

ENSAYOS PARA PARAMETRIZAR LA INTERACCIÓN SUELO- ESTRUCTURA EN EL PERMAFROST ANTÁRTICO

Abbona Gimenez, Gustavo Federico^a; Abbona, Pablo Victor^a

^aAbbona Ingeniería, abbonaingenieria@gmail.com

Palabras clave: Antártida Argentina, Base Petrel, Permafrost, Estudio de suelos, Interacción suelo estructura.

RESUMEN

El presente trabajo expone la experiencia de la realización de un estudio de suelos para la construcción de la nueva casa principal de la Base Antártica Conjunta Petrel, en el territorio antártico argentino.

Para la realización de dicho estudio y de acuerdo con el estado de solicitudes definido como mas severo para dicha estructura, se ejecutaron ensayos de tracción o "Pull Out", sobre barras de acero previamente insertadas en el permafrost antártico, en un entorno de trabajo con condiciones climáticas extremas.

ABSTRACT

This paper presents the experience of conducting a soil study for the construction of the new main house at the Petrel Joint Antarctic Base, located in the Argentine Antarctic Territory.

To carry out this study, and in accordance with the most severe stress conditions defined for the structure, 'Pull Out tensile tests were performed on steel bars previously embedded in the Antarctic permafrost, within a working environment characterized by extreme weather conditions.

INTRODUCCION

El estudio realizado en el año 2022 tuvo por finalidad reconocer las propiedades físicas y mecánicas del terreno en donde se construirá la nueva casa principal de la Base Conjunta Antártica Petrel, a fin de determinar la probable cota y tipo de fundación para la construcción.

Se ha proyectado una estructura metálica de una planta, con cargas máximas por apoyo de alrededor de 50 toneladas en compresión y 25 toneladas en tracción.

UBICACIÓN

La Base Antártica Conjunta Petrel se encuentra ubicada en el Cabo Welchness, en la Isla Dundee, coordenadas 63°28'S - 56° 17'O, al pie del glaciar Rosamaría (Figura 1).

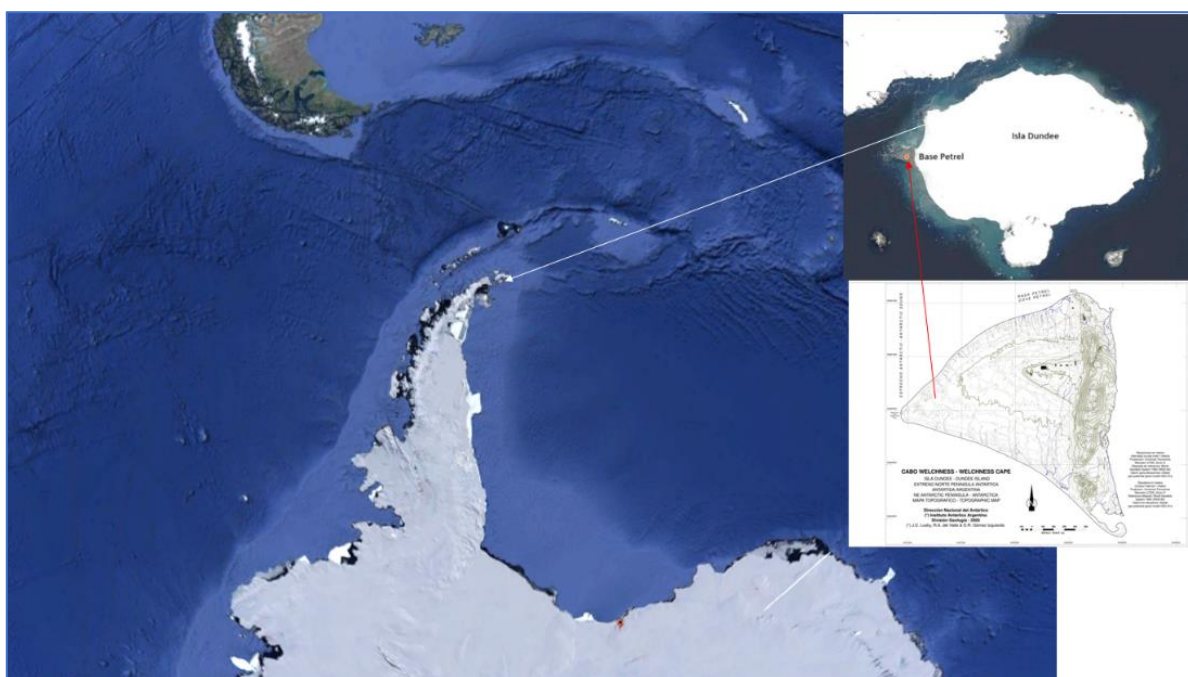


Figura 1. Ubicación de la Base Antártica Conjunta Petrel.

HISTORIA DE LA BASE

La Base Antártica Conjunta Petrel fue inicialmente construida como refugio de verano y depósito de combustible en el año 1952, funcionando como tal hasta el año 1967, momento en el que pasó a ser base permanente. En el invierno de 1974 un incendio destruyó la casa principal. En 1978 volvió a ser base de verano.

En el año 2021 se toma la decisión de que la base vuelva a ser base permanente, por lo que el año 2022 se le solicita a la dotación la reapertura y re acondicionamiento de los edificios de la base a tal fin, en función de un proyecto más amplio que implica la

construcción de una base de última generación pensando en conformar un nodo logístico que permita a la base brindar servicios logísticos y científicos para el Programa Antártico Argentino, programas de otros países y servicios a buques turísticos. Es decir se busca transformarla en la puerta de ingreso a la Antártida, compitiendo directamente con bases de otros países, tales como Estados Unidos, China, Reino Unido y Chile.

Dentro del Proyecto Petrel se contempla la construcción de una casa modular, con capacidad para alojar 60 personas permanentes, laboratorio científico, un muelle con capacidad para brindar servicio de puertos a buques polares y rompehielos, dos pistas de aterrizaje de 1800 m. y 1200 m. que permitan el aterrizaje y operación de los aviones de carga Hércules C130, dos hangares, una terminal de pasajeros en tránsito con capacidad para 80 personas, una torre de control de tránsito aéreo, talleres de reparación de vehículos, una planta cloacal y sistema de generación eléctrica mediante grupos electrógenos principal, de respaldo y campo fotovoltaico con 576 paneles solares.

Este nodo polimodal funcionará además en coordinación con un polo logístico que se construirá en Ushuaia.

La estructura de la casa principal tendrá un eje longitudinal orientado en dirección Norte-Sur compuesta por cinco módulos elevados, con una longitud mínima de 15 m. y una máxima de 30 m. divididos en grilla de 3 m. con una estructura metálica reticulada en sección superior e inferior vinculados mediante perfiles de alma llena en las caras externas. La estructura estará envuelta por paneles tipo sándwich, que conformarán el cerramiento de la misma. La estructura se vinculará a las fundaciones mediante un sistema tripoidal invertido de perfiles tubulares cilíndricos con revestimiento epoxi y poliuretano acrílico. Estos soportes tienen como objetivo ser capaces de soportar vientos de velocidades máximas, bajas temperaturas y los efectos de posibles terremotos y ciclos de congelamiento y descongelamiento del suelo antártico. Las cargas máximas por apoyo estimadas son de alrededor de 50 toneladas en compresión y 25 toneladas en tracción.

ANTECEDENTES ESTUDIADOS

Se tuvieron en cuenta los estudios geotécnicos y geológicos realizados en la zona, como los de E. Ermolin. A. Silva Busso, R. del Valle, J. Lusky (2006). "Estudio geocriológico - geotécnico para el diseño de pistas aéreas en el cabo Welchnees (63°29"S, 56°14"W), isla Dundee, Península Antártica".

DEFINICION DE LA CAMPAÑA

Las primeras preguntas que surgieron fueron: ¿Qué suelo podremos encontrar en la zona para poder estudiar un sistema de fundaciones adecuado para semejante estructura?, ¿Cuáles serán las solicitaciones más desfavorables? esto inmediatamente permitió plantear la necesidad de realizar una primera búsqueda de la información del subsuelo antártico disponible.

En función de la información encontrada, se consideraron distintos escenarios en función de las características del material del subsuelo que podría encontrarse en el lugar. Luego se ejecutaron algunas simulaciones de material y se probaron métodos para perforar en esos materiales, en laboratorio.

A partir de las conclusiones obtenidas se optaron por dos metodologías diferentes, como probables para perforar y sobre esas alternativas se inició la búsqueda de equipos y herramientas, coordinando con el personal de la base, la disponibilidad de equipos y maquinaria en la misma y su operatividad, ya que anticipando posibles contratiempos, se había determinado que los equipos deberían ser redundantes, pero a la vez tendríamos limitaciones en cuanto al peso y volumen de los mismos para su movilidad y traslado entre la Base Antártica Conjunta Marambio y la Base Antártica Conjunta Petrel, que sería en helicópteros.

Igualmente se tuvieron en cuenta cuestiones relacionadas a la cantidad de horas de luz diarias, para trabajar y la temperatura ambiente esperable, en pleno invierno y en el exterior, en función de los adhesivos químicos que se utilizarían para los anclajes.

TAREAS DE CAMPO

Prueba del comportamiento de los químicos para los anclajes en bajas temperaturas: Se expusieron los distintos químicos a utilizar para los anclajes, a la temperatura ambiente en la base, a los fines de evaluar cualitativamente el comportamiento de los mismos.

Adhesivo: FISHER FIS SB				Adhesivo: Hilti HIT HY 200 R				Adhesivo: Hilti HIT RE 500 V3			
Tiempo (H)	Gelificación	Fraguado	Temperatura (°C)	Gelificación	Fraguado	Temperatura (°C)		Gelificación	Fraguado	Temperatura (°C)	
01:00	No	No	-4,7	No	No	-5,2		No	No	-5,2	
02:00	No	No	-4,7	No	No	-5,1		No	No	-5,1	
03:00	-	-		No	No	-4,7		No	No	-4,7	
04:00	Si	No	-4,8	Si	No	-4,7		No	No	-4,7	
05:00	-	-		Si	No	-4,7		No	No	-4,7	
12:00	Si	Si	-4,7	Si	Si	-4,7		Si	No	-4,7	
21:30	-	-	-	-	-	-		Si	Si	-8,5	

Tabla 2 – Comportamiento de los aditivos químicos que se utilizaron en los anclajes

Trincheras en el permafrost activo: Se realizaron Siete (7) trincheras para identificar

el horizonte de permafrost permanente y el perfil geotécnico del permafrost activo. Las mismas se designaron T01, T02, T03, T04, T05, T06 y T07. En general los perfiles T1 a T6 se caracterizan por la presencia de un estrato superficial de material granular mal graduado primero congelado y luego sin presencia de hielo (Permafrost activo), finalmente se alcanza el permafrost permanente. En el perfil T7 se encontró material granular producto de la meteorización de la roca pero sin presencia de hielo. Los perfiles encontrados en cada trinchera se pueden observar a continuación. (Figura 3)

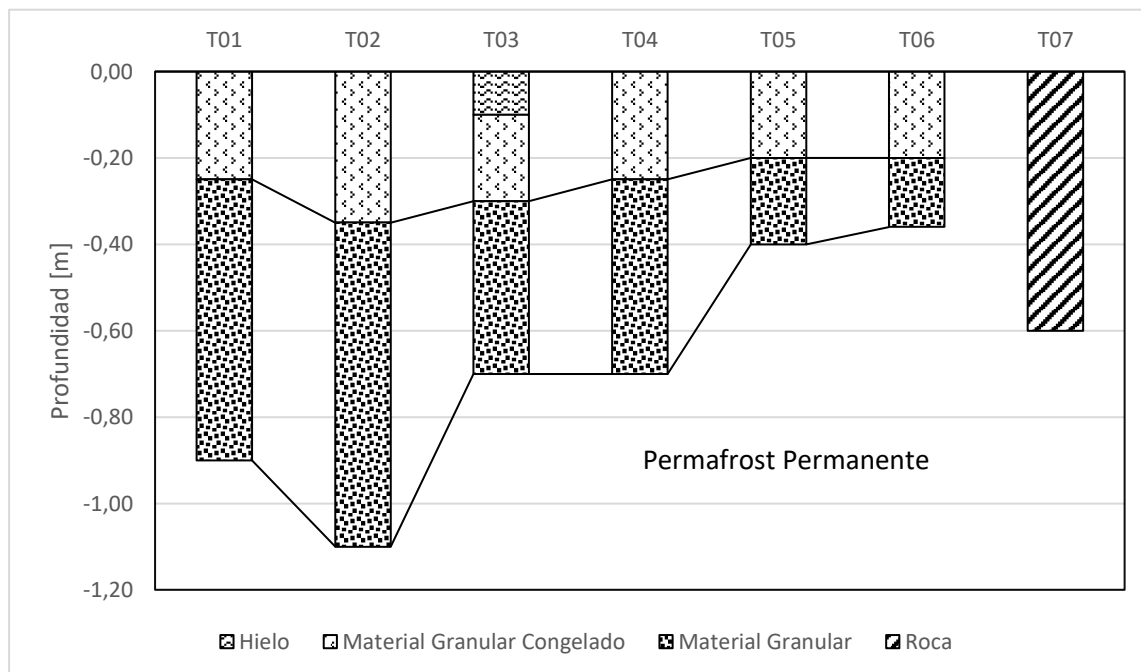


Figura 3. Perfiles encontrados en las trincheras realizadas.

Ensayos de tracción de anclajes en permafrost: Se realizaron ocho (8) perforaciones de 25 mm. De diámetro con martillo roto percutor eléctrico marca Hilti TE 70 de profundidades variables, en la zona donde se posicionará la estructura y puntos de interés. Las perforaciones fueron realizadas con barrido de aire comprimido y limpieza final, a los fines de retirar el material suelto y el polvo para evitar disminución de la adherencia de los adhesivos epoxi. (Tabla 4)

Trinchera	Varilla	Coordenadas	Long. Del anclaje [m]	Tipo de Varilla	Temp. amb. [°C]	Temp. Permafrost [°C]	Adhesivo
T01	V1	63°28'38.38"S 56°13'33.34"O	1,45	Varilla Roscada	-16,5	S/D	FISCHER FIS SB
T02	V2	63°28'40.66"S 56°13'32.80"O	0,80	Varilla Roscada	-8,8	-4,2	HILTI HIT RE 500 V3
T02	V3	63°28'40.66"S 56°13'32.80"O	1,55	Varilla de const.	-8,8	-4,7	HILTI HIT HY 200 R
T03	V4	63°28'41.75"S 56°13'34.04"O	1,60	Varilla Roscada	-17,5	S/D	HILTI HIT HY 200 R
T04	V5	63°28'42.96"S 56°13'33.96"O	1,65	Varilla Roscada	-17,5	S/D	HILTI HIT HY 200 R
T05	V6	63°28'44.01"S 56°13'34.62"O	1,55	Varilla Roscada	-21,1	-5,7	HILTI HIT HY 200 R
T06	V7	63°28'44.94"S 56°13'33.21"O	1,50	Varilla de const.	-20,5	-5,2	FISCHER FIS SB
T07	V8	63°28'50.49"S 56°13'40.60"O	0,70	Varilla Roscada	-20,5	-0,8	FISCHER FIS SB

Tabla 4 – Posición de los anclajes, varilla y anclaje químico utilizado

En dichas perforaciones fueron ancladas varillas roscadas de acero SAE 1040 y 2 varillas de construcción con rosca en un extremo, de 25 mm de diámetro con los distintos anclajes químicos a los fines de realizar ensayos de tracción los mismos (Pullout). Para realizar dichos ensayos se utilizó un gato hidráulico y una viga apoyada en un punto fijo en un extremo y en el gato hidráulico en el otro, tal como se muestra en la figura 5.

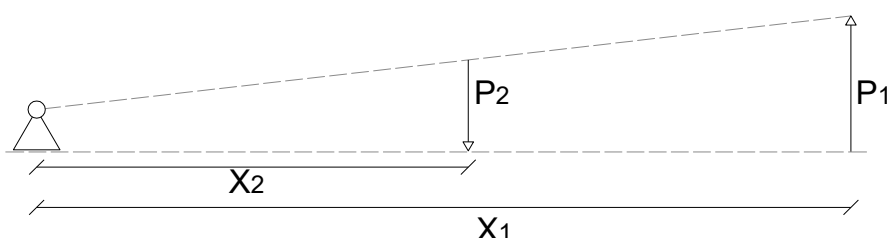


Figura 5. Esquema de funcionamiento del ensayo

Ensayos de plato de carga: Se realizaron 4 (Cuatro) ensayos de plato de carga vertical en el techo de permafrost permanente, designados como PC1, PC2, PC3 y PC4. La metodología empleada siguió las recomendaciones generales de la Norma UNE 103808:2006. El diámetro del plato de carga es de 300 mm. El sistema de referencia se ancló a más de 1,00 metro del plato.

Perforaciones con broca diamantada: Se realizaron tres (3) perforaciones con broca de diamante de 100 mm de diámetro, designados como MD01, MD02 y MD03. De las mismas se extrajeron muestras del permafrost permanente, para confirmar la continuidad de los perfiles y realizar determinaciones y clasificación en laboratorio. Las perforaciones alcanzaron una profundidad de 1,00 m a partir del fondo de las trincheras.

RELEVAMIENTO GEOLÓGICO

Geológicamente, este sector de la isla Dundee está compuesto por dos unidades de rocas sedimentarias del Triásico y Cretácico Inferior. Durante los periodos de bajamar, a lo largo de la zona costera se exponen sedimentitas marinas de grano fino, pertenecientes al Grupo Trinity Peninsula de edad Triásica. El paquete sedimentario del Cretácico Inferior forma parte del relleno de la cuenca Larsen (del Valle et al. 1997), está formado por sedimentitas clásticas marinas de grano fino, bien consolidadas, expuestas en la parte ESE del cabo Welchness, donde afloran cerca del límite oriental de la morena lateral. Complejos depósitos glaciares y

fluvioglaciales, depositados desde el Pleistoceno Superior hasta el presente, completan la sucesión estratigráfica.

Para clasificar el material muestreado se ha utilizado la sistematización de suelos HRB y la clasificación de los suelos utilizada en las zonas de permafrost basada en United Soil Classification System, Corps of Engineers y Bureau of Reclamation (Linell and Jonston, 1973). La clasificación según su reacción al congelamiento (F) se puede observar en la Tabla 6.

Clasificación	Tamaño de partícula	% de partículas <2 mm	Tipos de suelos típicos
F 1	Gravas	3 - 10	GM, GP, GW-GM, GP-GM
F 2	Gravas arenosas	10 - 20 y 3 - 15	GM, GW-GM, GP-GM, SW, SP, SM, SW -SM, SP-SM
F 3	Gravas arenosas sin Limo-Arena	> 20 y > 15	GM, GC, SM, SC
F 4	Arcillas Limos en general Limos arenosos	> 15	CL, CH, ML, MH, SM
F 5	Arcillas, sedimentos de grano fino en capas o bandas		CL, CL-ML, CL y ML, CL, CH y ML, CL, CH, ML y SM

Tabla 6 – Clasificación de suelos en zonas de permafrost (Linell y Jonston 1973)

TAREAS DE LABORATORIO

Sobre las muestras extraídas se realizaron los siguientes ensayos y determinaciones:

- Granulometría
- Pasante tamiz 200

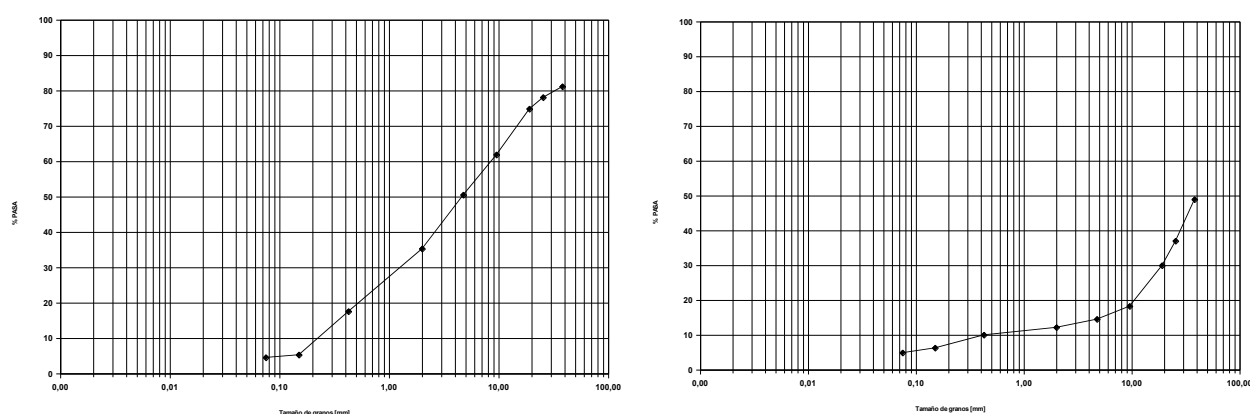


Figura 7. Curvas granulométricas MD01 y MD02 (0,00 – 0,30 m)

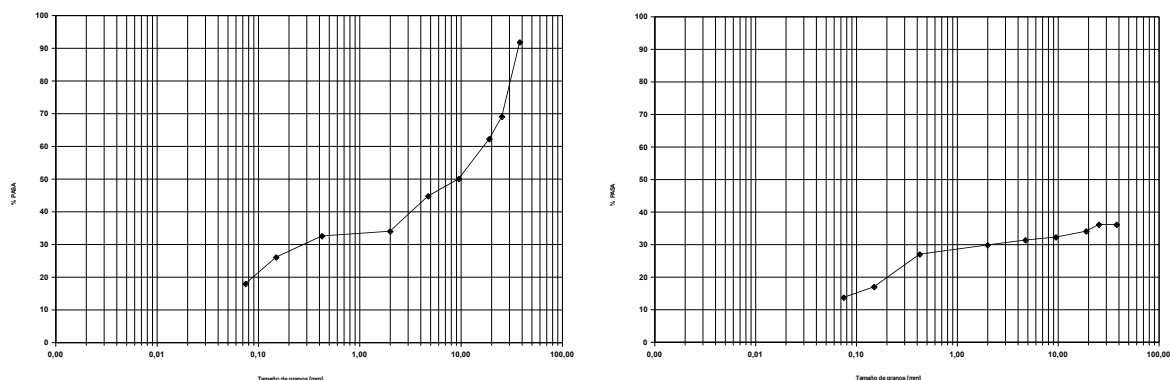


Figura 8. Curvas granulométricas MD02 (0,30 – 1,00 m) y MD03

Lo que permitió clasificar las muestras extraídas. (Tabla 9)

Muestra	Prof, [m]	PT 200 [%]	Composición [% en peso]		Tipo de suelo
			Sólidos	Hielo	
MD01	0,00 - 1,00	4,54	74,3	25,7	F2 GP
MD02	0,00 - 0,30	15,8	69,9	30,1	F3 GM
MD02	0,30 - 0,70	4,9	79,1	20,9	F2 GP
MD03	0,30 - 0,70	13,4	94,8	5,2	F3 GM

Tabla 9 – Clasificación de las muestras de suelo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los dos adhesivos químicos Fischer FIS SB y Hilti HIT HY 200 R, tuvieron un buen desempeño, en cuanto a tiempo abierto inicio de fraguado y resistencia, a las temperaturas ambiente de trabajo.

Dado el proyecto arquitectónico, las condiciones climáticas y geográficas, las características del suelo encontrado y la logística de transporte de materiales al lugar, la solución más confiable para fundar, es remover el permafrost activo hasta alcanzar el techo del permafrost permanente y a partir de ese nivel ejecutar perforaciones de 2,00 m. de profundidad, anclando varillas roscadas de 25 mm. Mediante anclajes químicos al permafrost permanente. Las varillas roscadas se fijarán a una placa metálica que aportará el soporte necesario a las solicitaciones en compresión y que serán el arranque de las columnas.

Fundaciones:

En función de los ensayos de placa de carga realizados, se pudo calcular el módulo de balasto (K) correspondiente (Tabla 10). Los módulos obtenidos, son compatibles con los valores correspondientes a rocas poco compactas.

Ensayo	ME [Kg/cm ²]	K [Kg/cm ³]
PC01	2143	95,2
PC02	2500	102,6
PC03	2222	87,0
PC04	2400	64,5

Promedio: **87,3**

Tabla 10 – Módulos de balasto de acuerdo con los ensayos de placa de carga.

De acuerdo con los módulos de balastos medidos y para garantizar una deformación máxima del orden de 1,0 cm bajo la base a construir, se adopta una tensión tal que produzca una deformación de 0,4 cm en el ensayo de plato de carga.

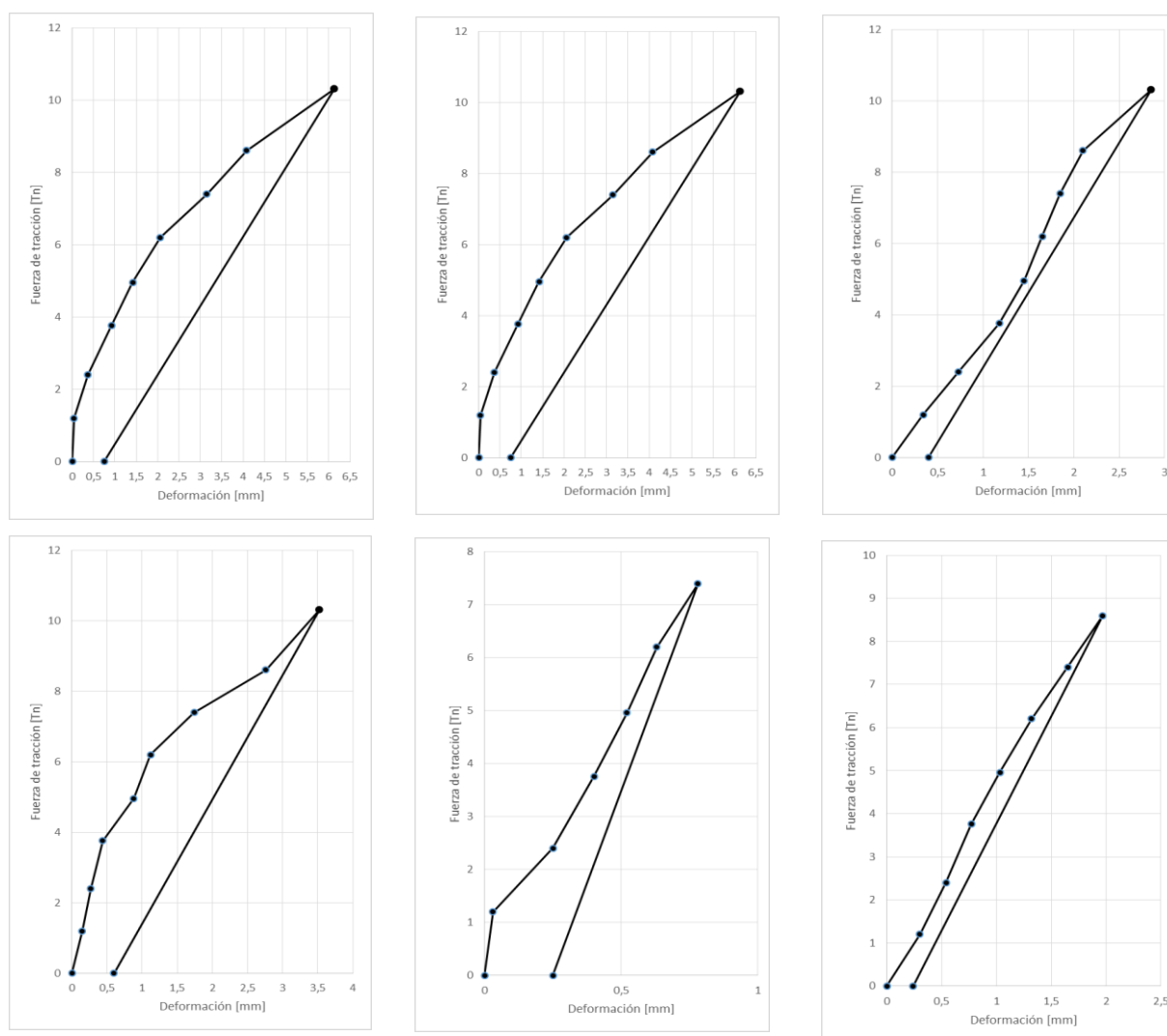


Figura 11 – Resultados de los ensayos Pull Out

En los ensayos Pull Out se observó que para valores cercanos a 10,0 t se obtienen deformaciones compatibles con la estructura.

En función de los resultados obtenidos en los ensayos realizados, se recomienda fundar la estructura mediante bases de acero ancladas en el permafrost permanente, por lo menos 2,00 m, mediante adhesivos químicos aptos para bajas temperaturas, considerando una tensión admisible tracción de 10 t por cada anclaje y la colaboración de una tensión admisible en compresión bajo la placa de 50,0 t/m².

Adicionalmente se recomendó, para la ejecución de las fundaciones:

- Realizar las tareas durante los meses de verano, donde las temperaturas son más favorables, lo que garantizará efectivamente alcanzar el techo de permafrost permanente.
- Recurrir a maquinaria adecuada para la realización de las tareas de limpieza y excavación del permafrost activo y perforación en el permafrost permanente.
- Para los anclajes, utilizar varillas roscadas de acero SAE 1040, de 25 mm de diámetro.
- Colocar pinturas y/o recubrimientos de protección contra la corrosión, ya que el ambiente es muy agresivo para las estructuras metálicas.
- Efectuar inspecciones periódicas y sistemáticas de las estructuras metálicas, a los fines de garantizar las tareas de mantenimiento y la durabilidad de las mismas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

“Estudio geocriológico - geotécnico para el diseño de pistas aéreas en el cabo Welchnees (63°29’S, 56°14’W), isla Dundee, Península Antártica” - E. Ermolin. A. Silva Busso, R. del Valle, J. Lusky (2006).

“Engineering design and construction in permafrost regions: a review” - Kenneth A. Linell, G.H. Johnston (1973).

Norma ASTM C1583 Ensayo Pull Out.

Norma ASTM D1194 Ensayo Plato de Carga.

IMAGENES



Figura 9. Perforación mediante taladro rotativo



Figura 10. Inserción de la barra de anclaje con el adhesivo químico

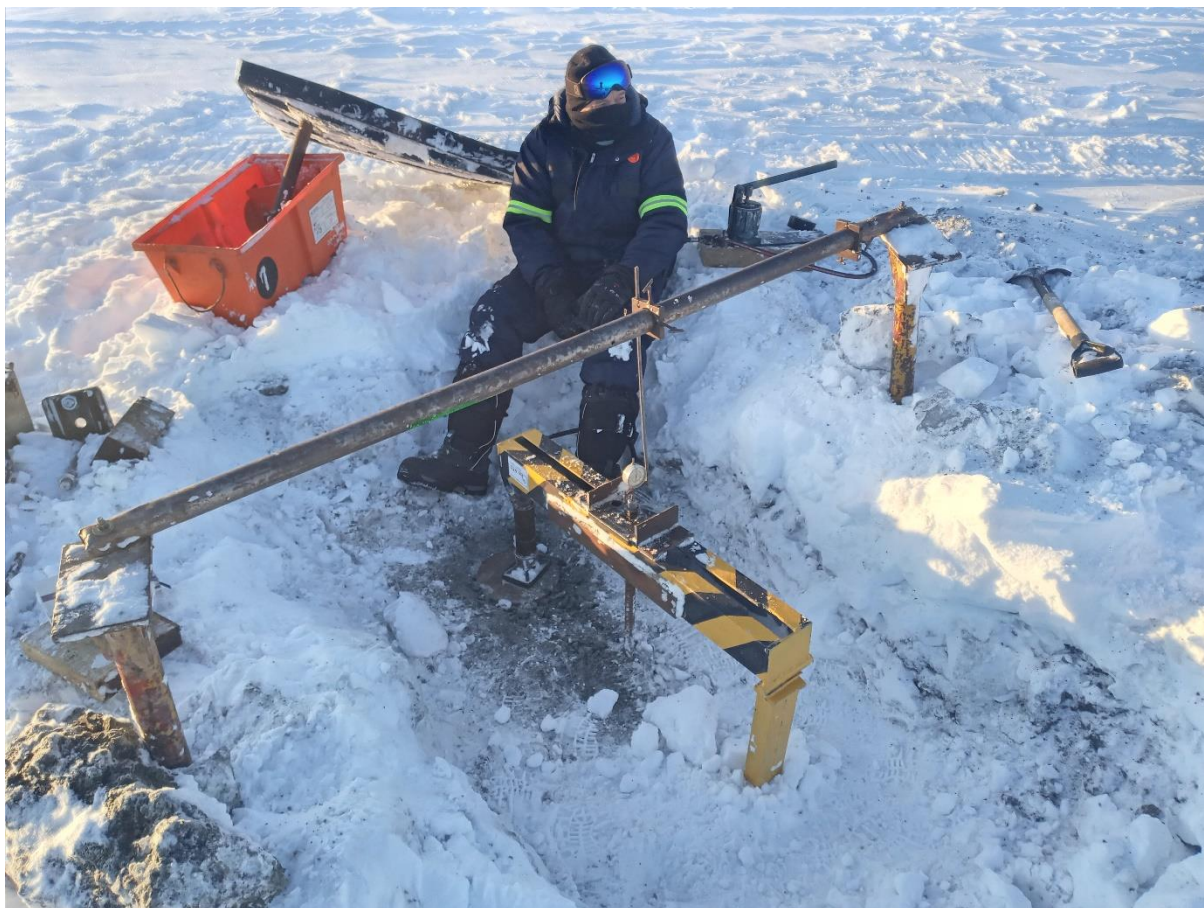


Figura 11. Ensayo de tracción (Pull-Out)