figura 42.

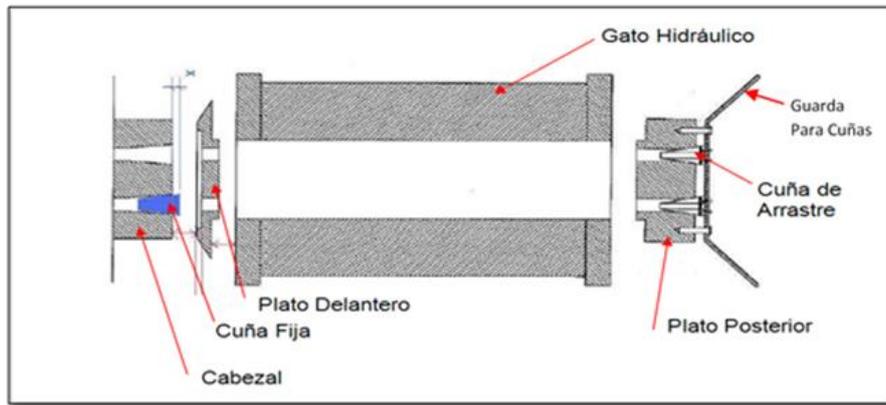


Figura 42. Colocación de elementos para el tensado (Lock-off)

Fuente: Elaboración Propia (2019)

Se tomaron las lecturas hasta llegar a la Carga de bloque para los anclajes 1.10 y 2.20, como se muestra en la Tabla 15 y Tabla 16.

Tabla 15. Cargas de bloqueo - Lock-off para Anclaje 1.10

Rango de carga	Carga KN	DSI-140.2 bar
0.10 $F_w$	39	12
0.35 $F_w$	137	60
0.60 $F_w$	235	108
0.85 $F_w$	333	156
1.00 $F_w$	392	184

Fuente: Elaboración propia (2019)

Tabla 16. Cargas de bloqueo - Lock-off para Anclaje 2.20

Rango de carga	Carga KN	DSI-140.2 bar
0.10 $F_w$	49	16
0.35 $F_w$	172	76
0.60 $F_w$	294	136
0.85 $F_w$	417	196
1.00 $F_w$	490	233

Fuente: Elaboración propia (2019)

### 5.1.2.7 Desmontaje de gato de tensado.

- Terminada la última lectura de carga, se hace la descarga del gato y se empieza a retirar las cuñas de arrastre, el plato posterior, el gato y el plato delantero.
- Verificamos que las cuñas no hayan sufrido daños en el proceso de tensado. Las cuñas pueden sufrir daño a causa del apoyo del gato sobre ellas o por desperfectos de fabricación, véase Figura 43.



*Figura 43.* Anclaje con tensado hasta carga de bloqueo  
Fuente: Elaboración propia (2019)

## 5.2 Análisis de seguridad en el ensayo de Capacidad

### 5.2.1 Medidas de control ambiental de seguridad y salud

Antes y durante el ensayo se debe seguir las siguientes recomendaciones:

- El personal debe participar en la Charla diaria de Seguridad de 10 minutos.
- Realizar el documento Análisis Seguro de Trabajo.
- Realizar los permisos de trabajo que correspondan (Permiso de Trabajo en Altura)
- Realizar el Check List de los Equipos.
- Señalizar el área en donde se realice el trabajo.
- Los Gatos Hidráulicos, deben ser levantados entre 02 a 03 personas, dependiendo del peso del equipo.
- Se debe instalar las guardas de seguridad.
- Durante el ensayo, se debe despejar la zona línea de tiro del anclaje, se contará con un personal que actuará de vigía.

- Durante el ensayo de los anclajes, se genera residuos plásticos y estos deben ser depositados en los contenedores destinados para ese tipo de residuo, ver Figura 44.



Figura 44. Charlas diarias de seguridad para el personal de tensado.

Fuente: Elaboración Propia (2019)

### 5.2.2 Identificación de peligros y evaluación de riesgos.

Se muestra en el siguiente cuadro los peligros y riesgos asociados a las tareas ejecutadas por los trabajadores, y las medidas preventivas a tomar en consideración para prevenir los daños que pudieran ocasionar, en el ensayo de capacidad. Ver Tabla 17.

Tabla 17. Peligros y evaluación de riesgos durante ensayo de capacidad (Continuación)

TAREAS	PELIGROS	RIESGO	MEDIDAS PREVENTIVAS
Labores del ensayo de capacidad	Trabajos en altura (menor a 1.80 m)	Caída a desnivel	Verificar y usar andamios, plataformas y escaleras en buen estado Uso de elementos de protección personal
	Trabajo en altura (mayor a 1.80 m)	Caída a desnivel	Verificar y usar andamios, plataformas y escaleras en buen estado Revisar tarjeta de operatividad de andamios Verificar las líneas de vida y puntos de anclaje Usar arnés de cuerpo completo Usar los elementos de protección persona
	Falta de señalización, orden y limpieza	Caída al mismo nivel	Mantener limpia y ordenada el área de trabajo Señalización el área de trabajo Usar los elementos de protección persona

Fuente: Elaboración propia (2019)

Tabla 17. Peligros y evaluación de riesgos durante ensayo de capacidad

TAREAS	PELIGROS	RIESGO	MEDIDAS PREVENTIVAS
Inspección de Herramientas y equipos	Herramientas en mal estado	Cortes, Golpes	Realizar cambio de herramientas en caso de deterioro
	Cables eléctricos en mal estado	Choques eléctricos	Utilizar cables industriales normados
			Mantener la columna recta al levantar cargas
Manipulación de herramientas	Cortes, Golpes, Amputaciones	Utilizar guantes de cuero, Zapatos de Seguridad Punta de Acero	
Instalación de Equipos y Accesorios	Caídas de Objetos	Amputaciones, Golpes	Realizar cambio de herramientas en caso de deterioro
	Peso de los equipos y accesorios	Sobre Esfuerzo Muscular	Utilizar cables industriales normados
	Descargas Eléctrica	Quemaduras, Choques Eléctricos	Realizar inspección al equipo y llenar el checklist de inspección del equipo antes de su uso
Ensayo de capacidad	Proyección de Cuñas de arrastre	Golpes, Muerte	Instalación de guardas de seguridad
	Proyección de Cables anclaje	Golpes, Muerte	Instalación de guardas de seguridad, Despejar el área de línea de tiro del anclaje
Desinstalación de Equipos	Caída de objetos	Amputaciones, Golpes	Levantar los equipos entre 02 personas.
	Peso de los equipos	Sobre Esfuerzo Muscular	Mantener la columna recta al levantar cargas

Fuente: Elaboración propia (2019)

## CAPÍTULO VI: PRESENTACION DE RESULTADOS

### 6.1 Resultados de la Investigación

Para el Anclaje 1.10:

- A continuación, se muestra los desplazamientos obtenidos al aplicar la carga y descarga de rango de cargas, realizado en el ensayo de capacidad para el anclaje 1.10, ver Tabla 18

Tabla 18. Resultados de los desplazamientos del anclaje 1.10 (Continuación)

ENSAYO DE CAPACIDAD				
Rango de Carga	Carga KN	DSI-140.2 bar	t min	s mm
0.10 F <sub>w</sub>	39	12	0.0	0.0
0.40 F <sub>w</sub>	157	69	0.0	10.2
		69	5.0	10.0
0.10 F <sub>w</sub>	39	12	0.0	3.2
0.40 F <sub>w</sub>	157	69	0.0	11.5
0.75 F <sub>w</sub>	294	136	0.0	30.2
		136	5.0	30.2
0.40 F <sub>w</sub>	157	69	0.0	29.5
0.10 F <sub>w</sub>	39	12	0.0	7.0
0.40 F <sub>w</sub>	157	69	0.0	14.3
0.75 F <sub>w</sub>	294	136	0.0	29.8
1.00 F <sub>w</sub>	392	184	0.0	40.6
		184	15.0	40.6
0.75 F <sub>w</sub>	294	136	0.0	40.3
0.40 F <sub>w</sub>	157	69	0.0	37.1
0.10 F <sub>w</sub>	29	12	0.0	11.0
0.40 F <sub>w</sub>	157	69	0.0	25.4
0.75 F <sub>w</sub>	294	136	0.0	32.8
1.00 F <sub>w</sub>	392	184	0.0	41.0
1.25 F <sub>w</sub>	490	233	0.0	53.3
		233	60.0	53.3
1.00 F <sub>w</sub>	392	184	0.0	53.0
0.75 F <sub>w</sub>	294	136	0.0	48.0
0.40 F <sub>w</sub>	157	69	0.0	40.1
0.10 F <sub>w</sub>	39	12	0.0	13.0
0.40 F <sub>w</sub>	157	69	0.0	36.4

Fuente: Elaboración propia (2019)

Tabla 18. Resultados de los desplazamientos del anclaje 1.10

ENSAYO DE CAPACIDAD				
Rango de Carga	Carga KN	DSI-140.2 bar	t min	s mm
0.75 F <sub>w</sub>	294	136	0.0	38.7
1.00 F <sub>w</sub>	392	184	0.0	43.1
1.25 F <sub>w</sub>	490	233	0.0	50.8
1.50 F <sub>w</sub>	588	281	0.0	58.8
		281	60.0	58.8
1.25 F <sub>w</sub>	490	233	0.0	58.4
1.00 F <sub>w</sub>	392	184	0.0	57.9
0.75 F <sub>w</sub>	294	136	0.0	50.4
0.40 F <sub>w</sub>	157	69	0.0	40.5
0.10 F <sub>w</sub>	39	12	0.0	15.0

Fuente: Elaboración propia (2019)

- Con los datos del rango de cargas convertidos a bares, y los desplazamientos obtenidos, obtenemos la curva de Carga – Deformación, del ensayo de capacidad para el anclaje 1.10, ver Figura 45.

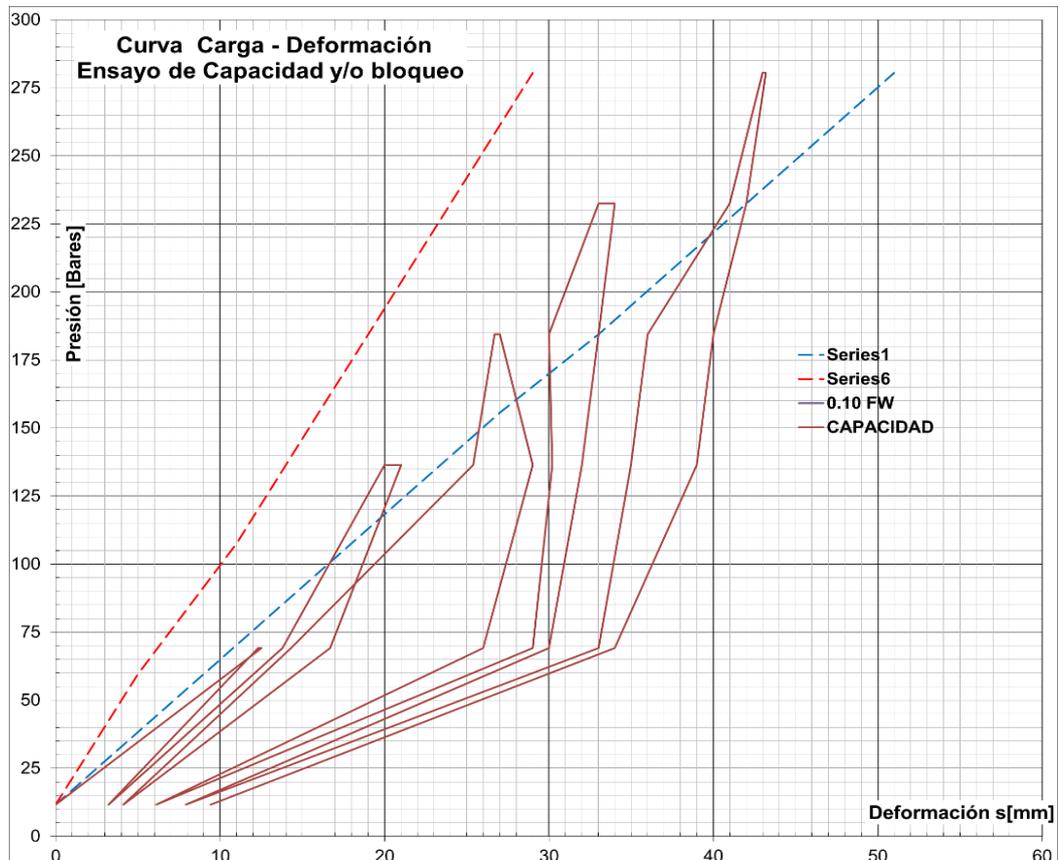


Figura 45. Curva Carga-Deformación del anclaje 1.10

Fuente: Elaboración propia (2019)

- A continuación, se muestra los valores Elástico – Residual por cada ciclo de carga y descarga, realizado en el ensayo de capacidad para el anclaje 1.10, ver Tabla 19

Tabla 19. Datos para la curva Elástico – Residual, Anclaje 1.10

Datos para la curva de Carga – Elástico - Residual					
Ciclo	% Carga	Carga (bar)	S mm	Elástico mm	Residual mm
1	0.40 F <sub>w</sub>	69	10.0	0	0
	0.10 F <sub>w</sub>	12	3.2	6.8	-3.2
2	0.75 F <sub>w</sub>	136	30.2	0	0
	0.10 F <sub>w</sub>	12	7.0	23	-7
3	1.00 F <sub>w</sub>	184	40.6	0	0
	0.10 F <sub>w</sub>	12	11.0	30	-11
4	1.25 F <sub>w</sub>	233	53.3	0	0
	0.10 F <sub>w</sub>	12	13.0	40	-13
5	1.50 F <sub>w</sub>	281	58.8	0	0
	0.10 F <sub>w</sub>	12	15.0	44	-15

Fuente: Elaboración propia (2019)

- Con los datos de Elástico - Residual, por cada ciclo de carga y descarga, obtenemos la curva de Carga – Deformación, del ensayo de capacidad para el anclaje 1.10, ver Figura 46.

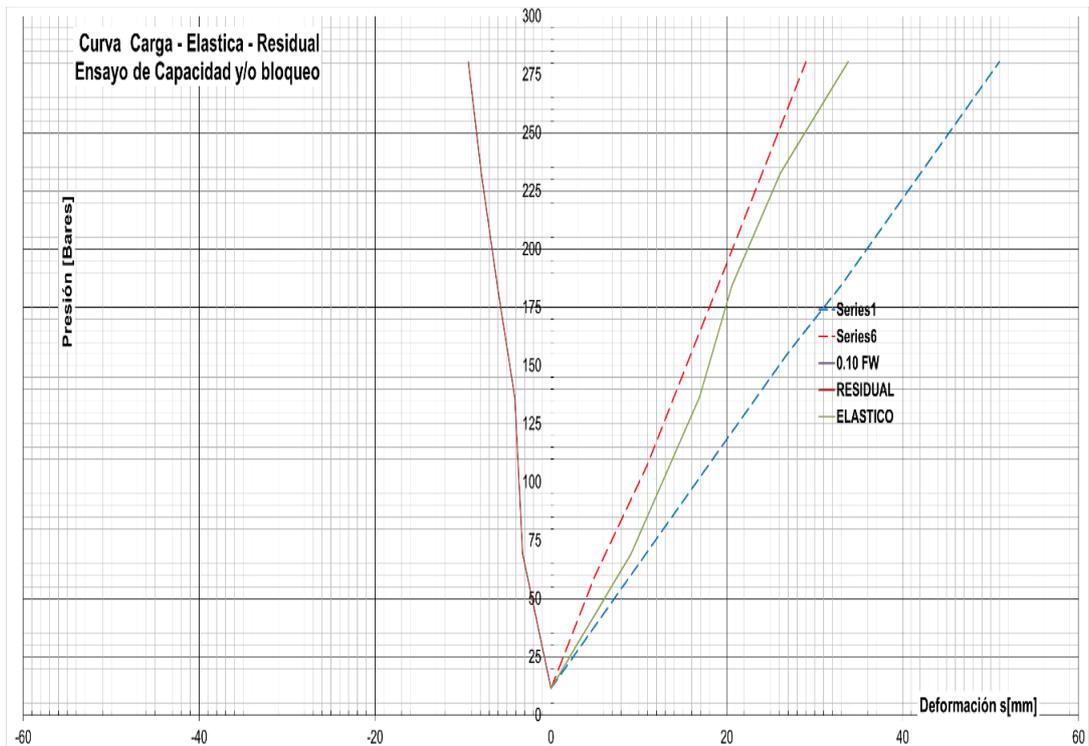


Figura 46. Curva Elástico - Residual del anclaje 1.10

Fuente: Elaboración propia (2019)

Para el Anclaje 2.20:

- A continuación, se muestra los desplazamientos obtenidos al aplicar la carga y descarga de rango de cargas, realizado en el ensayo de capacidad para el anclaje 2.20, ver Tabla 20

Tabla 20. Resultados de los desplazamientos del Anclaje 2.20 (Continuación)

ENSAYO DE CAPACIDAD				
Rango de Carga	Carga KN	DSI-140.2 bar	t min	s mm
0.10 F <sub>w</sub>	49	16	0.0	0.0
0.40 F <sub>w</sub>	196	88	0.0	8.2
		88	5.0	10.3
0.10 F <sub>w</sub>	49	16	0.0	4.5
0.40 F <sub>w</sub>	196	88	0.0	10.7
0.75 F <sub>w</sub>	368	172	0.0	22.5
		172	5.0	23.2
0.40 F <sub>w</sub>	196	88	0.0	21.0
0.10 F <sub>w</sub>	49	16	0.0	8.5
0.40 F <sub>w</sub>	196	88	0.0	14.3
0.75 F <sub>w</sub>	368	172	0.0	23.5
1.00 F <sub>w</sub>	490	233	0.0	30.6
		233	15.0	31.6
0.75 F <sub>w</sub>	368	172	0.0	31.1
0.40 F <sub>w</sub>	196	88	0.0	23.3
0.10 F <sub>w</sub>	49	16	0.0	10.2
0.40 F <sub>w</sub>	196	88	0.0	15.6
0.75 F <sub>w</sub>	368	172	0.0	25.3
1.00 F <sub>w</sub>	490	233	0.0	32.9
1.25 F <sub>w</sub>	613	293	0.0	39.5
		293	60.0	41.7
1.00 F <sub>w</sub>	490	233	0.0	39.6
0.75 F <sub>w</sub>	368	172	0.0	37.8
0.40 F <sub>w</sub>	196	88	0.0	26.5
0.10 F <sub>w</sub>	49	16	0.0	13.0
0.40 F <sub>w</sub>	196	88	0.0	18.6
0.75 F <sub>w</sub>	368	172	0.0	27.9
1.00 F <sub>w</sub>	490	233	0.0	34.8.

Fuente: Elaboración propia (2019)

Tabla 20. Resultados de los desplazamientos del Anclaje 2.20

ENSAYO DE CAPACIDAD				
Rango de Carga	Carga KN	DSI-140.2 bar	t min	s mm
1.25 F <sub>w</sub>	613	293	0.0	41.8
1.50 F <sub>w</sub>	735	353	0.0	49.0
		353	60.0	50.0
1.25 F <sub>w</sub>	613	293	0.0	49.3
1.00 F <sub>w</sub>	490	233	0.0	47.6
0.75 F <sub>w</sub>	368	172	0.0	41.3
0.40 F <sub>w</sub>	196	88	0.0	28.2
0.10 F <sub>w</sub>	49	16	0.0	20.2

Fuente: Elaboración propia (2019)

- Con los datos del rango de cargas convertidos a bares, y los desplazamientos obtenidos, obtenemos la curva de Carga – Deformación, del ensayo de capacidad para el anclaje 2.20, ver Figura 47.

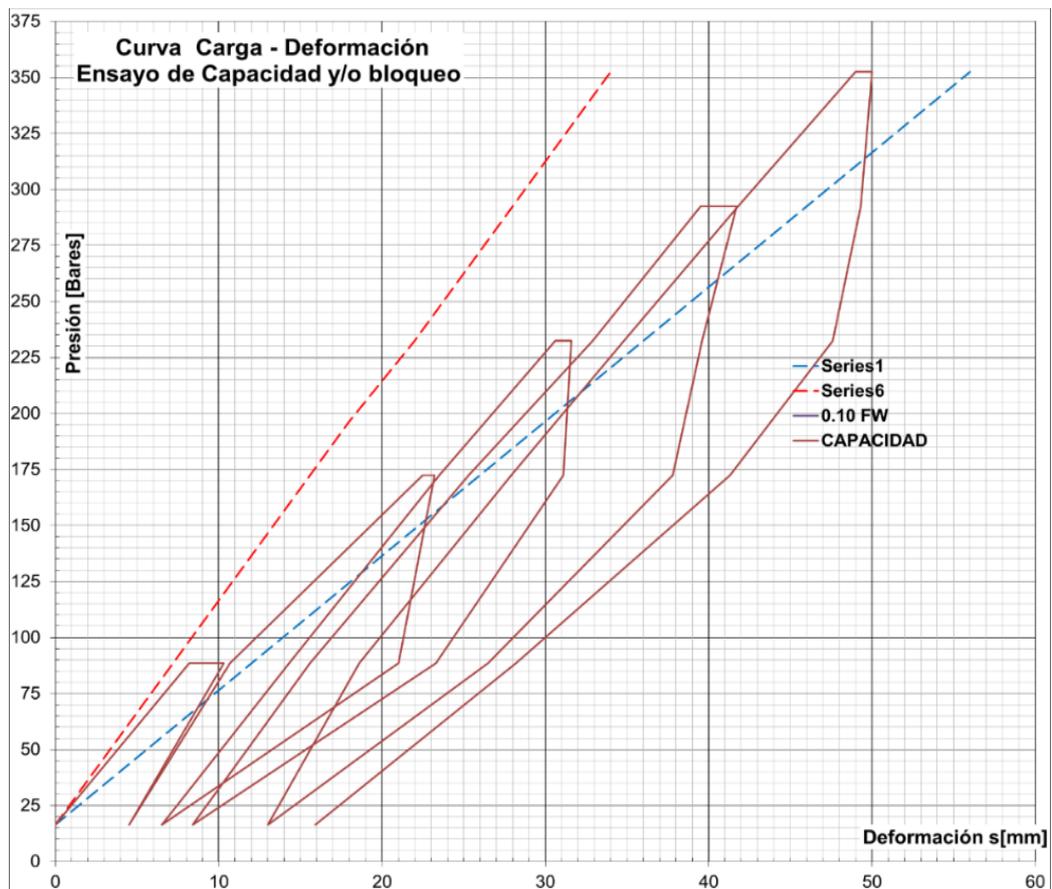


Figura 47. Curva Carga-Deformación del anclaje 2.20

Fuente: Elaboración propia (2019)

- A continuación, se muestra los valores Elástico – Residual por cada ciclo de carga y descarga, realizado en el ensayo de capacidad para el anclaje 2.20, ver Tabla 21.

Tabla 21. Datos para la curva Elástico – Residual, Anclaje 2.20

Datos para la curva de Carga – Elástico - Residual					
Ciclo	% Carga	Carga (bar)	S mm	Elástico mm	Residual mm
1	0.40 F <sub>w</sub>	88	10.3	0	0
	0.10 F <sub>w</sub>	16	4.5	5.8	-4.5
2	0.75 F <sub>w</sub>	172	23.2	0	0
	0.10 F <sub>w</sub>	16	8.5	15	-9
3	1.00 F <sub>w</sub>	293	30.6	0	0
	0.10 F <sub>w</sub>	16	10.2	20	-13
4	1.25 F <sub>w</sub>	353	41.7	0	0
	0.10 F <sub>w</sub>	16	13.0	29	-20
5	1.50 F <sub>w</sub>	281	50.0	0	0
	0.10 F <sub>w</sub>	12	20.2	30	-15

Fuente: Elaboración propia (2019)

- Con los datos de Elástico - Residual, por cada ciclo de carga y descarga, obtenemos la curva de Carga – Deformación, del ensayo de capacidad para el anclaje 1.10, ver Figura 48.

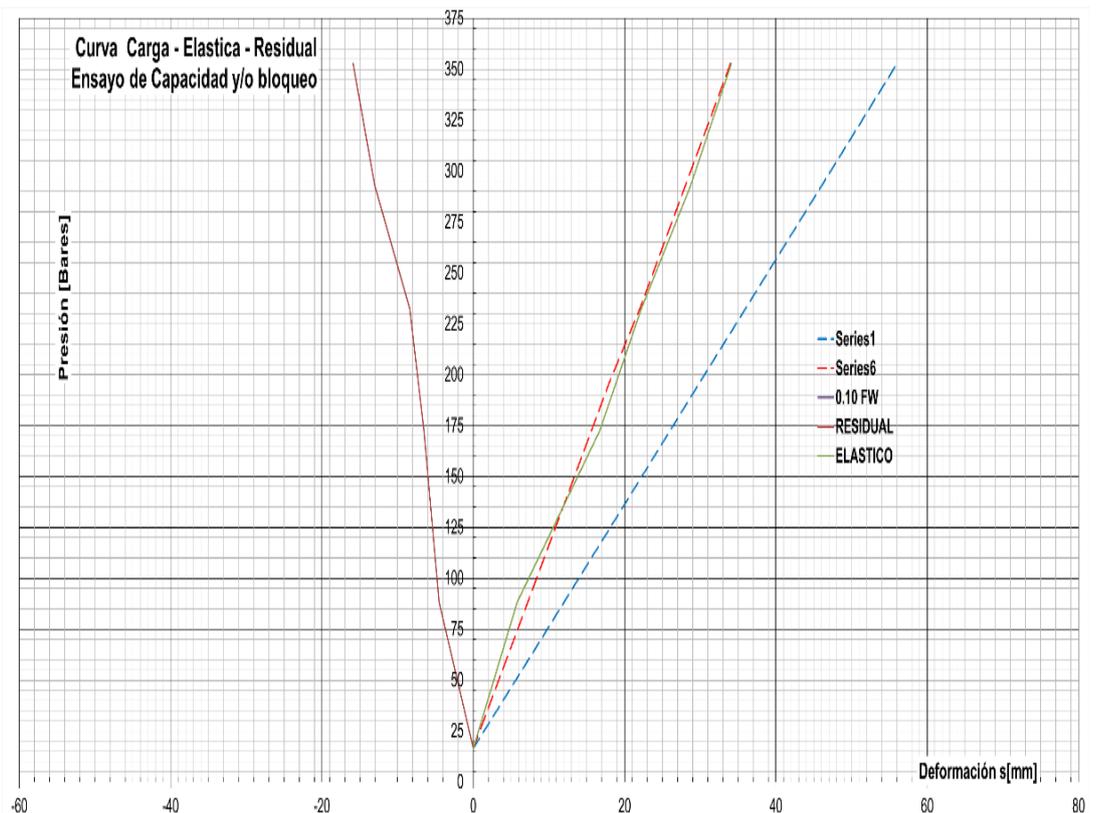


Figura 48. Curva Elástico - Residual del anclaje 2.20

Fuente: Elaboración propia (2019)

## 6.2 Análisis e interpretación de los resultados

### 6.2.1 Curva Carga-Deformación del anclaje:

- En la figura 45, se evidencia que las deformaciones en las cargas pico están dentro de los límites de deformación y el anclaje ha desarrollado un buen comportamiento alcanzando el 150% de carga de diseño sin sufrir rotura ni desprendimiento de bulbo por lo que podemos aceptar en esta primera curva el anclaje 1.10.
- En la figura 47, se evidencia que las deformaciones en las cargas pico están dentro de los límites de deformación y el anclaje ha desarrollado un buen comportamiento alcanzando el 150% de carga de diseño sin sufrir rotura ni desprendimiento de bulbo por lo que podemos aceptar en esta primera curva el anclaje 2.20.

### 6.2.2 Curva Elástico - Residual del anclaje:

- En la figura 46, observamos que la curva residual está cerca al eje y, de ello se indica que la longitud libre del anclaje tiene poca deformación plástica y tiene un buen desempeño en su recuperación natural.
- La deformación elástica del anclaje está centrada entre los límites de deformación máxima y mínima de ello indicamos que el anclaje tiene una gran tendencia al comportamiento teórico del anclaje ensayado.
- El anclaje 1.10 se recepciona como aprobado al cumplir con el ensayo de capacidad y tener una curva elástica dentro de los límites de deformación.
- En la figura 48, observamos que la curva residual está separada del eje y, por lo que se podría indicar que la longitud libre del anclaje tiene mayor deformación plástica y no tiene un buen desempeño en su recuperación natural.
- La deformación elástica del anclaje está cerca al eje y entre los límites de deformación máxima y mínima de ello indicamos que el anclaje podría estar sufriendo un mayor rozamiento en la longitud libre que no le permite deformarse en tendencia a su deformación teórica.
- El anclaje 2.20 se recepciona como aprobado al cumplir con el ensayo de capacidad y tener una curva elástica dentro de los límites de deformación.

### 6.2.3 Comparación entre la deformación teórica (máxima – mínima) – real:

Las deformaciones al 100% de carga de diseño real fue comparada con la deformación máxima y mínima teórica obtenida de la aplicación de las fórmulas recomendadas en la norma brasilera ABNT NBR 5629.

#### - Anclaje 1.10:

La deformación real está entre los límites de deformación máxima y mínima, Ver Tabla 22.

Tabla 22. Deformaciones al 100 % de la carga de servicio para anclaje 1.10

DEFORMACIONES 100%FW		
Maxima(mm)	Real(mm)	Minima(mm)
33	21	19

Fuente: Elaboración propia (2019)

#### - Anclaje 2.20:

La deformación real está entre los límites de deformación máxima y mínima, ver Tabla 23.

Tabla 23. Deformaciones al 100% de la carga de servicio para anclaje 2.20

DEFORMACIONES 100%FW		
Maxima(mm)	Real(mm)	Minima(mm)
36	22	22

Fuente: Elaboración propia (2019)

### 6.2.4 Comparación entre la deformación teórica y real de anclaje postensado:

Las deformaciones al 100% de carga de diseño real fue comparada con la deformación teórica obtenida de la aplicación de las fórmulas recomendadas en la norma brasilera ABNT NBR 5629.

#### - Anclaje 1.10:

La de formación teórica y real tiene una diferencia de 7mm. Ver Tabla 24.

Tabla 24. Diferencia entre las deformaciones teórica y real para el anclaje 1.10

DEFORMACIONES 100Fw		ΔDeformacion
Teorica(mm)	Real(mm)	
23	30	7

Fuente: Elaboración propia (2019)

- Anclaje 2.20:

La de formación teórica y real tiene una diferencia de 1mm. Ver Tabla 25.

Tabla 25. Diferencia entre las deformaciones teórica y real para el anclaje 2.20

DEFORMACIONES 100Fw		ΔDeformacion
Teorica(mm)	Real(mm)	
21	20	1

Fuente: Elaboración propia (2019)

### 6.3 Contrastación de Hipótesis.

- La aplicación del ensayo de capacidad permitió verificar el funcionamiento del anclaje postensado, mediante la comparación de la curva carga vs deformación obtenido de los resultados del ensayo, con la curva teórica indicado en la norma E050 de suelos de cimentaciones, las curvas se encuentran dentro de los límites de deformación permitidos, ver Figura 45 y 47.
- Los resultados del ensayo de mecánica de suelo nos permitió identificar los principales parámetros que influyen en el cálculo de la carga de servicio del anclaje, los cuales son; el ángulo de fricción, la cohesión y el peso específico del terreno donde se realizó el ensayo de capacidad.
- La aplicación del ensayo de capacidad realizado en el Edificio Hotel Ibis San Isidro, permitió implementar un procedimiento, en base a la comparación de las curvas de carga-deformación teóricas que establece la norma E050 de suelos y cimentaciones con los resultados de la curva del ensayo de capacidad.
- El análisis y comparación de los desplazamientos y deformaciones del anclaje, ver Tabla 24 y 25, permitió interpretar los resultados del ensayo de capacidad en los anclajes postensados ejecutado en el edificio Hotel Ibis San Isidro-Lima-Perú.

## CONCLUSIONES

- 1) La verificación de los anclajes fue a través de la comparación de la curva carga – elástica – residual, obtenido a través del ensayo de capacidad, véase Figura 46 y 48 y la curva teórica establecida en la norma E050 de suelos y cimentaciones, véase Figura 24, Para el anclaje 1.10, de formación teórica nos resultó de 51mm y la deformación real fue de 58.8mm la diferencia de 7.8mm, en el anclaje 2.20, la deformación teórica resultó de 52mm y la deformación real fue de 50mm la diferencia de 2mm; en ambos ensayos los valores se encuentran entre los límites de las deformaciones máximas y mínimas indicativo que el anclaje está aprobado en su desempeño.
- 2) Se identificó los parámetros del suelo que influye en la aplicación del ensayo de capacidad como parámetros principales fueron la cohesión, ángulo de fricción y peso unitario, Ángulo de fricción interna:  $43^\circ$ , Cohesión:  $20 \text{ (kN/m}^2\text{)}$  y peso unitario:  $\gamma = 22 \text{ (kN/m}^2\text{)}$ , los cuales se usaron para el cálculo de la carga de servicio del anclaje, obtenida mediante el procesamiento de datos en el software GGU Retain. y posteriormente se utiliza la carga de servicio para los estadios de carga y descarga en el ensayo de capacidad, véase Tabla 18.
- 3) La norma peruana propone, para el inicio del ensayo de capacidad, aplicar una carga nominal al tendón de anclaje, denominada carga de alineación, generalmente no es más del 10% de la carga de diseño y su propósito es garantizar que el equipo de prueba y tensión esté correctamente alineado. El equipo de medición de desplazamiento se pone a cero al estabilizar la carga de alineación. Durante el primer ciclo de carga, la carga se eleva al 40% de la carga de diseño y se registra el movimiento incremental, la carga se reduce nuevamente a la carga de alineación. Este procedimiento se repite, utilizando incrementos de carga como se muestra en la Tabla 5, hasta que se alcanza la carga de prueba máxima, denominada carga de prueba. La carga de prueba llega hasta el 150% de la carga de diseño.

- 4) La deformación residual y elástica va en función directa a la aplicación de la carga de tensionamiento por lo que tendremos mayor deformación residual cuando tengamos mayor carga aplicada al anclaje. Se ha probado para los ensayos realizados que los anclajes ensayados pueden soportar hasta el 1.50% de su carga de diseño obteniendo el anclaje una mayor garantía de desempeño.
- 5) La longitud libre del anclaje es una variable muy importante en el ensayo de capacidad, debido a que si se cuenta con mayor longitud libre se tendrá mayores deformaciones y viceversa. Si el valor residual (10%Fw) aumenta tendremos que la deformación elástica del anclaje se reducirá y se acercará al límite de deformación inferior.
- 6) En la curva carga-elástica residual, véase Figuras 49 y 51, obtenida del ensayo, se observa que se encuentra ligeramente pegada al límite inferior el cual nos indica que el anclaje ensayado tiene obstáculos para su tensionamiento, estos obstáculos comúnmente son atrapamientos con concreto ocasionados al momento de vaciar el muro pantalla.

## **RECOMENDACIONES**

- 1) Debido a que los terrenos donde se ejecutan los anclajes tienen una variedad de comportamientos según la carga de diseño, se recomienda aplicar el ensayo de capacidad en todas las zonas del terreno.
- 2) Para una correcta aplicación del ensayo de capacidad es importante una adecuada coordinación de los trabajos en obra, para proceder con el ensayo de capacidad, debido a que el tiempo de duración del ensayo que es de aproximadamente de 4 a 5 horas, y ello puede ocasionar retrasos en el cronograma de obra.
- 3) Es recomendable seguir todas las recomendaciones de calidad y seguridad en el proceso de realización del ensayo de capacidad, con los equipos de tensado correctamente calibrados y el personal debidamente capacitado, esto para obtener datos con mayor confiabilidad.
- 4) Por último, es recomendable continuar la implementación del procedimiento de ensayo de capacidad bajo un escenario aplicado a diferentes tipos de suelos, que permita la aplicación del ensayo de capacidad en diferentes partes del Perú.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alva, J. (2013). *Estudio de Mecánica de Suelos con fines de Cimentación para el Proyecto Edificio de Oficinas*. Lima, Perú: Jorge E. Alva Hurtado Ingenieros E.I.R.L
- Artacho, P. (2010). *Soluciones Constructivas para Excavaciones en Suelos de Textura Arenosa, mediante el Diseño de un Muro Contención con Pilas Ancladas* (Tesis de pregrado). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Ashford, S. & Sitar, N. (1994). *Seismic Response of Steep Natural Slopes*. University of California. Earthquake Engineering Research Center, Report No. UCB/EERC
- Bentler, D. (1988). *Finite Element Analysis Of Deep Excavations*. USA: Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Casagrande, A. *Clasificación and Identificación of Soils*. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, Vol. 113, p 901, 1948 (Biblioteca IDIEM)
- Cerna, A. (2011). *Análisis y diseño de muros anclados* (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional Ingeniería, Lima-Perú.
- Macedo, A. (2016). *Análisis comparativo de la ejecución de anclajes* (Tesis Pregrado) Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú.
- Malo David, D. F. (2018). *Metodología de construcción de muros anclados en. guayaquil* (Tesis Pregrado) Universidad de Guayaquil, Guayaquil-Ecuador.
- Martínez, A. (2007). *Conglomerado de Lima Metropolitana en Cimentaciones*. Boletines Técnico M.I.G de la FIC-UNI, p (4-7).
- Monroy, R. (2007). *Anclaje en suelos* (Tesis Pregrdo) Universidad nacional autonoma de México, D.F-México.
- Miranda. 2014. *Ensayos de aptitud en anclajes postensados ejecutados en la grava de Santiago*. En: VIII Congreso chileno de Ingeniería Geotécnica, Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile. pp 4-8.
- Paredes, J. (2015). *Determinación del coeficiente de resistencia al corte unitario entre la unión bulbo anclado y suelo arenoso para diseño de anclaje*. (Tesis de Pregrado) Universidad Nacional de Ingeniería. Lima-Perú.

- Peck, R. (1969). *Deep excavations and tunneling in soft ground. Proceedings of the Seventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, State of the art volume, 7(3), 225-290.
- Puelles, J. (2011) *Determinación de la capacidad de adherencia con fines de diseño optimizado de anclajes en suelo aplicación a excavaciones profundas en lima metropolitana*. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Ingeniería. Lima-Perú.
- Roca, M. (2000). *Análisis de Estabilidad de Taludes a través del Método Esfuerzo-Deformación* (Tesis de pregrado).Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú.
- Reglamento Nacional de Edificaciones (2018), Norma Técnica de Edificaciones E- 050 Suelos y Cimentaciones.
- Norma Española (2001) - UNE - EN 1537
- Norma Brasileira (1996) - ABNT NBR 5629
- Saucedo, M. (2013). *Aspectos constructivos, consideraciones de diseño y monitoreo de muros anclados en excavaciones profundas*. Lima: Empresa Pilotes Terratest.
- Valdez Ponce. (2011). *Manual de Diseño y Construcción de Muros Anclados de Hormigón Proyectado*. (Tesis de Pregrado) Universidad San Francisco. Quito-Ecuador.
- Sociedad Mexicana de Mecánica de suelo. (2002). *Manual de construcción Geotécnica I*. México.
- UCAR, R. (2004). *Manual de Anclajes en Ingeniería Civil*. U.D. Proyectos.
- Tapia, A. (2009). *Comparativa de los Métodos de Cálculo en Análisis de Estabilidad de Taludes* (Tesis de pregrado). Instituto Politécnico Nacional, Mexico D.F.-México.
- Zenobio, J. (2003). *Análisis numérico de muros anclados, basándose en el método de elementos finitos*. (Tesis Pregrado) Pontificia Universidad Católica de Río de Janeiro - Brasil.

## ANEXOS

Anexo 1. Matriz de Consistencia (Continuación)

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGÍA
<p><b>Problema principal</b></p> <p>¿Como verificar los anclajes postensados, mediante la aplicación del ensayo de capacidad en el edificio Hotel Ibis-San Isidro-Lima-Perú?</p> <p><b>Problemas secundarios</b></p> <p>✓ ¿Cuáles son los parámetros principales del suelo que influyen en la aplicación del ensayo de capacidad?</p> <p>✓ ¿Cuál es el procedimiento para la aplicación del ensayo de capacidad según la</p>	<p><b>Objetivo principal</b></p> <p>Verificar los anclajes postensados mediante la aplicación del ensayo de capacidad en el edificio Hotel Ibis-San Isidro-Lima-Perú</p> <p><b>Objetivos secundarios</b></p> <p>✓ Identificar los parámetros principales del suelo que influyen en la aplicación del ensayo de capacidad.</p> <p>✓ Implementar un procedimiento para el ensayo de capacidad según la norma E050 de suelos y cimentaciones.</p>	<p><b>Hipótesis general</b></p> <p>La aplicación del ensayo de capacidad permitirá verificar los anclajes postensados en el edificio Hotel Ibis-San Isidro-Lima-Perú</p> <p><b>Hipótesis específicas</b></p> <p>✓ El ensayo de mecánica de suelos permitirá identificar los parámetros que influyen en el ensayo de capacidad.</p> <p>✓ La aplicación del ensayo de capacidad en el edificio Hotel Ibis-San Isidro-Lima-Perú, permitirá implementar</p>	<p><b>Independiente</b></p> <p>✓ Aplicación del ensayo de capacidad</p> <p><b>Dependiente</b></p> <p>✓ Verificación de anclajes postensados</p>	<p><b>Indicadores</b></p> <p>✓ Resistencia del anclaje</p> <p>✓ Aplicación porcentual de la carga de servicio.</p> <p>✓ Deformación respecto a carga y descarga</p> <p>✓ Resistencia a la tensión</p> <p>✓ Cohesión, ángulo de fricción.</p> <p>✓ Duración.</p> <p>✓ Tiempo</p> <p>✓ Longitud.</p>	<p><b>Diseño de Investigación</b></p> <p>Diseño cuasi experimental – transversal descriptivo.</p> <p><b>Tipo de Investigación</b></p> <p>Tipo Aplicada, debido a que los alcances son prácticos, y se sustentan a través de normas, leyes, manuales, software.</p> <p><b>Nivel de Investigación</b></p> <p>Esta investigación es de nivel descriptivo.</p> <p><b>Muestra</b></p> <p>La muestra son dos anclajes ejecutados en el Edificio Hotel Ibis, ubicado en el distrito de San Isidro, Lima.</p> <p><b>Instrumentos</b></p> <p>Fichas de Recolección de Datos, gráficos de; “cargas vs deformación”, “Elástico vs Residual”.</p>

Fuente: Elaboración propia (2019)

Anexo 1. Matriz de Consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGÍA
<p>norma E050 de suelos y cimentaciones?</p> <p>✓ ¿Cuáles son las interpretaciones a los resultados del ensayo de capacidad en los anclajes postensados ejecutados en el edificio Hotel Ibis-San Isidro-Lima-Perú?</p>	<p>✓ Interpretar resultados de ensayos de capacidad en los anclajes postensados ejecutados en el edificio Hotel Ibis-San Isidro-Lima-Perú</p>	<p>un procedimiento según la norma E050 de suelos y cimentaciones.</p> <p>✓ La aplicación del ensayo de capacidad en el conglomerado de Lima apoyará en la interpretación de los resultados.</p>			<p><b>Procedimiento</b></p> <p>El procesamiento de datos y elaboración de los gráficos el software Microsoft Excel, para el análisis de muro anclado se utiliza el software GGU-Retain, Protocolos de normas internacionales y la NTP E050.</p>

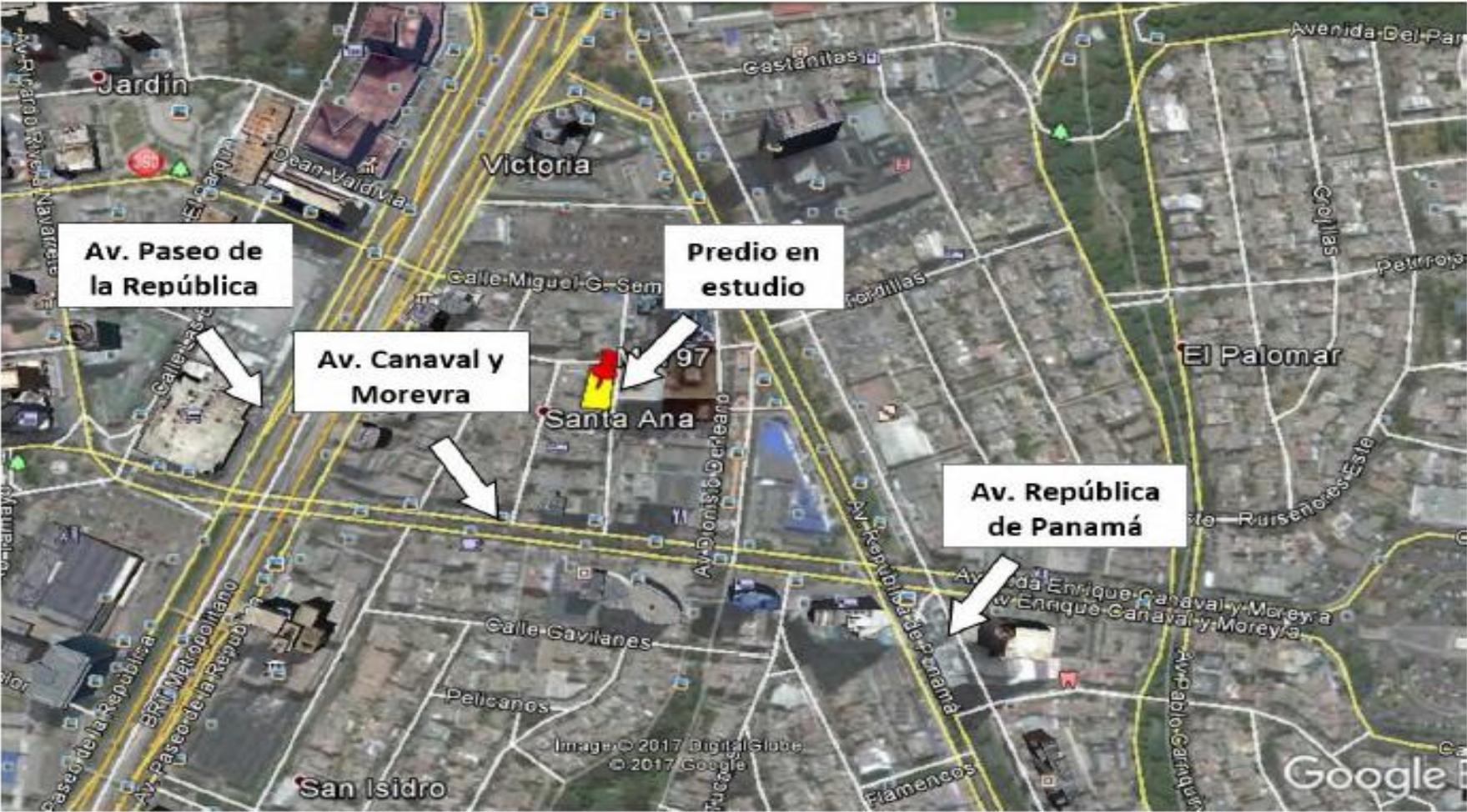
Fuente: Elaboración propia (2019)

Anexo 2. Matriz de Operacionalización de variables

<b>Variables</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Unidad</b>
(V.I) Aplicación del ensayo de capacidad	- Carga de servicio -Estadios de carga -Curva carga-deformación -capacidad de carga del torón	- Resistencia del anclaje - Aplicación porcentual de la carga de servicio -Deformaciones respecto a carga y descarga - Resistencia a la tensión	KN % mm Ton
(V.D) Verificación de anclajes postensados	-Tipo de suelo -Tipo de anclaje -Duración de la aplicación de carga y descarga -Dimensiones mínimas del bulbo	-Cohesión, ángulo de fricción -Duración del anclaje -Tiempo -Longitud	Kg/cm <sup>2</sup> , grados temporal min mm

Fuente: Elaboración propia (2019)

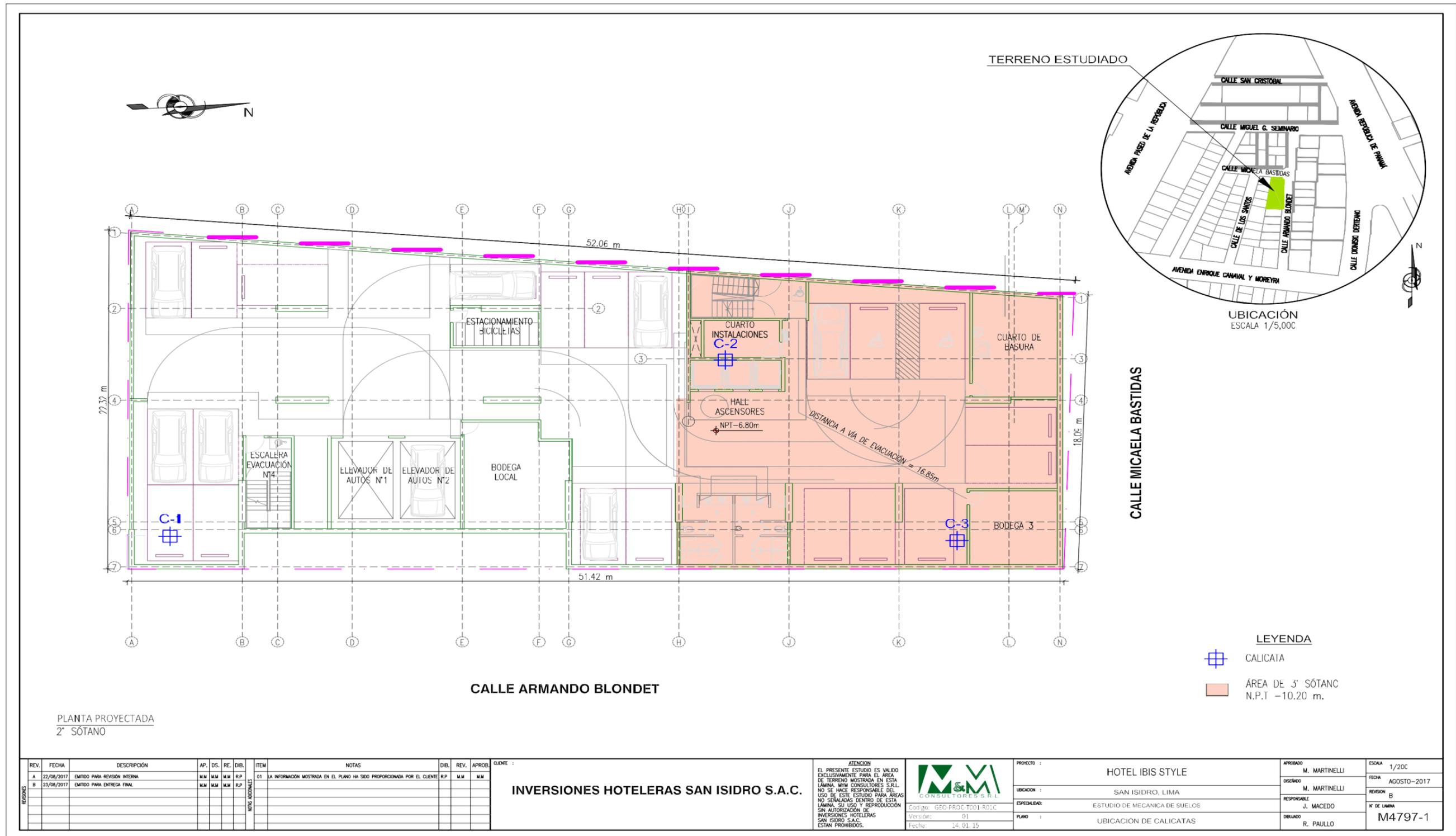
Anexo 3. Esquema de ubicación del proyecto “Hotel Ibis-San Isidro”



Fuente: Elaboración propia (2019)

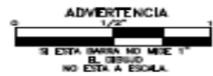
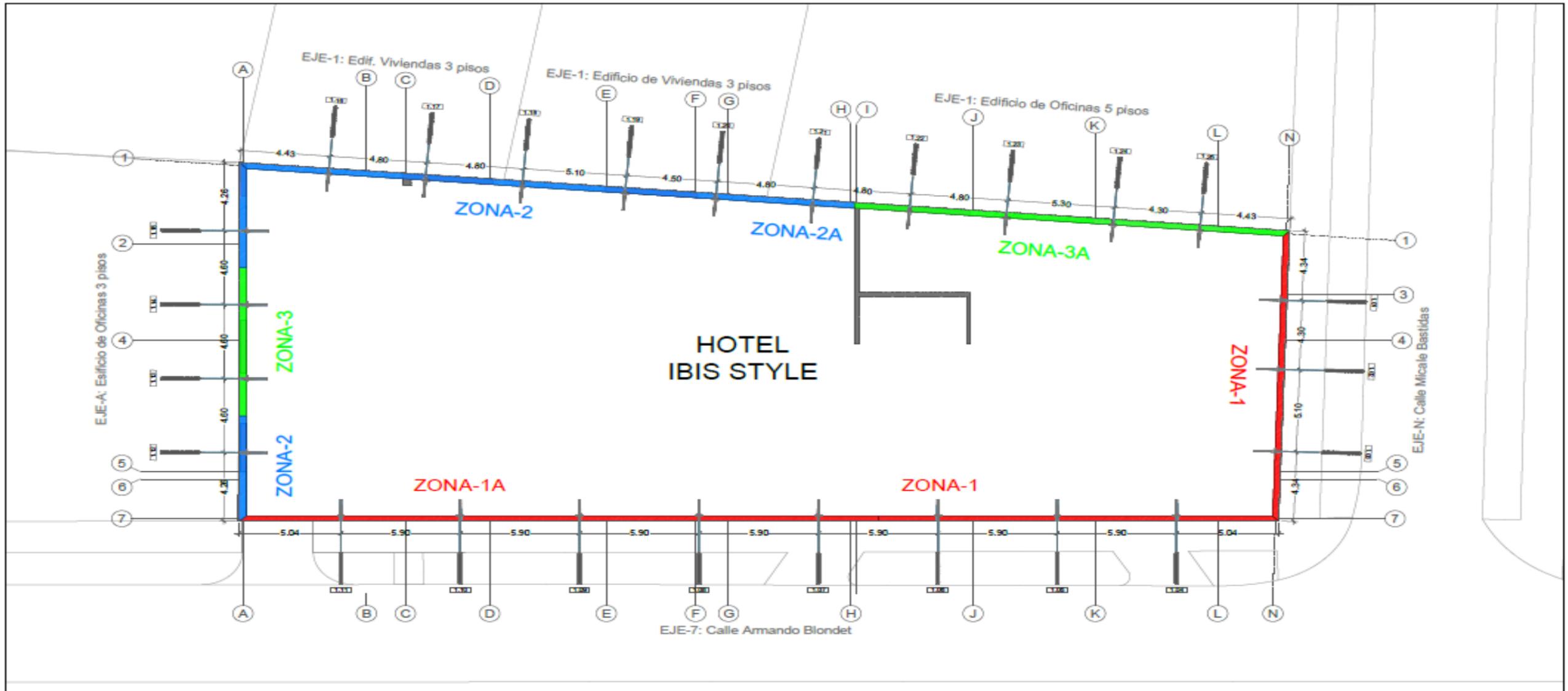
Anexo 4. Planos

- Ubicación de calicatas



Fuente: Geofundaciones del Perú S.A.C. (2019)

- Elevación por Zonas



<b>FIRMA DEL RESPONSABLE:</b> REALIZADO POR <b>GEOFUNDACIONES</b> PROPIEDAD INTELECTUAL Prohibida su Reproducción, Total o Parcial sin Autorización Escrita de <b>Geofundaciones</b> Según ley, decreto legislativo N° 822.		<b>REVISIÓN:</b> 	<b>GRUPO GEO</b> <b>GEOFUNDACIONES DEL PERU S.A.C.</b> "Cimentamos el Futuro" comercial@geofundaciones.pe / www.geofundaciones.pe	<b>LÁMINA N°:</b>  4 DE 7
<b>PROYECTO:</b> Hotel Ibis Style <b>PROPIETARIO:</b> INMOBILIARIA LATIN SUR PERU S.A.C		<b>PLANO:</b> Elevaciones por Zonas <b>UBICACIÓN:</b> Calle Armando Blondet - N° 218/218/230/255 esq. con calle Micaela Bastidas Urd. Santa Ana - Dist. San Isidro - (LIMA).		<b>PROYECTO N°:</b> 2998 - Proyecto Ibis Style San Isidro
<b>APROBADO:</b> Ing. Paul Warthon	<b>REALIZADO:</b> Ing. Gregorio Villacorta	<b>DIBUJO:</b> Arq. Paola Bermudez	<b>ESCALA:</b> 1/150	<b>FECHA:</b> 22/abril/2019

Fuente: Geofundaciones del Perú S.A.C. (2019)

Anexo 5. Resultado de Ensayo de mecánica de suelos.

- Registro del perfil del suelo de la calicata C-1

ESTUDIO N° M4797		REGISTRO DE PERFIL DE SUELOS		LÁMINA N° M4797 - 2
		Sondaje: <b>C-1</b>	Tipo: <b>CALICATA EXCAVADA EN FORMA MANUAL</b>	Proyecto: <b>HOTEL IBIS STYLE, SAN ISIDRO, LIMA</b>
Código: GEO-PROC-TC01-R105 Versión: 03 Fecha: 07/07/16		Cota de Sondaje: ---	Registrado: <b>M. MONDALGO</b>	Revisado: <b>M. MARTINELLI</b>
Este formato es de autoría y propiedad de M&M CONSULTORES S.R.L. POR ENDE SE ENCUENTRA PROHIBIDA TODA DISTRIBUCIÓN Y REPRODUCCIÓN SIN AUTORIZACIÓN DE LA EMPRESA.		Prof. Agua Subterránea: ---	Responsable: <b>J. MACEDO</b>	Fecha de Rev: <b>AGOSTO-2017</b>
		Coordenadas: ---	Fecha ejecución: <b>11/08/2017</b>	Dibujado: <b>R. PAULLO</b>
		Referencia: ---	Profundidad alcanzada: <b>11.00 m</b>	
Prof. (m)	Tipo de Muestra	Simbol	DESCRIPCION	SUCS
			<b>Losa de concreto</b>	
			Relleno. Arena fina, gravosa, arcillosa, medianamente densa, húmeda, marrón claro; con gravas sub redondeadas de 2 pulg de tamaño máximo. Finos de plasticidad baja.	
1.00			Relleno antiguo. Arena fina, gravosa, arcillosa, medianamente densa, húmeda, marrón claro; con gravas sub angulares y sub redondeadas de 3 pulg de tamaño máximo. Finos de plasticidad baja.	SC
			Grava arenosa, mal graduada, medianamente densa, húmeda, marrón plumizo; con piedras sub redondeadas de 6 pulg de tamaño máximo.	GP
2.00				
			Grava arenosa, mal graduada, medianamente densa, húmeda, gris; con piedras y bolones redondeados de 7 pulg de tamaño máximo.	GP
3.00				
			Grava arenosa, mal graduada, densa, húmeda, marrón plumizo; con piedras redondeadas de 6 pulg de tamaño máximo.	GP
4.00				
			Grava arenosa, mal graduada, densa, húmeda, marrón claro; con piedras redondeadas de 6 pulg de tamaño máximo.	GP
5.00				
			Grava arenosa, mal graduada, densa, húmeda, marrón claro; con piedras redondeadas de 6 pulg de tamaño máximo.	GP
6.00				
			Grava arenosa, mal graduada, medianamente densa a densa, húmeda, gris; con piedras y bolones redondeados de 8 pulg de tamaño máximo.	GP
7.00				
			Grava arenosa, mal graduada, medianamente densa a densa, húmeda, gris; con piedras y bolones redondeados de 8 pulg de tamaño máximo.	GP
8.00				
			Grava arenosa, mal graduada, medianamente densa a densa, húmeda, gris; con piedras y bolones redondeados de 8 pulg de tamaño máximo.	GP
9.00				
			Grava arenosa, bien graduada, densa a muy densa, húmeda, marrón plumizo; con piedras y bolones redondeados de 7 pulg de tamaño máximo.	GW
10.00				
TIPOS DE MUESTRAS <input type="checkbox"/> Muestra Alterada en Bolo <input checked="" type="checkbox"/> Muestra Inalterada en Shelby <input checked="" type="checkbox"/> Muestra Inalterada en Bloque <input type="checkbox"/> Muestra Inalterada en Tubo <input checked="" type="checkbox"/> Muestra de Agua Subterránea		OBSERVACIONES:		

Continúa en la Lámina N° M4797-2A



- Análisis Granulométrico del suelo en la calicata C-1



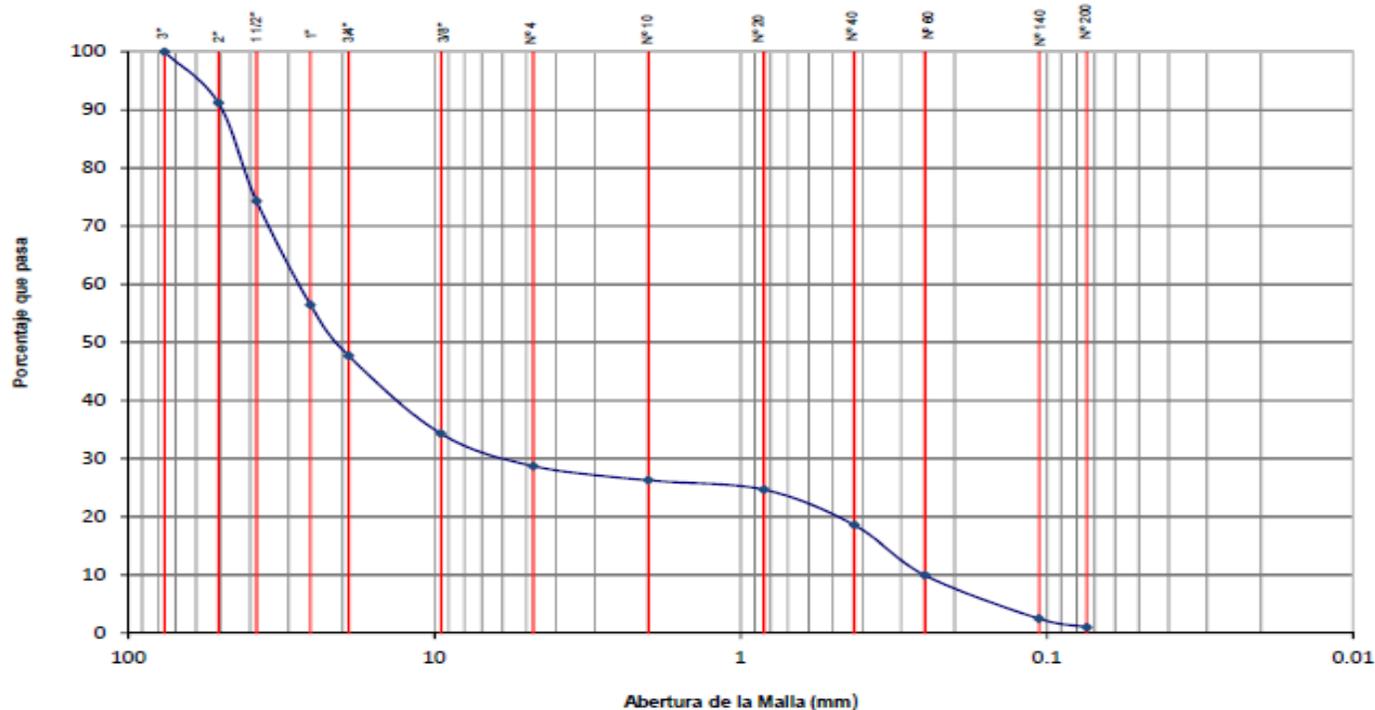
**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**

CÓDIGO: GEO-PROC-T001-RL08      VERSIÓN: 01      FECHA: 14.01.16

**LÁMINA N° M4797-5**

PROYECTO: **HOTEL IBIS STYLE**      UBICACIÓN: **SAN ISIDRO, LIMA**  
 SONDAJE: **C-1**      PROFUNDIDAD: **9.30 - 9.50 m**

BOGOMBIA	GRAVA		ARENA			LIMO Y ARCILLA
	GRUESA	FINA	GRUESA	MEDIA	FINA	



Cu= 109.07
Cc= 4.93
LL= -
LP= NP
IP= NP
SUCS= GP

Fuente: M&M Consultores S.R.L. (2017)

Anexos 6. Panel Fotográfico

- Ubicación de la calicata C-1



Fuente: M&M Fuente: Fuente Consultores S.R.L. (2017)

- Vista hacia el interior de la calicata C-1

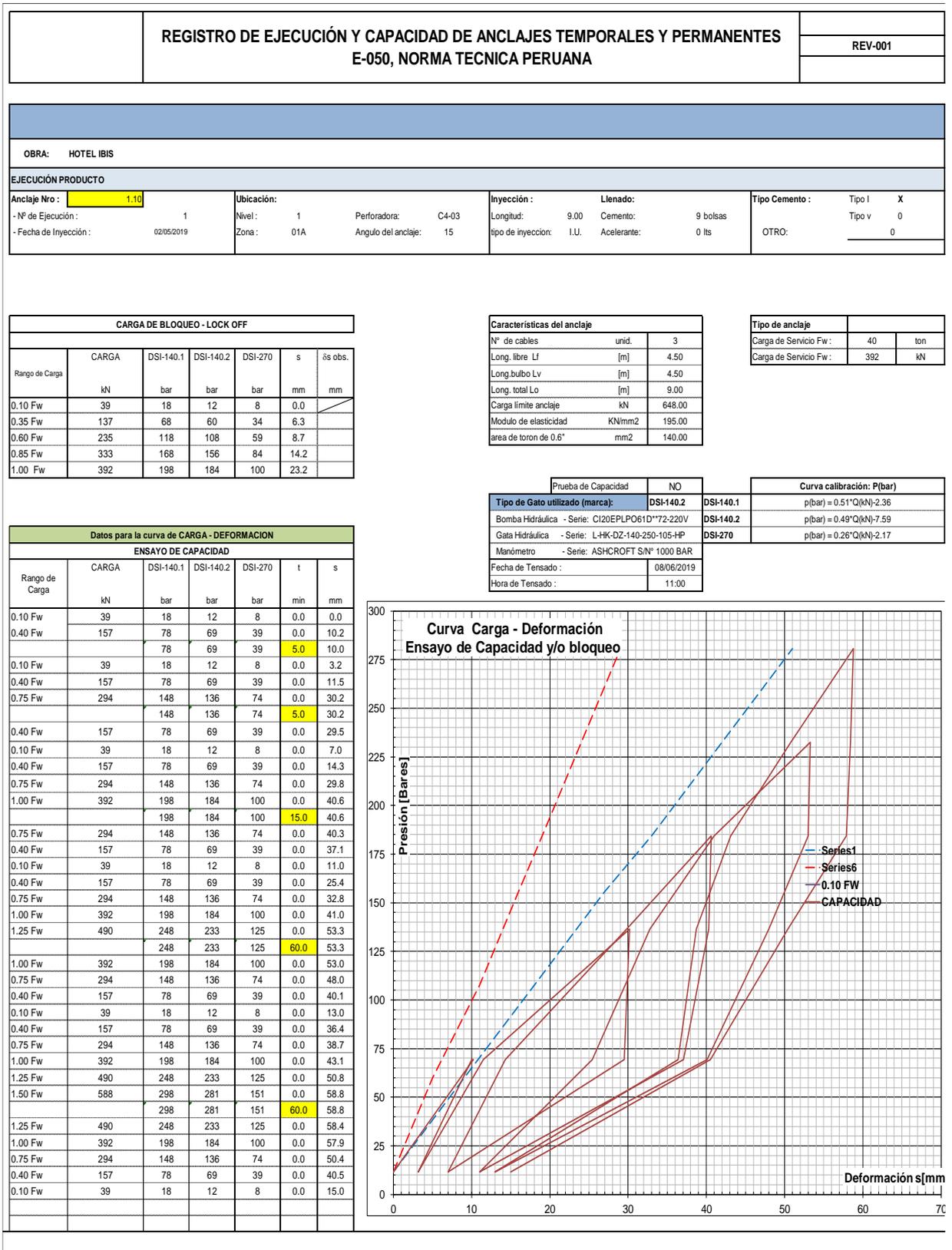


VISTA HACIA EL INTERIOR DE LA CALICATA C-1

Fuente: M&M Consultores S.R.L. (2017)

## Anexo 7. Protocolos del Ensayo de Capacidad.

### - Protocolo del Anclaje 1.10



<b>REGISTRO DE EJECUCIÓN Y CAPACIDAD DE ANCLAJES TEMPORALES Y PERMANENTES E-050, NORMA TECNICA PERUANA</b>	REV-001
--	---------

<b>OBRA: HOTEL IBIS</b>					
<b>EJECUCIÓN PRODUCTO</b>					
Anclaje Nro : 1.10	Ubicación:	Inyección :	Llenado:	Tipo Cemento :	Tipo I X Tipo v 0
- Nº de Ejecución : 1	Nivel : 1 Perforadora: C4-03	Longitud: 9.00	Cemento: 9 bolsas	OTRO:	0
- Fecha de Inyección : 02/05/2019	Zona : 01A Angulo del anclaje: 15	tipo de inyección: I.U.	Acelerante: 0 lts		

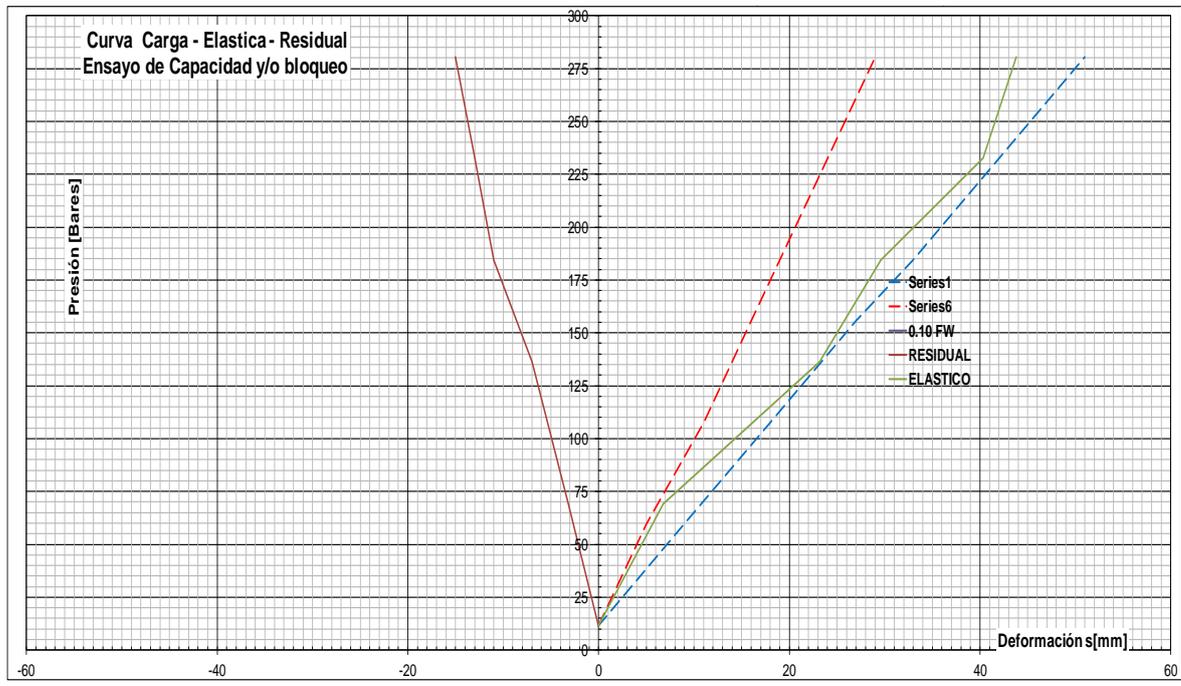
CARGA DE BLOQUEO - LOCK OFF						
Rango de Carga	CARGA	DSI-140.1	DSI-140.2	DSI-270	s	ús obs.
	kN	bar	bar	bar	mm	mm
0.10 Fw	39	18	12	8	0.0	
0.35 Fw	137	68	60	34	6.3	6.3
0.60 Fw	235	118	108	59	8.7	2.4
0.85 Fw	333	168	156	84	14.2	5.5
1.00 Fw	392	198	184	100	23.2	9.0

Características del anclaje	
Nº de cables	unid. 3
Long. libre Lf	[m] 4.50
Long. bulbo Lv	[m] 4.50
Long. total Lo	[m] 9.00
Carga límite anclaje	kN 648.00
Modulo de elasticidad	KN/mm2 195.00
area de toron de 0.6"	mm2 140.00

Tipo de anclaje	Cables - 3
Carga de Servicio Fw :	40 ton
Carga de Servicio Fw :	392 kN

Datos para la curva de ELASTICO - RESIDUAL					
CICLO	%CARGA	CARGA(Bar)	S	ELASTICO	RESIDUAL
1	0.40 Fw	69	10.0	0	0
	0.10 Fw	12	3.2	6.8	-3.2
2	0.75 Fw	136	30.2	0	0
	0.10 Fw	12	7.0	23	-7
3	1.00 Fw	184	40.6	0	0
	0.10 Fw	12	11.0	30	-11
4	1.25 Fw	233	53.3	0	0
	0.10 Fw	12	13.0	40	-13
5	1.50 Fw	281	58.8	0	0
	0.10 Fw	12	15.0	44	-15

Prueba de Aceptación	NO	Curva calibración: P(bar)	
Tipo de Gato utilizado (marca):	DSI-140.2	DSI-140.1	p(bar) = 0.51*Q(KN)-2.36
Bomba Hidráulica - Serie:	C120EPLP061D**72-220V	DSI-140.2	p(bar) = 0.49*Q(KN)-7.59
Gata Hidráulica - Serie:	L-HK-DZ-140-250-105-HP	DSI-270	p(bar) = 0.28*Q(KN)-2.17
Manómetro - Serie:	ASHCROFT S/N° 1000 BAR		
Fecha de Tensado :	08/06/2019		
Hora de Tensado :	11.00		



Fuente: Elaboración propia (2019)

- Protocolos del Anclaje 2.20

<b>REGISTRO DE EJECUCIÓN Y CAPACIDAD DE ANCLAJES TEMPORALES Y PERMANENTES E-050, NORMA TECNICA PERUANA</b>	REV-001
--	---------

<b>OBRA:</b> HOTEL IBIS							
<b>EJECUCIÓN PRODUCTO</b>							
<b>Anclaje Nro :</b> 2.20		<b>Ubicación:</b>		<b>Inyección :</b>	<b>Llenado:</b>	<b>Tipo Cemento :</b>	Tipo I X
- Nº de Ejecución :	2	Nivel :	2	Longitud: 10.30	Cemento: 9 bolsas	Tipo v	0
- Fecha de Inyección :	03/05/2019	Zona :	2	Perforadora: C4-03	Acelerante: 0 lts	OTRO:	0
				Angulo del anclaje: 15			

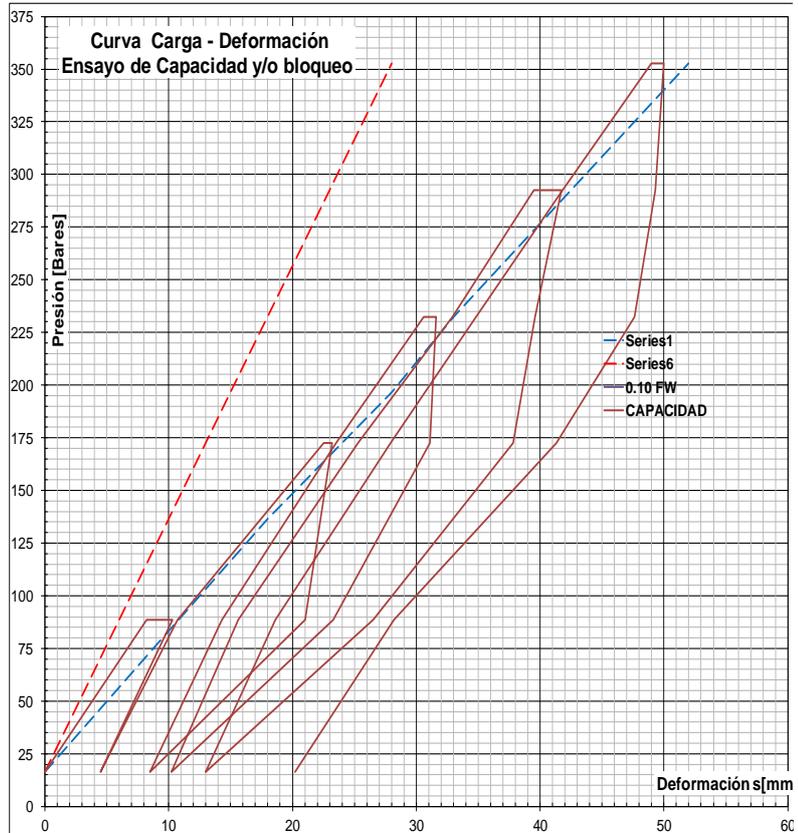
CARGA DE BLOQUEO - LOCK OFF						
Rango de Carga	CARGA	DSI-140.1	DSI-140.2	DSI-270	s	ds obs.
	kN	bar	bar	bar	mm	mm
0.10 Fw	49	23	16	11	0.0	
0.35 Fw	172	85	76	42	9.4	
0.60 Fw	294	148	136	74	17.5	
0.85 Fw	417	210	196	106	27.5	
1.00 Fw	490	248	233	125	30.0	

Características del anclaje		
Nº de cables	unid.	4
Long. libre Lf	[m]	4.50
Long. bulbo Lv	[m]	5.80
Long. total Lo	[m]	10.30
Carga límite anclaje	kN	864.00
Modulo de elasticidad	KN/mm2	195.00
area de toron de 0.6"	mm2	140.00

Tipo de anclaje		
Carga de Servicio Fw :	50	ton
Carga de Servicio Fw :	490	kN

Prueba de Capacidad	NO	Curva calibración: P(bar)
Tipo de Gato utilizado (marca):	DSI-140.2	p(bar) = 0.51*Q(kN)-2.36
Bomba Hidráulica - Serie:	CI20EPLPO61D**72-220V	DSI-140.1
Gata Hidráulica - Serie:	L-HK-DZ-140-250-105-HP	DSI-140.2
Manómetro - Serie:	ASHCROFT S/Nº 1000 BAR	DSI-270
Fecha de Tensado :	08/06/2019	p(bar) = 0.49*Q(kN)-7.59
Hora de Tensado :	11:00	p(bar) = 0.26*Q(kN)-2.17

Datos para la curva de CARGA - DEFORMACION						
ENSAYO DE CAPACIDAD						
Rango de Carga	CARGA	DSI-140.1	DSI-140.2	DSI-270	t	s
	kN	bar	bar	bar	min	mm
0.10 Fw	49	23	16	11	0.0	0.0
0.40 Fw	196	98	88	49	0.0	8.2
		98	88	49	5.0	10.3
0.10 Fw	49	23	16	11	0.0	4.5
0.40 Fw	196	98	88	49	0.0	10.7
0.75 Fw	368	185	172	93	0.0	22.5
		185	172	93	5.0	23.2
0.40 Fw	196	98	88	49	0.0	21.0
0.10 Fw	49	23	16	11	0.0	8.5
0.40 Fw	196	98	88	49	0.0	14.3
0.75 Fw	368	185	172	93	0.0	23.5
1.00 Fw	490	248	233	125	0.0	30.6
		248	233	125	15.0	31.6
0.75 Fw	368	185	172	93	0.0	31.1
0.40 Fw	196	98	88	49	0.0	23.3
0.10 Fw	49	23	16	11	0.0	10.2
0.40 Fw	196	98	88	49	0.0	15.6
0.75 Fw	368	185	172	93	0.0	25.3
1.00 Fw	490	248	233	125	0.0	32.9
1.25 Fw	613	310	293	157	0.0	39.5
		310	293	157	60.0	41.7
1.00 Fw	490	248	233	125	0.0	39.6
0.75 Fw	368	185	172	93	0.0	37.8
0.40 Fw	196	98	88	49	0.0	26.5
0.10 Fw	49	23	16	11	0.0	13.0
0.40 Fw	196	98	88	49	0.0	18.6
0.75 Fw	368	185	172	93	0.0	27.9
1.00 Fw	490	248	233	125	0.0	34.8
1.25 Fw	613	310	293	157	0.0	41.8
1.50 Fw	735	372	353	189	0.0	49.0
		372	353	189	60.0	50.0
1.25 Fw	613	310	293	157	0.0	49.3
1.00 Fw	490	248	233	125	0.0	47.6
0.75 Fw	368	185	172	93	0.0	41.3
0.40 Fw	196	98	88	49	0.0	28.2
0.10 Fw	49	23	16	11	0.0	20.2



<b>REGISTRO DE EJECUCIÓN Y CAPACIDAD DE ANCLAJES TEMPORALES Y PERMANENTES E-050, NORMA TECNICA PERUANA</b>	REV-001
--	---------

<b>OBRA: HOTEL IBIS</b>					
<b>EJECUCIÓN PRODUCTO</b>					
Anclaje Nro : 2,20	Ubicación:		Inyección :	Llenado:	Tipo Cemento :
- Nº de Ejecución : 2	Nivel : 2	Perforadora: C4-03	Longitud: 10.30	Cemento: 9 bolsas	Tipo I X
- Fecha de Inyección : 03/05/2019	Zona : 2	Angulo del anclaje: 15	tipo de inyección: I.U.	Acelerante: 0 lts	Tipo v 0
					OTRO: 0

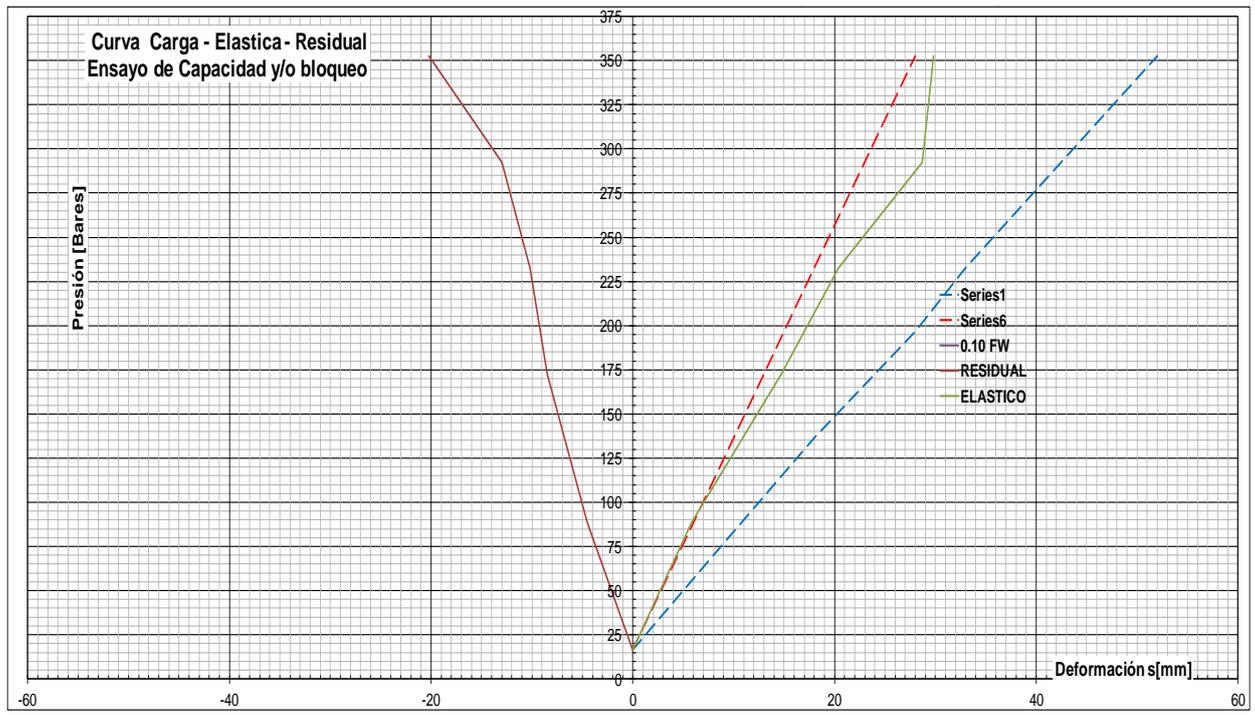
CARGA DE BLOQUEO - LOCK OFF						
Rango de Carga	CARGA	DSI-140.1	DSI-140.2	DSI-270	s	ús obs.
	kN	bar	bar	bar	mm	mm
0.10 Fw	49	23	16	11	0.0	
0.35 Fw	172	85	76	42	9.4	
0.60 Fw	294	148	136	74	17.5	
0.85 Fw	417	210	196	106	27.5	
1.00 Fw	490	248	233	125	30.0	

Características del anclaje		
Nº de cables	unid.	4
Long. libre Lf	[m]	4.50
Long. bulbo Lv	[m]	5.80
Long. total Lo	[m]	10.30
Carga límite anclaje	kN	864.00
Modulo de elasticidad	KN/mm2	195.00
area de toron de 0.6"	mm2	140.00

Tipo de anclaje	Cables	4
Carga de Servicio Fw:	50	ton
Carga de Servicio Fw:	490	kN

Prueba de Aceptación		NO	Curva calibración: P(bar)
Tipo de Gato utilizado (marca):	DSI-140.2	DSI-140.1	p(bar) = 0.51*Q(kN)-2.36
Bomba Hidráulica - Serie:	Cl20EPLPO61D**72-220V	DSI-140.2	p(bar) = 0.49*Q(kN)-7.59
Gata Hidráulica - Serie:	LHK-DZ-140-250-105-HP	DSI-270	p(bar) = 0.26*Q(kN)-2.17
Manómetro - Serie:	ASHCROFT SNº 1000 BAR		
Fecha de Tensado :	08/06/2019		
Hora de Tensado :	11:00		

Datos para la curva de ELASTICO-RESIDUAL					
CICLO	%CARGA	CARGA(Bar)	S	ELASTICO	RESIDUAL
1	0.40 Fw	88	10.3	0	0
	0.10 Fw	16	4.5	5.8	-4.5
2	0.75 Fw	172	23.2	0	0
	0.10 Fw	16	8.5	15	-9
3	1.00 Fw	233	30.6	0	0
	0.10 Fw	16	10.2	20	-10
4	1.25 Fw	293	41.7	0	0
	0.10 Fw	16	13.0	29	-13
5	1.50 Fw	353	50.0	0	0
	0.10 Fw	16	20.2	30	-20



Fuente: Elaboración propia (2019)

## Anexo 8. Equipos para el Ensayo de Capacidad

- Equipos de protección personal para el ensayo de capacidad

(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)



Fuente: Geo fundaciones del Perú (2019)

- Equipos y herramientas para el ensayo de capacidad

(a)

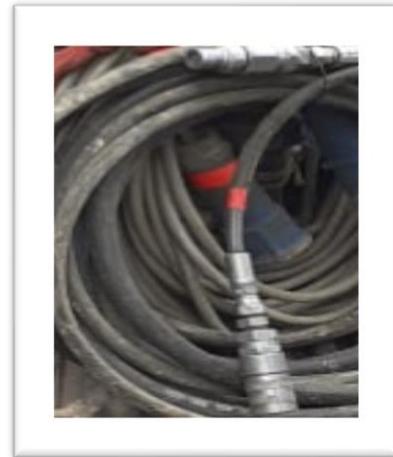
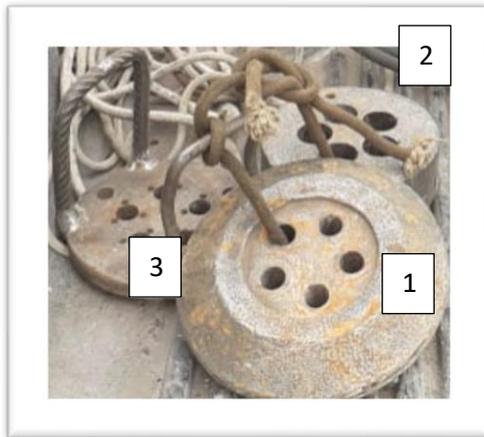


(b)



(c)

(d)



(e)

(f)



Fuente: Geo fundaciones del Perú (2019)

Anexo 9. Certificados de los Equipos para el Ensayo de Capacidad

- Certificados de calibración de la gata hidráulica.

LABORATORIO DE  
ESTRUCTURAS  
ANTISISMICAS



INFORME TECNICO

EXPEDIENTE : **INF-LE 034-19 A**

SOLICITANTE : **GEOFUNDACIONES DEL PERU S.AC.**  
Av. Los Faisanes N°170 Int. D,  
Urb. La Campiña, Chorrillos- Lima  
Control de Calidad  
Alt.: Ing° Roberto Guerrero

TITULO : **CALIBRACIÓN DE GATA HIDRAULICA**  
DSI Parker-Hannifin GmbH, L-HK-DZ-270-250-130-HP, S/N°  
140 tn; Manómetro Digital, ASHCROFT, S/N°, 1000 bar;  
Bomba Hidráulica, SUSPA DSI Parker Hannifin GmbH,  
CI20EPLPO61D2572-220V., 700 bar.

FECHA : San Miguel, 26 de febrero del 2019



  
Ing° Daniel E. Torrealva D.  
Jefe del Laboratorio de  
Estructuras Antisísmicas-PUCP

## CALIBRACION DE GATA HIDRAULICA

### 1. GENERALIDADES.

GEOFUNDACIONES DEL PERU S.A.C. solicitó al Laboratorio de Estructuras Antisísmicas de la Pontificia Universidad Católica del Perú efectuar la calibración del comportamiento bajo carga de una gata hidráulica, con su respectivo indicador (manómetro) digital.

La calibración se efectuó en el Laboratorio de Estructuras el día viernes 22 de febrero del 2018, siendo la temperatura ambiental 27°C.

### 2. EQUIPO CALIBRADO.

Gata Hidráulica de doble efecto :

- Marca : DSI Parker Hannifin GmbH
- Modelo, SN<sup>o</sup>: L-HK-DZ-140-250-105-HP, NIT
- Capacidad : 140 ton. (Nominal)
- Indicador : Manómetro, ASHCROFT, Digital, SN<sup>o</sup>, 1000 bar.
- Bomba Hidráulica, Eléctrica, SUSPA DSI Parker Hannifin GmbH, C120EPLP081D\*\*72-220V, 700 bar.

### 4. EQUIPO EMPLEADO.

- Pórtico de perfiles mecáno.
- Celda HBM, CSA, N<sup>o</sup> CC2MN, 2 MN, calibrada el 2016-08-22, con celdas PATRON, en el Laboratorio de Estructuras de la PUCP.
- Celdas PATRON HBM: C18, 00284LEC, 2 MN y C3H3, G80084, 100 TON, calibradas el 2016-10-17 y 2016-09-23 respectivamente, en el Laboratorio DKD de Alemania y en el National Standards Testing Laboratory en Maryland, USA.
- Amplificador HBM, MGC plus.
- Termohigrómetro CONTROL COMPANY

### 4. PROCEDIMIENTO.

La calibración se hizo tomando como referencia la norma ASTM E4-14 y consistió en la aplicación de series de carga progresivas a la celda de carga mediante la misma gata interpuesta en el sistema de reacción. En cada serie, para los niveles de carga indicados en el manómetro digital, se registraron las lecturas de las cargas PATRON en el amplificador de la celda. Esta operación fue efectuada por personal del Laboratorio de Estructuras con la participación del Técnico Sr. Hugo Lozano.

### 5. RESULTADOS.

En la TABLA 1 se presentan las tres series de lecturas obtenidas, la serie promedio corregido correspondiente (FUERZA PATRON), el ajuste que mejor se acomode a los resultados, el error relativo del ajuste con respecto al Patrón y la repetitividad para los diferentes valores leídos en el indicador correspondiente.

Con el ajuste obtenido se elaboró la TABLA DE CALIBRACION.

TABLA N° 1  
CALIBRACION DE EQUIPO DE TENSADO

Gata, DSI Parker Hannifin GmbH, L-HK-DZ-140-260-105-HP, S/N°, 140 ton  
Manómetro Digital, ASHCROFT, S/N°, 1000 bar  
Bomba Eléctrica, SUSPA DSI Parker Hannifin GmbH, N°CI20EPLP061D\*\*72-220V, 700 bar

L LECTURA MANOMETRO BAR	SERIES DE VERIFICACION ( ton )			P FUERZA PATRON ( KG )	Er ERROR ( % )	Rp RPTBLD ( % )
	Primera	Segunda	Tercera			
50	0.4601	0.4534	0.4485	9,590	-0.7	2.5
100	0.9160	0.9175	0.9130	18,977	0.2	0.5
150	1.3690	1.3792	1.3788	28,476	0.1	0.7
200	1.8364	1.8857	1.8415	38,087	-0.2	2.6
300	2.7642	2.7757	2.7718	56,744	0.4	0.4
400	3.6875	3.7753	3.7072	76,163	-0.3	2.4
500	4.6107	4.6588	4.6253	94,689	0.2	1.0
600	5.6004	5.5653	5.6160	114,332	-0.5	0.9
640	5.8850	5.9161	5.9600	120,999	0.3	1.3

**NOTAS:**

- 1- Se calibró tomando como referencia el Método C de la norma ASTM E 4 - 14.
- 2- Se calibró hasta aproximadamente 85% de su capacidad.
- 3- Er, error relativo del valor ajustado con respecto al patrón.  $Er(\%) = (Y-P)/P \times 100$
- 4- Fecha de calibración: 2019-02-22
- 5- Resultados.
  - a) Coef.de Correlación:  $r = 0.999979$
  - b) Ecuación de ajuste:  $Y = A + B X + C X^2$   
 donde :  $A = 16.7402702867$   
 $B = 193.1044663400$   
 $C = -0.0007443695$   
 $X$  : Lectura del MANOMETRO, en BAR  
 $Y$  : Fuerza PATRON ajustada, en KG.
  - c) Esta ecuación no reemplaza a la fuerza PATRON y su empleo, bajo las condiciones indicadas, es opcional.
- 7- Los resultados obtenidos son válidos solamente dentro del intervalo indicado.

TABLA DE CALIBRACION

Solicitante: GEOFUNDACIONES DEL PERU S.A.C.  
 Gata, DSI Parker Hannifin GmbH, L-HK-DZ-140-250-105-HP, S/N\*, 140 ton  
 Bomba Eléctrica, SUSPA DSI Parker Hannifin GmbH, N°CI20EPLP061D\*\*72-220V, 700 bar  
 Manómetro Digital, ASHCROFT, S/N\*, 1000 bar  
 Fecha de Calibración: 2019-02-22, Condiciones Ambientales: 27°C  
 Coef.de Correlación: r = 0.999979 Y: Fuerza PATRON ajustada, en KG.  
 Ecuación de Ajuste: Y = A + B X + C X<sup>2</sup> X: Lectura del MANOMETRO, en BAR  
 A = 16.74327 B = 166.106698 C = -0.00074

NOTA: El uso de esta TABLA, bajo las condiciones indicadas al pie de la TABLA 1, es opcional.

Indicador BAR	Fuerza en Kilogramos									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
50	9,520	9,710	9,900	10,090	10,280	10,470	10,660	10,850	11,040	11,230
60	11,420	11,610	11,800	11,990	12,180	12,370	12,560	12,750	12,940	13,130
70	13,320	13,510	13,700	13,890	14,080	14,270	14,460	14,650	14,840	15,030
80	15,220	15,410	15,600	15,790	15,980	16,170	16,360	16,550	16,740	16,930
90	17,120	17,310	17,500	17,690	17,880	18,070	18,260	18,450	18,640	18,830
100	19,020	19,210	19,400	19,590	19,780	19,970	20,159	20,349	20,539	20,729
110	20,919	21,109	21,299	21,489	21,679	21,869	22,059	22,249	22,439	22,629
120	22,819	23,008	23,198	23,388	23,578	23,768	23,958	24,148	24,338	24,528
130	24,718	24,908	25,098	25,287	25,477	25,667	25,857	26,047	26,237	26,427
140	26,617	26,807	26,997	27,186	27,376	27,566	27,756	27,946	28,136	28,326
150	28,516	28,706	28,895	29,085	29,275	29,465	29,655	29,845	30,035	30,225
160	30,414	30,604	30,794	30,984	31,174	31,364	31,554	31,743	31,933	32,123
170	32,313	32,503	32,693	32,883	33,072	33,262	33,452	33,642	33,832	34,022
180	34,211	34,401	34,591	34,781	34,971	35,161	35,350	35,540	35,730	35,920
190	36,110	36,300	36,489	36,679	36,869	37,059	37,249	37,438	37,628	37,818
200	38,008	38,198	38,387	38,577	38,767	38,957	39,147	39,336	39,526	39,716
210	39,806	40,006	40,205	40,405	40,605	40,805	41,005	41,204	41,404	41,604
220	41,804	41,999	42,193	42,393	42,593	42,793	42,992	43,192	43,392	43,592
230	43,701	43,891	44,081	44,271	44,460	44,650	44,840	45,030	45,219	45,409
240	45,599	45,789	45,978	46,168	46,358	46,548	46,737	46,927	47,117	47,307
250	47,496	47,686	47,876	48,066	48,255	48,445	48,635	48,824	49,014	49,204
260	49,394	49,583	49,773	49,963	50,152	50,342	50,532	50,722	50,911	51,101
270	51,291	51,480	51,670	51,860	52,049	52,239	52,429	52,619	52,808	52,998
280	53,188	53,377	53,567	53,757	53,946	54,136	54,326	54,515	54,705	54,895
290	55,084	55,274	55,464	55,653	55,843	56,033	56,222	56,412	56,602	56,791
300	56,981	57,171	57,360	57,550	57,740	57,929	58,119	58,309	58,498	58,688
310	58,878	59,067	59,257	59,447	59,636	59,826	60,015	60,205	60,395	60,584
320	60,774	60,964	61,153	61,343	61,532	61,722	61,912	62,101	62,291	62,481
330	62,670	62,860	63,049	63,239	63,429	63,618	63,808	63,997	64,187	64,377
340	64,566	64,756	64,945	65,135	65,325	65,514	65,704	65,893	66,083	66,273
350	66,462	66,652	66,841	67,031	67,220	67,410	67,600	67,789	67,979	68,168
360	68,358	68,547	68,737	68,927	69,116	69,306	69,495	69,685	69,874	70,064
370	70,253	70,443	70,633	70,822	71,012	71,201	71,391	71,580	71,770	71,959
380	72,149	72,338	72,528	72,718	72,907	73,097	73,286	73,476	73,665	73,855
390	74,044	74,234	74,423	74,613	74,802	74,992	75,181	75,371	75,560	75,750
400	76,939	77,129	77,318	77,508	77,697	77,887	78,076	78,266	78,455	78,645

034-10 A



Fuente: Laboratorio de estructuras antisísmicas – PUCP (2019)

- Certificados de calidad de las tuberías para los anclajes postensados



### CERTIFICADO DE CALIDAD N° 1454-2019

**1. DATOS GENERALES:**

Cliente	SISTEMAS DE PERFORACIÓN Y GEOTECNIA S.A.C.		
Producto	Manguera LDPE 20mm x 1.3mm	Cantidad (m)	7500

**2. RESULTADOS DE LA TUBERÍA<sup>1</sup>:**

N°	CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICACIÓN	METODO DE ENSAYO	RESULTADO
1	Espesor Mínimo (mm)	1.3	NTP - ISO 3126	1.36 – 1.45
2	Diámetro (mm)	19.8 – 20.3	NTP - ISO 3126	20.0
4	Aspecto	Superficie interna y externa lisa.	Inspección visual	Superficie interna y externa lisa.

- PERIODO DE PRODUCCIÓN: Del 06/09/19 al 07/09/19.
- DOCUMENTO DE REFERENCIA: F001 – 00007694.
- FECHA DE EMISIÓN: 18/09/2019.
- INFORMACION ADICIONAL: Ninguna.

**Calidad Plástica S.A.C.**

-----  
*Ing. Jaime Flores L.*  
 Jefe de Asesoramiento de Calidad

<sup>1</sup> Los resultados del presente documento aplican solo para el lote de tuberías suministrado. Las pruebas se realizan en las instalaciones de Calidad Plástica S.A.C.

CT: 10081 y 10082.

ASECA-05 V02 030117

Av. Maquinarias 2021 Urb. San Remo Lima, Perú, Distrito de Lima

## CERTIFICADO DE CALIDAD N° 1472-2019

### 1. DATOS GENERALES:

Cliente	SISTEMAS DE PERFORACION Y GEOTECNIA S.A.C.		
Norma de Fabricación	NTP - ISO 4427 - 2 Sistema de Tuberías Plásticas. Tubos de polietileno (PE) y conexiones para abastecimiento de agua. Parte 2: Tubos		
Producto	Tubo de 20mm PN 16 PE 100 - Blanco	Cantidad (m)	5500

### 2. RESULTADOS DE LA TUBERÍA<sup>1</sup>:

N°	CARACTERÍSTICAS	ESPECIFICACIÓN	METODO DE ENSAYO	RESULTADO
1	Espesor (mm)	2.0 - 2.3	NTP - ISO 3126	2.09 - 2.21
2	Diámetro (mm)	20.0 - 20.3	NTP - ISO 3126	20.1
3	Ovalidad Máxima <sup>2</sup> (mm)	1.2	NTP - ISO 3126	No aplica
4	Elongación a la ruptura (%)	≥ 350	ISO 6259	1026.24
5	Tiempo de inducción a la oxidación (min.)	≥ 20	ISO 11357-6	56.9
6	Reversión Longitudinal (%)	≤ 3	NTP - ISO 2505	1.1
7	Índice de Fluidéz (%)	+/- 20% por el procesamiento.	ISO 1133	5.58
8	Resistencia a la Presión Hidrostática <sup>3</sup>	No se deben presentar fallos a la presión de 3.1Mpa, a 20°C y durante el tiempo de 1 hr.	NTP - ISO 1167	Sin fallos.
9	Aspecto	Superficie interna y externa lisa.	Inspección visual	Superficie interna y externa lisa.

3. PERIODO DE PRODUCCIÓN: 10/09/19.

4. DOCUMENTO DE REFERENCIA: F001 - 00007694.

5. FECHA DE EMISIÓN: 18/09/2019.

6. INFORMACION ADICIONAL: Ninguna.

*Calidad Plástica S.A.C.*  
  
**Ing. Jaime Flores L.**  
 Jefe de Asesoramiento de Calidad

<sup>1</sup> Los resultados del presente documento aplican solo para el lote de tuberías suministrado. Las pruebas se realizan en las instalaciones de Calidad Plástica S.A.C.

<sup>2</sup> Este valor se aplica solo para tubería en tramos. Asimismo, este se puede ver afectado durante el transporte y el almacenamiento de las tuberías.

<sup>3</sup> El resultado de esta prueba no debe interpretarse como su desempeño en campo, debido a que esta se realiza bajo condiciones controladas de presión y temperatura en las instalaciones de Calidad Plástica S.A.C.

CT: Del 10089 al 10090.

ASECA-05 V02 030117

Av. Maquinarias 2021 Urb. San Remo Lima, Perú, Distrito de Lima

## CERTIFICADO DE CALIDAD N° 1469-2019

### 1. DATOS GENERALES:

Cliente	SISTEMAS DE PERFORACION Y GEOTECNIA S.A.C.		
Norma de Fabricación	NTP - ISO 4427 - 2 Sistema de Tuberías Plásticas. Tubos de polietileno (PE) y conexiones para abastecimiento de agua. Parte 2: Tubos		
Producto	Tubo de 20mm PN 16 PE 100 - Azul	Cantidad (m)	4000

### 2. RESULTADOS DE LA TUBERIA<sup>1</sup>:

N°	CARACTERISTICAS	ESPECIFICACIÓN	METODO DE ENSAYO	RESULTADO
1	Espesor (mm)	2.0 - 2.3	NTP - ISO 3126	2.08 - 2.18
2	Diámetro (mm)	20.0 - 20.3	NTP - ISO 3126	20.1
3	Ovalidad Máxima <sup>2</sup> (mm)	1.2	NTP - ISO 3126	No aplica
4	Elongación a la ruptura (%)	≥ 350	ISO 6259	1212.72
5	Tiempo de inducción a la oxidación (min.)	≥ 20	ISO 11357-6	58.2
6	Reversión Longitudinal (%)	≤ 3	NTP - ISO 2505	1.0
7	Índice de Fluidez (%)	+/- 20% por el procesamiento.	ISO 1133	13.85
8	Resistencia a la Presión Hidrostática <sup>3</sup>	No se deben presentar fallos a la presión de 3.1Mpa, a 20°C y durante el tiempo de 1 hr.	NTP - ISO 1167	Sin fallos.
9	Aspecto	Superficie interna y externa lisa.	Inspección visual	Superficie interna y externa lisa.

3. PERIODO DE PRODUCCIÓN: Del 09/09/19 al 10/09/19.

4. DOCUMENTO DE REFERENCIA: F001 - 00007694.

5. FECHA DE EMISIÓN: 18/09/2019

6. INFORMACION ADICIONAL: Ninguna.

  
**Calidad Plástica S.A.C.**  
**Ing. Jaime Flores L.**  
 Jefe de Aseguramiento de Calidad

<sup>1</sup> Los resultados del presente documento aplican solo para el lote de tuberías suministrado. Las pruebas se realizan en las instalaciones de Calidad Plástica S.A.C.

<sup>2</sup> Este valor se aplica solo para tubería en tramos. Asimismo, este se puede ver afectado durante el transporte y el almacenamiento de las tuberías.

<sup>3</sup> El resultado de esta prueba no debe interpretarse como su desempeño en campo, debido a que esta se realiza bajo condiciones controladas de presión y temperatura en las instalaciones de Calidad Plástica S.A.C.

CT: 10088 y 10089.

ASECA-05 V02 030117

Av. Maquinarias 2021 Urb. San Remo Lima, Perú, Distrito de Lima