

Revista Iberoamericana de Derecho, Cultura y Ambiente



www.aidca.org/revista

ISSN: 2953-3554

Edición Especial 22 de febrero de 2024

Antártida Argentina: 120 Años de Presencia Ininterrumpida

LA INGENIERÍA EN LA ANTÁRTIDA

Por Federico Devoto¹

Resumen: La construcción en el Continente Antártico exige no solo un elevado conocimiento técnico, también impone la vivencia de conocer y haber estado en el terreno, ello le permite al profesional reparar con mayor profundidad, sobre aspectos que habitualmente no son un factor condicionante en lugares poblados y con cierto nivel de desarrollo.

Se citan experiencias sobre distintas tipologías de obras ingenieriles que, ejecutadas en cualquier lugar del planeta presentan su propio nivel de dificultad, pero al desplazarnos al Continente Blanco, recobran un mayor desafío debido al ambiente remoto, hostil e inhóspito.

¹ Oficial del Ejército Argentino, Ingeniero Civil egresado de la Universidad Tecnológica Nacional, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina y Oficial Ingeniero Militar egresado de la Facultad de Ingeniería del Ejército, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina. Licenciado en Administración egresado del Colegio Militar de la Nación, Buenos Aires, Argentina. Actualmente se desempeña en Jefe del Departamento de Infraestructura perteneciente a la Dirección General de Ingenieros e Infraestructura del Ejército Argentino. Diplomado en Derecho Antártico, Gestión y Logística Antártica Ambiental (UM – AIDCA – COCOANTAR) Email: feddev@yahoo.com.

Palabras clave: Ingeniería Civil, construcción, Antártida, permafrost, pista de aterrizaje, agua dulce, reservorio de agua, laguna, muelle, hielo, ciencia, laboratorio.

ENGINEERING IN ANTARCTICA

Abstract: Construction in the Antarctic Continent requires not only high technical knowledge, it also requires the experience of knowing and having been on the ground, which allows the professional to repair in greater depth, on aspects that are not usually a determining factor in populated and with a certain level of development.

Experiences are cited about different types of engineering works that, executed anywhere on the planet, present their own level of difficulty, but when we move to the White Continent, they become more challenging due to the remote, hostile and inhospitable environment.

Keywords: Civil Engineering, construction, building, Antarctica, permafrost, landing strip, sweet water, freshwater reservoir bowls, lagoon, dock, ice, science, laboratory.

I.- INTRODUCCIÓN

Construir en la Antártida es un desafío que impone un conocimiento técnico especializado en esas latitudes, enmarcado en factores climáticos particulares y extremos, características geotécnicas diversas y especiales dentro de un contexto y compromiso internacional de preservación ambiental, aspectos que son propios y singulares del lugar inhóspito continental al cual nos estamos introduciendo.

El Continente Antártico es el cuarto continente en extensión territorial luego de Asia, América y África, alcanza casi 14 millones de kilómetros cuadrados². Sus temperaturas promedio se encuentran entre -10°C y -30°C, posee el clima más

² <https://cancilleria.gob.ar/es/iniciativas/dna/divulgacion/sobre-la-antartida#:~:text=Alrededor%20de%20las%20costas%20ant%C3%A1rticas,C%20dependiendo%20de%20la%20regi%C3%B3n.>

seco del mundo y es, el continente con mayor elevación respecto al nivel del mar, alcanzando una altura promedio de 2.000 metros³.

La finalidad que pretende brindar el presente artículo, es poder servir de base a los ingenieros que en el futuro deban proyectar o dirigir obras de construcciones en la Antártida, dar pautas mínimas de conceptos que en estas situaciones ejemplificadas, necesitaron de técnicas de solución opuestas a como se aplican en cualquier otro lugar del planeta o simplemente, que se puedan formular interrogantes de factores que en el desarrollo de proyecto no son incluidas o consideradas en las responsabilidades del profesional a cargo

II.- FACTORES CONDICIONANTES

Previo a introducirnos en la descripción de las encomiendas, es importante mencionar aquellos factores que han condicionado fuertemente, y con seguridad condicionarán en futuros proyectos, al momento de definir los parámetros de diseño y las solicitudes que deberán satisfacer y/o verificar las obras a construir.

Los factores a los que nos referiremos son: las características ambientales y legales, climatológicas, geotécnicas y humanas.

2.1 El medio ambiente

El Continente Antártico es considerado a nivel mundial como el último bastión conservado en estado natural donde la intervención del hombre es muy escasa. Su gran extensión territorial representa una décima parte de las tierras emergidas. Se considera que alberga la mayor reserva de agua dulce del planeta⁴. Y por sus características particulares, debe destacarse la gran fuente de conocimiento científico que representa, archivando buena parte de la historia natural de la Tierra viviente y contenida en sus capas de hielo.

Por tales motivos, como más importantes y significativos, es que se firmó en 1959 el Tratado Antártico, entrando en vigencia en 1961. Desde ese entonces hasta la actualidad, se ha respetado y se han firmado diferentes ratificaciones entre las que resaltamos el Protocolo de Madrid de 1991, referido a la Protección

³ <https://cancilleria.gob.ar/es/iniciativas/dna/divulgacion/sobre-la-antartida#:~:text=Alrededor%20de%20las%20costas%20ant%C3%A1rticas,C%20dependiendo%20de%20la%20regi%C3%B3n.>

⁴ <https://antarcticlands.org/es/antartida-es-la-mayor-reserva-de-agua-dulce/>

del Medio Ambiente velando por su cuidado en todas sus expresiones, lo cual se refleja mediante el Artículo 3 del Protocolo donde establece:... *"la protección del medio ambiente antártico y los ecosistemas dependientes y asociados, así como del valor intrínseco de la Antártica, incluidos sus valores de vida silvestre y estéticos y su valor como área para la realización de investigaciones científicas, en especial aquellas investigaciones esenciales para la comprensión del medioambiente global, serán consideraciones fundamentales para la planificación y realización de todas las actividades en el área del Tratado Antártico"* (Protocolo de Madrid de 1991).

En el seno de este marco normativo, toda actividad que se desarrolle en la Antártida debe someterse a unas condiciones que garanticen la minimización de sus efectos perjudiciales sobre el ambiente, teniendo como prioritarias la conservación de la fauna y la flora, la prevención de la contaminación, la correcta gestión de los residuos y la adecuada respuesta ante eventuales emergencias ambientales, definiéndose también determinadas zonas que por su importancia son merecedoras de especial protección. Por estas razones, las normativas emanadas de las diferentes reuniones consultivas buscan dar herramientas a los distintos países, que permitan dar cumplimiento al objeto central.

Por todo lo resaltado en los párrafos precedentes, se establece un procedimiento de evaluación de impacto ambiental, contemplado en el Anexo I al Protocolo (Ver figura N° A), que representa por así decirlo la fase preliminar, condición sine qua non para el desarrollo de una actividad futura. Dichos elementos o valores a proteger, se perfilan habitualmente en cinco grupos o áreas que son: fauna, flora, cuerpos de agua (masas de hielo, agua dulce y agua marina), suelo y atmósfera.

2.2 Climatología

Este sector del planeta presenta características bien particulares, las cuales deben ser consideradas y estudiadas a la hora de proyectar una obra.

A continuación, se presenta un resumen muy general ya que no debemos olvidar que, por su extensión presenta diferentes regiones, y ello conlleva distintos comportamientos climatológicos.

Temperaturas. Son extremadamente bajas, su comportamiento puede dar lugar a la definición de dos grandes regiones: las zonas costeras (con una subregión situada en la Península Antártida), y la Meseta Polar. Alrededor de las costas antárticas la temperatura media de verano ronda los 0°C, e incluso trepa hasta

algunos grados positivo en la zona norte de la Península. Ya en invierno las marcas descienden hasta -30°C dependiendo de la región. Si se consideran promedios de verano e invierno, puede decirse que las zonas costeras muestran amplitudes térmicas moderadas de alrededor de 0°C y -15°C respectivamente. En cambio, las condiciones climáticas de la meseta polar son mucho más extremas: difícilmente las marcas estivales superan los -20°C , y los promedios invernales suelen ser inferiores a -60°C . El verano, que aparece y desaparece repentinamente, es extremadamente corto y no suele prolongarse más de uno o dos meses como máximo⁵.

Vientos. La región experimenta vientos constantes y fuertes, conocidos como “vientos circumpolares del oeste”, este fenómeno se da por causa de que el aire frío de la zona polar es más denso que el de las latitudes más templadas. Como consecuencia de ello, las masas de aire templado se hunden gradualmente hacia el polo en sentido anti-horario, generando un diseño de vientos constantes provenientes del Oeste, que rodean y aíslan al continente, impidiendo el ingreso de aire más cálido. En verano, este modelo circular se altera, particularmente en la zona de la Península Antártica, cuya configuración y ubicación permite el ingreso de vientos septentrionales, con el consecuente ascenso adicional de la temperatura.

Por otra parte, en las zonas costeras se verifica un tipo particular de movimiento eólico conocido como “*vientos catabáticos*”. El aire más frío de la zona polar, por su mayor densidad, fluye por gravedad hacia los márgenes del continente, generando un flujo centrífugo de vientos. Al llegar a la costa, estos vientos son forzados a desviarse a causa de la fuerza de Coriolis (debida a la rotación terrestre), dando como resultado un diseño de vientos costeros provenientes del Este. Las ráfagas producidas por el movimiento de estas masas de aire aparecen en forma repentina y pueden alcanzar velocidades cercanas a los 300 km/h⁶.

Precipitación. Es uno de los lugares más secos del planeta, esto se debe básicamente a la conjunción de tres factores: su posición polar, el diseño de vientos y la altura de la Antártida. En el verano, aires más templados cargados de humedad, provenientes de latitudes más bajas, ingresen al continente. Sin embargo, cuando esto ocurre, especialmente en verano y en la Península

⁵ Datos brindados por el May. Mauricio N. Laurizi del Servicio Meteorológico Nacional de Argentina.

⁶ Datos brindados por el May. Mauricio N. Laurizi del Servicio Meteorológico Nacional de Argentina.

Antártica, el viento es forzado a elevarse a la altura de la meseta polar o de las cadenas montañosas, descargando precipitaciones orográficas en las zonas costeras y penetrando al continente como vientos secos. Así, teniendo en cuenta los índices de precipitaciones, pueden identificarse en la Antártida tres zonas bien diferenciadas⁷:

La Meseta Polar, donde las precipitaciones son muy escasas y el promedio anual es menor a los 100 mm, marca comparable a las registradas en el desierto del Sahara.

Las costas de Antártida Oriental donde las precipitaciones orográficas llevan estas marcas a valores que oscilan entre los 200 y los 600 mm que aun así, determinan condiciones áridas a semiáridas.

Y la Península Antártica, sector en donde se registran precipitaciones que alcanzan los 1000 mm, dando como resultado regímenes subhúmedos a húmedos.

Todas las precipitaciones en la Antártida ocurren en forma de nieve, con excepción de las lluvias estivales que se producen en algunos sectores del norte de la Península Antártica y en algunas partes del interior, prácticamente no llueve o nieva en absoluto.

2.3 Geotecnia

Es la rama de la ingeniería civil que estudia los suelos y su interacción con las estructuras.

Si bien, la Antártida posee una geología bien variada y rica en diferentes suelos, se presentan características únicas que la diferencian de otras regiones del mundo, esto se debe a las bajas temperaturas extremas y grandes masas de hielos permanentes, que brindan las condiciones ideales para la formación y perdurabilidad del permafrost⁸ (Ver foto N°1). Característica geotécnica que condiciona toda estructura a proyectar en ese continente, exigiendo un estudio minucioso con profundo conocimiento de sus comportamientos.

Las regiones geológicas del continente antártico según el Geólogo Rodolfo Del Valle (et al. 1992), quedaron configuradas de la siguiente forma: La parte oriental

⁷ Datos brindados por el May. Mauricio N. Laurizi del Servicio Meteorológico Nacional de Argentina.

⁸ Permafrost: se considera al suelo que ha permanecido a una temperatura igual o inferior a 0 °C durante al menos dos años consecutivos. Este suelo congelado puede componerse de roca, tierra y otros materiales. <https://guiarecursosnaturales.com/que-es-el-permafrost-sus-caracteristicas-y-donde-esta/>

se extiende hacia el este actualmente es tectónicamente estable, constituido por rocas ígneas y metamórficas de edad precámbricas. La región occidental se distribuye mayormente en el hemisferio oeste, la Península Antártica posee rocas ígneo-metamórficas de edad precámbrica y paleozoica mientras que hacia la cuenca de Larsen las unidades geológicas son de edad más recientes.

2.4 Ser humano

Es el factor más importante a considerar en toda obra que se lleve adelante en ese ambiente tan hostil y remoto. Independientemente de hacer las evaluaciones correspondientes a la salud, capacidad física y habilidades propias de cada trabajo, se debe tener especial atención sobre la estabilidad emocional, adaptación a situaciones extremas, comportamiento ante el asilamiento prolongado y para con sus pares. Todas estas características, no son las únicas sino las más trascendentes a la hora de considerar la mano de obra, las bases antárticas suelen disponer de poca capacidad de alojamiento, régimen estricto de uso del baño (en algunas se permite bañarse cada 2 o 3 días dependiendo de la disponibilidad del agua), el lavado de ropa suele ser una vez por semana o quincenal, los espacios de distracción suelen ser interiores y reducidos donde comparten todos al igual que las diferentes comidas, el control sobre el consumo de alcohol y en muchas ocasiones, las dificultadas en las conexiones (comunicaciones). Son todos aspectos que en tiempos prolongados son consecuentes de problemas de convivencia o disciplinarios, que allá se potencian y contagian.

Estos aspectos, toman aún más relevancia ante cualquier problema médico, lesiones graves, estado depresivos o problemas familiares que cualquier individuo padezca durante su estadía, ya que muchos pretenden exigir su regreso a casa de forma inmediata (muchas veces, sin importar las consecuencias laborales), pero también sin comprender o recordar, las difíciles condiciones para efectuar cualquier evacuación de urgencia, pudiendo demorarse más de un mes en concretarse el repliegue.

No es un aspecto menor, como se mencionó anteriormente el factor humano, ya que cualquier problema que atente contra la moral y ánimo de un integrante, por las condiciones edilicias de las distintas bases, hace que se multiplique y afecte a parte o todo el grupo.

Toma mayor relevancia, la elección de los jefes y encargados para los distintos niveles, además de sus capacidades técnicas, deberán obligadamente mantener un permanente y estrecho contacto con su personal y conocer los problemas que cada uno puede tener en la base o en su casa, esto le permitirá la contención del hombre y la prevención de grandes problemas.

III.- EXPERIENCIAS TÉCNICAS: Principales proyectos y obras desarrolladas

A continuación, se describen de forma sintética, las encomiendas más importantes y de las cuales se pudo obtener un mayor aprendizaje sobre la ingeniería civil aplicada en el continente blanco. Es oportuno aclarar que la experiencia en construcciones e historia de la Argentina en la Antártida, lleva más de 119 años lo cual, al momento de reunir antecedentes, se dispuso de mucha información experimental.

Las bases antárticas donde se llevaron adelante los trabajos, se encuentran sobre el extremo norte de la Península Antártica, próximas al paralelo sur 63°. A una distancia recta desde Ushuaia, de aproximadamente 1.200 km.

3.1. Base Antártica Conjunta Marambio

Esta base se encuentra en la Isla Marambio (64°14' S – 56°37' O), una de las islas que integran el grupo de James Ross, ubicado al este de la Península Antártica, sobre el mar de Weddell. Fue inaugurada el 29 de octubre de 1969, emplazando sus edificios sobre la meseta central de la isla a una altura de 200 m.s.n.m.; la particularidad más importante que la destaca es que, en ese lugar se construyó la primera pista de aterrizaje del Continente Antártico (1.200 m x 40 m).

Es un sector donde las temperaturas promedian entre 5°C a -37°C en el año pudiendo llegar en invierno a los -60°C, vientos con intensidad de 130km/h y un fenómeno característico que afecta una de las capacidades operativas de la base, es la formación de densa nubosidad por arriba de los 100 m.s.n.m., fenómeno que se da con mayor periodicidad durante el verano y penaliza la habilitación del Aeródromo Marambio. El suelo cuenta con gran presencia de permafrost activo con elevado contenido de humedad.

3.1.1 Pista de Aterrizaje

Misión. Realizar estudios para mejorar las condiciones de operabilidad y seguridad de la pista de aterrizaje y determinar los procedimientos de mantenimiento futuros

Características. Es una de las pocas pistas de suelo existentes en la Antártida, comparable con la pista de la Base Presidente Eduardo Frei Montalva (Chile) y Base Rothera (Reino Unido), con características geotécnicas y dimensiones similares.

La particularidad más destacada en esta ocasión, es la inestabilidad de la calzada de rodamiento producto del escurrimiento de aguas superficiales provenientes del derretimiento de la nieve y a su vez, del ablandamiento por las aguas subterráneas que surgen de la capa activa del permafrost al derretirse en el verano como se puede apreciar en las siguientes fotos (Ver imagen 2, 3 y 4)

Situación inicial. Pese a tener un canal artificial sobre un lateral, que busca captar y encauzar las aguas que escurren producto del derretimiento de las nevadas y de la capa superficial del permafrost, la pista se encontraba con grandes sectores anegados de su calzada, afectadas por presencia de agua dentro de la pista e inestabilidad del terreno lo cual impedía soportar el peso de una aeronave de alas fijas, especialmente el Hércules C-130.

Estas condiciones trajeron aparejado una disminución en la operación que imponía reducir la capacidad de carga del Hércules C-130 a sus niveles más bajos, con el fin de cumplir con las normativas de seguridad operativa en pistas de aterrizaje.

Limitaciones. La calzada de rodamiento se encuentra conformada con gran presencia de suelo fino (especialmente limos), y una ausencia casi total de áridos (gravas)- Al estudiar los pocos sectores permitidos como posibles canteras de préstamo o, traer de islas cercanas (Esta última opción se desestimó por las exigencias acordadas mediante el Tratado Antártico de no contaminar el suelo de un lugar a otro para no transportar especies involuntariamente), solo se adoptó ajustar la curva granulométrica con los suelos disponibles en ese sector de la isla (Únicamente aquellos lugares que se encuentren sobre la planicie elevada).

Por otro lado, se estudiaron varios productos para estabilizar suelos, quedando la gran mayoría desestimados por encontrarse fabricados a base de resinas

bituminosas o bien, requerir de un porcentaje muy bajo de humedad para permitir la reacción química.

Estas limitaciones, hasta el momento no superadas, impuso avanzar con la metodología de una curva granulometría seleccionada en función al suelo disponible localmente, y trabajar la compactación de los rellenos por capas a fin de asegurar su mayor cohesión e impermeabilización.

Trabajos realizados

Relevamiento topográfico.

Estudio y rectificación del canal de protección (Trazado y pendientes).

Trabajos de reparación y nivelación de la pista.

Determinación del nuevo procedimiento de mantenimiento previo y posterior a cada operación aérea.

Capacitación de los grupos de trabajo previo al despliegue de campaña.

Experiencias obtenidas. De los relevamientos del terreno con equipos de medios GPS Diferencial, se determinaron las pendientes naturales del canal y se efectuaron los primeros trabajos de nivelación de pista. Estos trabajos permitieron determinar el comportamiento de las aguas subterráneas que tienen un comportamiento acorde a la teoría de vasos comunicantes, favorecidas por una velocidad de escurrimiento muy baja pero que en verano exige un trabajo de compactación sobre la carpeta de rodamiento permanente. Un aspecto muy importante en la planificación de estas tareas, era la ventana de trabajo definida por las temperaturas ambiente a fin de permitir obtener el suelo fino sin cascotes de limos congelado pero que, al transitar la pista con los equipos viales, no rompan la calzada con ahuellamiento. Estas huellas provocan desniveles, permitiendo la acumulación de nieve y el escurrimiento de agua dentro de la pista, generando ablandamiento de la calzada.

En sectores donde se debió rellenar con presencia de agua, no resultó el empleo de bombas para vaciado ya que el aporte de las aguas subterráneas era constante y obligó, a trabajar con temperaturas por debajo de las -2 C° (temperaturas de congelamiento) facilitando así, la adecuada compactación del terreno.

Otra experiencia, estuvo relacionada con estudiar la dirección preponderante de las grandes tormentas de nieve, permitió trabajar con prioridad sobre la nivelación del terreno aledaño a la pista buscando una pendiente negativa, desde

el borde de pista hacia afuera, a fin de que no existan obstáculos que faciliten la acumulación de nieve sobre la calzada de aterrizaje (colas de nieve sobre pista). Trabajos que permitieron que el mismo viento, contribuya a mantener despejada de nieve la franja de pista.

3.1.2. Reservorio de agua (Lagunas artificiales)

Misión: Realizar el proyecto de ingeniería para la rectificación y ampliación de ambas lagunas existentes, permitiendo reforzar sus terraplenes.

Características: La base cuenta con dos reservorios artificiales de agua dulce, ambos contruidos sin un cálculo ingenieril. La tipología responde a terraplenes de tierra suelta como suelen denominarse en hidráulica.

Estas obras son indispensables en aquellas bases que no disponen con cercanía a fuentes naturales de agua dulce o con posibilidad de buscar hielos y derretirlos como se ejecuta en las bases más próximas al polo.

El agua almacenada en estas lagunas es destinada principalmente para la higiene personal, sanitarios, limpieza de locales, cocina (previa clorificación) y sistema contraincendios de la base.

Situación inicial: Los terraplenes actuales están contruidos mediante trabajos de movimiento de suelo con una compactación deficiente, cabe aclarar que su conformación no responde a ninguna distribución granulometría que asegure la estabilidad ante el empuje hidroestático y la filtración del agua.

Los vertederos de alivio estaban materializados con caños de PVC con un diámetro de 110mm, estos se tapaban al congelarse el agua, y al comenzar el descongelamiento fue facilitando el escurrimiento por fuera de estos, entre la cara externa de los caños y el terreno, provocando socavación del terraplén hasta el colapso del sector. Este suceso se dio durante la estadía del equipo técnico por otros trabajos, permitiendo estudiar el estado estructural de los terraplenes e intervenir en la reparación del sector, sanear la laguna y ensanchar el resto del terraplén, sin poder reconstruir la totalidad del mismo.

Trabajos realizados:

- Desvío del cauce de aporte.

- Excavación de limpieza del sector debilitado (4 a 6 m de profundidad por 5 m de ancho).
- Saneamiento de todo el lecho de la laguna para aumentar su capacidad actual
- Selección del material, relleno y compactación por capas.
- Ensanchamiento y perfilado de todo el terraplén sin modificar sin estructura constructiva.
- Impermeabilización temporal del terraplén afectado hasta tanto se lleve adelante el proyecto de ingeniería elaborado.
- Desarrollo del proyecto de rectificación e impermeabilización de los reservorios de agua dulce para la base. Esquema en planta de ambas lagunas y un corte con el desnivel de embalse, permitiendo una constante circulación del agua.

Experiencias obtenidas:

El comportamiento de los limos y arcillas extraídos del lecho de la laguna, al congelarse por las bajas temperaturas, alcanzan una elevada resistencia mecánica convirtiéndolas en material ideal para conformar el núcleo del futuro terraplén.

La dificultad de mantener un reservorio de agua cuando no se aplican los conceptos sobre obras hidráulicas, especialmente ante la presencia de permafrost activo donde, las cuñas de fundición por el derretimiento de la capa superior, provocan movimientos en el lecho de las lagunas y posteriores filtraciones.

Las profundidades que deben poseer estas obras, para asegurar la disponibilidad de agua durante los meses invernales ya que se suelen congelar hasta 1,40 metros aproximadamente, debe ser mayor a los dos metros preferentemente.

Dentro de la propuesta presentada, se recomendó ejecutar la impermeabilización con geotextil de 2.000 micrones a fin de absorber los esfuerzos del suelo en su actividad natural, el empuje de los hielos al congelarse al agua contenida y así, asegurar su estabilidad en el tiempo. Debiendo controlar los sedimentos arrastrados por los cursos de agua de aporte y los vertederos que aseguran mantener su cota de contención máxima de forma automática.

3.2. BASE ANTÁRTICA CONJUNTA ESPERANZA

Sus edificios se emplazan a unos 25 m.s.n.m. y a unos 30 m de la costa de Bahía Esperanza (63°24'S – 57°00'O), ubicada al norte de la Península Trinidad, sobre el Estrecho Antártico. Fue fundada el 17 de diciembre de 1952 y hasta la actualidad, Argentina mantuvo su ocupación en forma ininterrumpida, siendo la única de sus bases donde envía todos los años dotaciones con sus familias. En la Base Antártica Conjunta Esperanza se encuentra la única escuela de toda la Antártida donde asisten todos los niños que invernan anualmente.

En este sector de la península antártica, las temperaturas medias anuales promedian -5,5°C, los vientos son del tipo catabáticos, alcanzando habitualmente los 200 km/h.

Dentro de las encomiendas ingenieriles a desarrollar en la base, se destacan la intervención sobre el muelle existente, un sistema de descarga continuo de combustible y un nuevo laboratorio científico.

3.2.1. Remodelación y ampliación del muelle

Misión: Remodelar el muelle existente en Puerto Moro y de ser factible, extender su longitud 3 metros hacia el mar como se muestra en la foto N°5. A su vez, estudiar la instalación de una grúa bandera en su extremo, lo que permitiría agilizar la carga/descarga durante las operaciones logísticas y científicas de la base.

Características: La obra existente era un espigón conformado por puntales de madera y tambores de 200 Lts relleno de piedras y cemento como base de apoyo, con el fin de ofrecer principalmente resistencia al empuje de los hielos. La calzada está materializada por tablonés de madera como se puede observar en la siguiente fotografía. (Ver imagen 6)

Se dispuso de la información de que el muelle ya había alcanzado esos 3 metros de extensión hacia el mar, pero pese a las pruebas con diferentes materiales, estos no resistieron en el tiempo ante el impacto de los bloques de hielo en flotación.

Situación inicial: El muelle contaba con una longitud de 21 metros por un ancho de 3 metros, con un deterioro considerable en su extremo, lo cual obligaba a realizar grandes trabajos de puesta en servicio con anterioridad al inicio de las operaciones de verano, asegurando su disponibilidad para la recepción de la logística necesaria para atravesar el siguiente invierno.

Para poder desarrollar una adecuada propuesta, se requirieron los registros de mareas, batimetrías del sector y de los vientos que afectan a dicha zona. Con esta información sumada a los antecedentes disponibles, se elaboró el proyecto encomendado.

Trabajos realizados:

- Se estudio el régimen de mareas y de hielos en flotación sobre la Bahía Esperanza.
- Se interactuó con el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos sobre estudios y doctrina de obras costeras en aguas congeladas.
- Se elaboraron alternativas de ampliación y diferentes materiales constructivos, concluyendo finalmente en extender 7 metros el frente del muelle, permitiendo una mayor resistencia al empuje de los hielos mediante la descomposición de las fuerzas resultantes, en dos direcciones. Este diseño ilustrado en el render (ver imagen 7), permite una mayor vida útil de la estructura y brindar las condiciones para instalar la grúa bandera sobre su extremo.

Experiencias obtenidas:

El estudio de esta problemática fue enriquecedor desde el punto de vista ingenieril, debido a que permitió conocer los efectos que ocasionan las fuerzas de impacto de los hielos en flotación y a su vez, las fuerzas de empuje generadas por las aguas de mar al congelarse (Se debe considerar que el agua al cambiar de estado líquido a sólido, aumento su volumen aproximadamente 30%), y por esta razón se escogió que la base de apoyo fuera conformada por gaviones de malla metálica y rellenos con roca.

Las exigencias impuestas por los efectos de los hielos y/o del agua al congelarse, obligaron a investigar distintas tipologías de obras empleadas en lugares costeros del mundo con características similares, permitiendo determinar la inclinación del muro del muelle sin afectar la operación de los botes respecto al régimen de mareas. Como también, la conformación del cuerpo del muelle a fin de darle robustez y resistencia a las distintas sollicitaciones derivadas de los hielos (En la foto N°8 se puede apreciar el nuevo muelle bajo las condiciones del mar en invierno). El viento fue un factor condicionante en el cálculo de la base para la instalación de la grúa tipo bandera.

3.2.2. Laboratorios Científicos Antárticos nuevos

Misión: Diseñar un laboratorio científico multidisciplinario que se ajuste a las necesidades de la actividad científica antártica, con una ingeniería moderna y arquitectura de menor impacto hacia el medio ambiente.

Situación inicial: Todas las bases argentinas cuentan con instalaciones destinadas para la práctica científica, edificaciones que inicialmente no fueron construidas para ese fin, pero que progresivamente fueron adaptadas para ello. Durante el año 2023, Argentina quiso dar un impulso firme al desarrollo de la ciencia en el Continente Blanco y por tal razón, determinó la construcción de edificios de aproximadamente 120 metros cuadrados que se ajusten a las necesidades y espacios mínimos que requiere la actividad para potenciar su trabajo y consecuentemente (Ver figura N°9).

Características: Este nuevo edificio cuenta con tres laboratorios equipados con mobiliario de escritorios, disponiendo de mesas metálicas de trabajo y equipos refrigerados para la conservación de muestras, una cocina y un baño con su antesala. En la parte inferior, cuenta con una cámara de 2 metros de altura, la cual se destinó un sector para los equipos de servicios básicos y calefacción para el funcionamiento del edificio y la otra mitad, quedó reservada para la guarda y almacenamiento de equipos de campaña empleados durante los despliegues que realizan distintos grupos científicos durante el verano.

La tipología constructiva es similar a la empleada en las últimas construcciones modernas llevadas adelante en la Antártida, como por ejemplo la Estación Antártica Comandante Ferraz (Rep. del Brasil), Estación Antártica Taishan (China), entre otras. Donde el objetivo, es un diseño aerodinámico y separado del terreno a fin de disminuir la acumulación de nieve a su alrededor, como también generar un menor impacto ambiental tanto en el sistema de fundaciones como en la construcción de todo el edificio.

Trabajos realizados:

- Exhaustivo trabajo de investigación en materia de diseño, materiales aptos, tecnologías resistentes y eficientemente aislantes, modernos sistemas de calefacción y cerramiento.
- Desarrollo del proyecto, computo de materiales y necesidades.
- Selección y contratación de empresas y, licitación de mobiliarios y equipos.
- Capacitación de los grupos de trabajo en Buenos Aires.
- Elaboración de la memoria constructiva.

- Verificación de calidad y compatibilidad de la estructura, panelería de cerramiento y aberturas.
- Recepción de todas las compras, clasificación y entrega en puerto (A pie de buque) de todos los materiales constructivos, equipamiento y mobiliario por edificio. Como así también, del kit de herramientas necesario para ejecutar los trabajos constructivos independizándose de la disponibilidad existente en cada base.
- Dirección remota de la construcción

Experiencias obtenidas:

Esta encomienda permitió conjugar las experiencia y conocimientos técnicos adquiridos en el proceso de los proyectos anteriores, donde fue imprescindible coordinar las prioridades y exigencias técnicas/ambientales tanto al equipo de trabajo interno, como a las empresas privadas, prever los tiempos para la capacitación y previsiones de los conocimientos indispensables para los integrantes de los grupos de trabajo que debían desplegar a la Antártida a ejecutar la construcción.

Desde el punto de vista edilicio, fue un completo desafío el desarrollo de una técnica constructiva nueva para la ingeniería militar, donde se priorizó una mayor eficiencia energética en todos sus aspectos, desde diseñar el edificio con doble pared aislante, sistema de calefacción central mediante una caldera eléctrica de alto rendimiento, amplitud de ventanas con doble vidrio hermético (DVH) para aprovechar el calor solar hasta, su elevación del terreno impidiendo la acumulación de nieve en cualquier época del año. En la fotografía 10 se muestra la obra concluida.

IV.- CONCLUSIONES

La construcción en el Continente Antártico impone una exigencia mayor a la hora de asumir las responsabilidades tanto de proyecto como en la dirección de obras, es un ambiente tan inhóspito como hostil y esto último, esta referenciado a las condiciones climatológicas únicas y más extremas de todo el planeta, a su aislamiento natural y su difícil posibilidad de llegar o salir. Considerando que, si no se planifican detalladamente todas las necesidades y suministros para cada campaña y obra, el medio no las proveerá una vez instalados en la Antártida.

En el presente artículo fueron puesto de manifiesto, los factores más preponderantes a considerar a la hora de llevar adelante la responsabilidad de una obra nueva o reformas importantes, factores que en algunos casos no suelen ser tan significativos en lugares donde vivimos cotidianamente, pero que si no se los valora y toma con la adecuada relevancia al caso, pueden llegar a provocar el fracaso del proyecto o aún peor, el colapso de la estructura una vez puesta en servicio.

Resumiendo la importancia de los factores resaltados, tenemos:

Las **normas regulatorias**: La responsabilidad de conocer y respetar las pautas que se aprobaron mediante el Tratado Antártico para el desarrollo de toda actividad dentro del Continente Antártico y el cual, los países firmantes se adhirieron. El no cumplimiento de las pautas fijadas en los protocolos emanados, puede llevar a sanciones y penalizaciones internacionales contra el país responsable.

La **preservación del ambiente**: como síntesis de la trascendencia que representa este aspecto para cualquier proyecto a ejecutar en la Antártida, cabe resaltar que es una exigencia con mayor esfuerzo y expertise a los aplicado en cualquier obra desarrollada en los otros continentes, imponiendo del país interesado para obtener las correspondientes aprobaciones de los miembros consultivos del Tratado Antártico, la designación de profesionales que conozcan los procedimientos y tiempos establecidos y acordados en las distintas reuniones consultivas.

Las **condiciones climatológicas**: independientemente del sector de la Antártida en donde se proyecten las obras, son fenómenos extremos que imponen estudiar los registros y estimar las exigencias que por un lado afectan a las solicitudes que deban resistir las obras: compatibilizando un diseño arquitectónico moderno, empleando materiales constructivos con mayor resistencia a las bajas temperaturas y con mejor aislación térmica, y un desarrollo de ingeniería basada en conceptos de eficiencia energética (respetando los criterios ambientales). Por otro lado, deberá tener en cuenta la planificación de las etapas para su ejecución y finalización de obra.

La **Geotecnia**: es un campo fundamental para la construcción en la Antártida, los desafíos que plantea la geotécnia en este entorno complejo y desafiante,

requieren un conocimiento profundo de las propiedades de los suelos y rocas antárticas. Los ingenieros civiles deben tener en cuenta las condiciones únicas que existen en esas latitudes, para diseñar y construir estructuras seguras y duraderas logrando incluso, el control sobre la erosión y la inestabilidad del terreno con gran presencia de permafrost.

El **hombre**: independientemente de las capacidades profesionales que pudieran tener cada integrante, el aislamiento y las condiciones habituales de estadía, suelen generar reacciones individuales que afectan críticamente al grupo de trabajo y poner en serio riesgo el cumplimiento del proyecto.

Los ejemplos de obras y proyectos destacados de las Bases Antárticas Marambio y Esperanza, pretendieron transmitir las experiencias y aprendizajes adquiridos, y que en cada caso señalaron un criterio para adoptar la mejor solución a los requerimientos. Debiendo profundizar previamente, el estudio e investigación sobre las mejores técnicas constructivas y los materiales certificados para las condiciones que impone la Antártida.

Queda por delante, el desafío de estudiar los efectos generados por el calentamiento global sobre el permafrost y las afectaciones derivadas en las obras apoyadas sobre este tipo de suelo, sumado a las consecuencias especiales que se generen en la Antártida a raíz de este cambio climático mundial.

BIBLIOGRAFIA

Dr. Silva Busso, A. A. (2009). *El Agua en el norte de la Península Antártica*. Vázquez Mazzini Editores.

Arceiz López, J. L. (2011). *Documento de Opinión 12/2011 “La protección del medio ambiente antártico”*. Instituto Español de Estudios Estratégicos.

Secretaría del Tratado Antártico, 2016. Protocolo al Tratado Antártico sobre Protección del Medio Ambiente (más los Anexos). RCTA XXXIX Reunión Consultiva del Tratado Antártico (Vol. I). Santiago. https://documents.ats.aq/ATCM39/fr/ATCM39_fr001_s.pdf

González, J., Elechiguerra, P., Paredes Bartolomé, C., Roper Azañón, M. A. (2022). *Deformación del terreno por la cimentación de un nuevo módulo en la Base Antártica Española Gabriel de Castilla, Isla Decepción, Antártida*. Boletín

Geológico y Minero 133 (2), 95-121. ISSN: 0366-0176.
<http://dx.doi.org/10.21701/bolgeomin/133.2/004>

I.B. Campbell and G.G.C. Claridge (1987). Antarctica: Soils, weathering processes and environment. N.Z. Soil Bureau, Department of Scientific and Industrial Research, Lower Hutt, New Zealand. Elsevier Science Publishers B.V.

Joaquín Bastias, Lea Israel Omerovic, AT (2019). Article in International Geology “The Byers Basin: Jurassic- Cretaceous tectonic and depositional evolution of the forearc deposits of the South Shetland Islands and its implications for the northern Antarctic Peninsula”.

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00206814.2019.1655669>

Silva Busso, A.; Sánchez, R. y Fresina, M. (2000). *Caracterización del comportamiento hidrogeológico en la Isla Marambio, Antártida*.

Gabriel Goyanes y Yevgeniy Yermolin (2016). *Estudio de las condiciones del techo del permafrost y de la capa activa del terraplén de asentamiento del Museo Otto Nordenskjöld, Isla Cerro Nevado, Antártida*. Rev. Asoc. Geol. Argent. vol.73 no.4 Buenos Aires.

Marilú Montes, Francisco Nozal Martón, Rodolfo del Valle y Ángeles Martín Serrano (2019). *Geología y Geomorfología de Bahía Esperanza*. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.

ANEXO

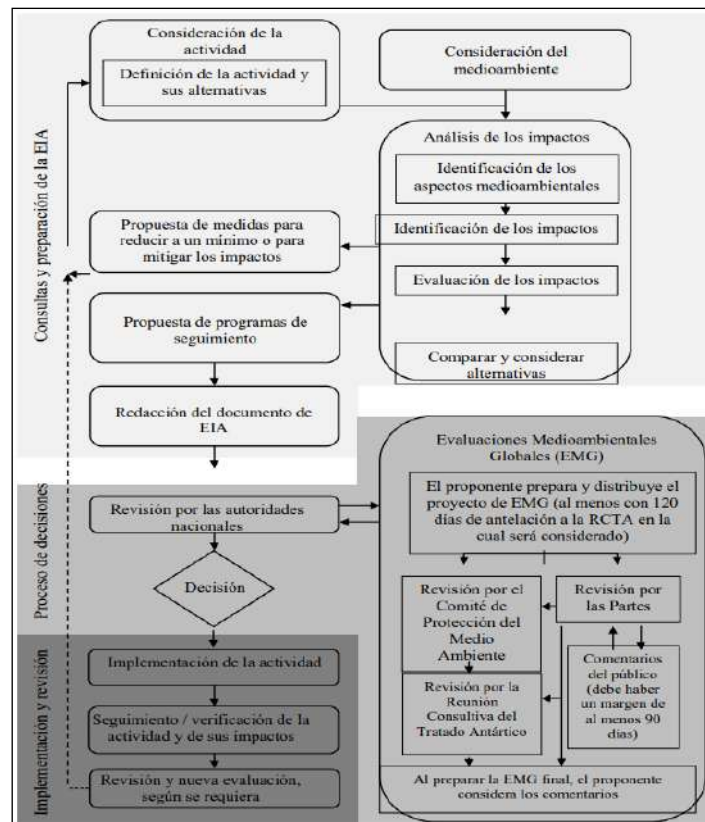


Figura A “Pasos del proceso EIA para actividades en la Antártida”.

Fuente: https://documents.ats.ag/ATCM39/fr/ATCM39_fr001_s.pdf.



Foto N° 1: “Características típicas del permafrost con presencia de hielo”.

Fuente: elaboración propia.



Fotos 2, 3 y 4: “Registro de ahuellamiento, escurrimientos superficiales y sectores blandos sobre calzada de pista”.

Fuente: elaboración propia



Foto N°5: “Estado original del muelle con el requerimiento de ampliación”.

Fuente: elaboración propia.



Foto N°6: “Vista del muelle hacia el mar en su estado inicial”.

Fuente: elaboración propia.

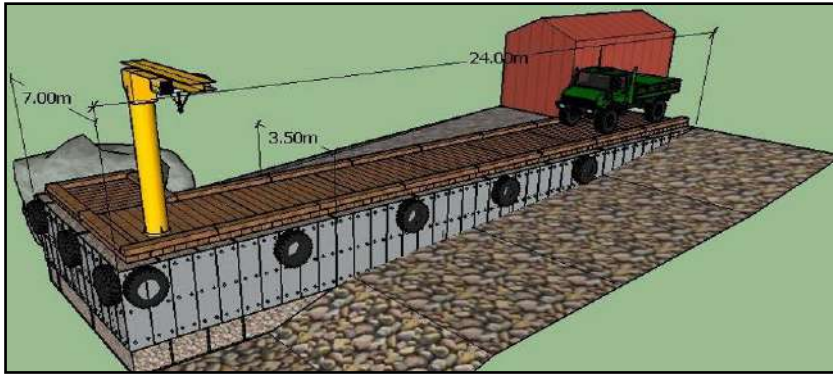


Figura N° 7: “Render del proyecto del muelle presentado”.

Fuente: elaboración propia en base a software Lumion.



Foto N° 8: “Vista lateral del muelle remodelado - julio 2022”.

Fuente: elaboración propia.



Figura N° 9: “Render del proyecto de Laboratorio Científico Multipropósito Antártico”.

Fuente: elaboración propia en base a software Lumion.



Foto N° 10: “Inauguración del Laboratorio Científico Multidisciplinario Antártico”.

Fuente: Grupo de trabajo - 2023.