

Materialidades de envoltentes en la Antártica.

Alternativas de renovación de la envoltente en la Base Aérea Presidente Eduardo Frei Montalva en la Antártica.

Estudiante: Catalina Constanza Emaldia Rojas.

Profesor guía: Nora de la Maza C.

Universidad de Chile. Facultad de Arquitectura y Urbanismo

Resumen

En el presente documento se explicita el contexto Antártico actual en Chile, más concretamente en la Base Aérea Presidente Eduardo Frei Montalva o BAEF y se recopilan y establecen distintos tipos de aplicación de materiales de envoltentes perimetrales para climas de frío extremo de distintas infraestructuras antárticas, sus cualidades y características, ya sea en cuanto a funcionamientos, eficiencia energética, tiempo de armado y ejecución. Al mismo tiempo, su aplicabilidad en la BAEF, buscando con esto, la renovación y mejora de la envoltente perimetral en esta.

Palabras clave: Antártica, materiales, envoltente perimetral, renovación

1. Introducción

La Antártica es vista como el mayor laboratorio para la ciencia y la diplomacia de nuestro tiempo. Existe un valor inmediato y práctico de la investigación científica en este continente.

Ante la creciente lucha contra la contaminación, el efecto sobre la capa de ozono, las enfermedades pulmonares en las grandes ciudades, los vertederos, las descargas de desechos industriales, etc..., el continente Antártico se presenta como un verdadero sistema de filtro o pulmón purificador del planeta. Este continente además, posee altas cantidades de recursos no renovables, los que son visualizados como potenciales posibilidades económicas en términos de recursos del tipo hidrocarburos, minerales y energía geotérmica. Al respecto, el 3 de octubre de 1991 se aprobó en Madrid el Protocolo sobre Protección del Medio Ambiente. En él, la Antártica queda definida como "reserva natural", consagrada a la paz y a la ciencia.

Actualmente Chile cuenta con 13 bases, estaciones y refugios Antárticos. Una de estas y en la que se centra la presente investigación es la Base Aérea Presidente Eduardo Frei Montalva o BAEF, que actualmente cuenta con infraestructura e instalaciones muy antiguas que han ido

envejeciendo y deteriorándose significativamente ya que su construcción data del año 1969. A partir de lo anterior y de manera concluyente, junto al deterioro generalizado de las instalaciones, se reconoce la falta de sustentabilidad energética en la escala de la edificación, por lo que es indispensable la renovación de éstas.

Como objetivo de este artículo, se busca recopilar distintas opciones de envoltente y su posible aplicación a la BAEF para la renovación de la envoltente para no perder lo ya existente, al mismo tiempo que su mejor desarrollo, considerando para esto, conceptos de eficiencia energética, integración, sustentabilidad, protección del medio ambiente y poniendo especial énfasis en el bienestar de los habitantes y usuarios de las instalaciones, con la finalidad de permitir el cumplimiento de las actuales políticas nacionales, respecto de la Misión de Chile en el Territorio Antártico.

2. Antecedentes

2.1. Contexto Antártico Actual

- **Caso de estudio.**

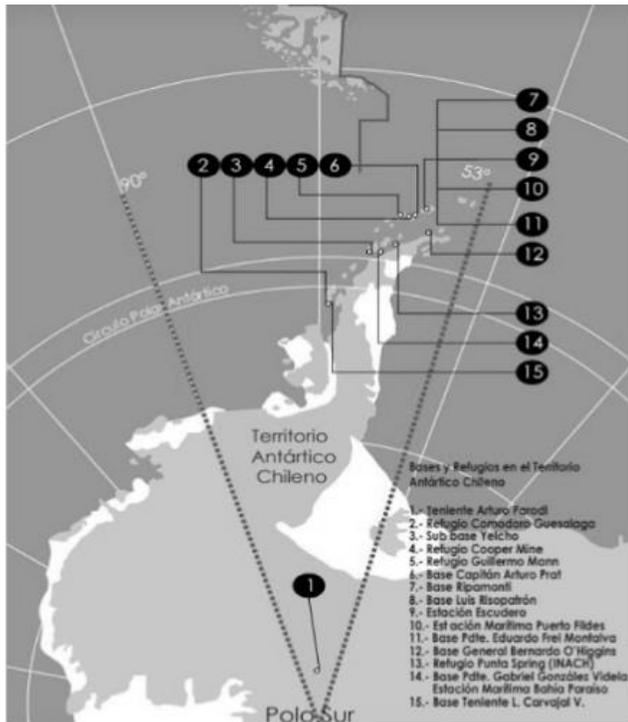


Fig.1: Territorio Antártico Chileno. Fuente: Libro de Defensa Nacional 2007

La BAEF está ubicada en territorio Antártico Chileno, más específicamente, en la península de Fildes, Isla Rey Jorge, Latitud: 62°12'00"S, Longitud: 58°57'48"O.

Actualmente El territorio Antártico Chileno, se encuentra entre los meridianos 53° y 90° (Fig. 1). Este territorio se superpone con los territorios demandados por Argentina e Inglaterra, por lo cual es de suma importancia efectuar una soberanía efectiva por parte de Chile en dicho continente. Por lo que es un tema fundamental desarrollar una infraestructura, íntegra, sustentable y que garantice buenas condiciones de vida para los usuarios de las bases allí asentadas, para así mantener una presencia activa en dicho territorio.

El Estado de Chile dispone y opera en la isla Rey Jorge, la BAEF a través de la Fuerza Aérea de Chile, la Estación Marítima Bahía Fildes a través de la Armada de Chile, ambas dependientes del

Ministerio de Defensa Nacional y la Base Científica Profesor "Julio Escudero" a través de Instituto Antártico Chileno (INACH) dependiente del Ministerio de Relaciones Exteriores

En 1969 se funda el Instituto Chileno Antártico y la BAEF (fig. 2), posteriormente en la década de los 90' se promulga el Protocolo de Madrid que fija las bases para la protección del medio ambiente en Territorio Antártico.

Otro gran hito es la inauguración de la Villa "Las Estrellas", el 9 de abril de 1984, como el primer poblado asentado en este territorio, conformado por un grupo de familias pertenecientes a la Fuerza Aérea de Chile, la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC), científicos del Instituto Antártico Chileno (INACH) y profesores de la Escuela F-50. (Gabrielli 2021)

La gran cantidad de actores presentes hoy, y el gran potencial de crecimiento que tiene el territorio, hacen necesario establecer parámetros técnicos de implementación y planificación de infraestructura, conscientes del potencial de crecimiento del territorio e impulsado por el desarrollo de los asentamientos humanos y la ejecución de actividades operativas y científicas.



Fig. 2: Construcciones en la BAEF. Fuente: Memoria master plan Antártico

- **Condiciones y características climáticas**

El clima en la Antártica se caracteriza por tres aspectos claramente definidos: bajas temperaturas permanentes, escasa precipitación pluviométrica en la gran meseta interior y fuertes e incesantes vientos.

El único lugar en toda la gran extensión perimetral de la Antártica que permite un acceso expedito al continente durante gran parte del año es la Península Antártica (donde se encuentra situado el caso de estudio), ya que al encontrarse geográfica y físicamente más alejada del polo que el resto de la periferia antártica, no está sujeta a los inhóspitos efectos del clima que se observa en latitudes más cercanas al Polo y es la única zona del Continente que no está permanentemente cubierta de capas de hielo y nieve.

La península y regiones costeras son menos extremas ya que reciben mayor humedad en forma de precipitación, y también registran temperaturas más altas gracias al océano circundante. Las temperaturas costeras más bajas a lo largo del año varían entre -15°C y -10°C . La mayor parte de las precipitaciones costeras se producen en forma de nieve.

La Antártica también experimenta dramáticos efectos estacionales por el ángulo de inclinación de la Tierra. En invierno (21 de Junio solsticio de invierno) la Antártica tiene una oscuridad durante 24 horas; esto dura aproximadamente seis meses y en verano (21 de diciembre solsticio de verano) esto ocurre de manera contraria contando con 24 horas de luz.

- **Preparación para proyectos arquitectónicos en la Antártica**

Para hacer cualquier proyecto arquitectónico en el continente Antártico se deben tener en cuenta muchos y variados aspectos y factores que hacen de esto algo complejo.

Los proyectos arquitectónicos por desarrollar deberán someterse a las condicionantes logísticas determinadas por la capacidad de la infraestructura existente, de acuerdo con los siguientes aspectos generales:

- Contemplar la cabida para las instalaciones de faena y su programación con las eventuales obras que simultáneamente se encuentran en ejecución.
- Considerar los flujos de transporte aeromarítimos y su programación condicionada por factores climáticos.

- Contemplar el diseño arquitectónico y estructural a partir de sistemas modulares que faciliten el transporte, montaje, desmontaje y extracción de residuos.

- Coordinar el desarrollo de proyectos en cuanto a proceso de fabricación, transporte en periodo invernal, realización de montaje y terminaciones en periodo estival.

Existen condiciones que deben cumplir los distintos proyectos arquitectónicos por desarrollar en territorio Antártico.

Condiciones contextuales:

Los proyectos deberán abordar la problemática generada a partir de su emplazamiento en la latitud 62° Sur, asociada a una serie de factores que deben determinarse en las propuestas arquitectónicas: Temperatura/humedad, vientos, vientos catabáticos, precipitaciones (98% sólida), efecto snowdrift (acumulación de nieve debido a los vientos), topografía, ausencia luz natural, radiación solar, implementación de sistemas barreras de vapor en envolvente térmica, debido a la propensión a condensación intersticial.

Condicionantes de gerenciamiento de proyectos:

De acuerdo a la Fuerza Aérea de Chile, los proyectos deberán contemplar un desarrollo en modelación BIM, de tal forma que el gerenciamiento de proyectos sea aplicable a todo el ciclo de vida de estos. En términos generales las instancias de proyectos deberán considerar los siguientes aspectos particulares:

- Instancia de diseño.
- Instancia de fabricación/construcción.
- Instancia de operación.
- Instancia de mantenimiento.
- Instancia de desarme/reciclaje.

(Riveros, 2021)

- **Arquitectura actual en la BAEF**

Actualmente en la BAEF existen distintas infraestructuras con diversos propósitos, entre ellas la Capitanía del puerto, el Módulo Base, que cuenta con habitaciones, casino y gimnasio (Fig. 3), Villa las Estrellas que cuenta con casas para los habitantes y

Planos casa Villa las Estrellas:

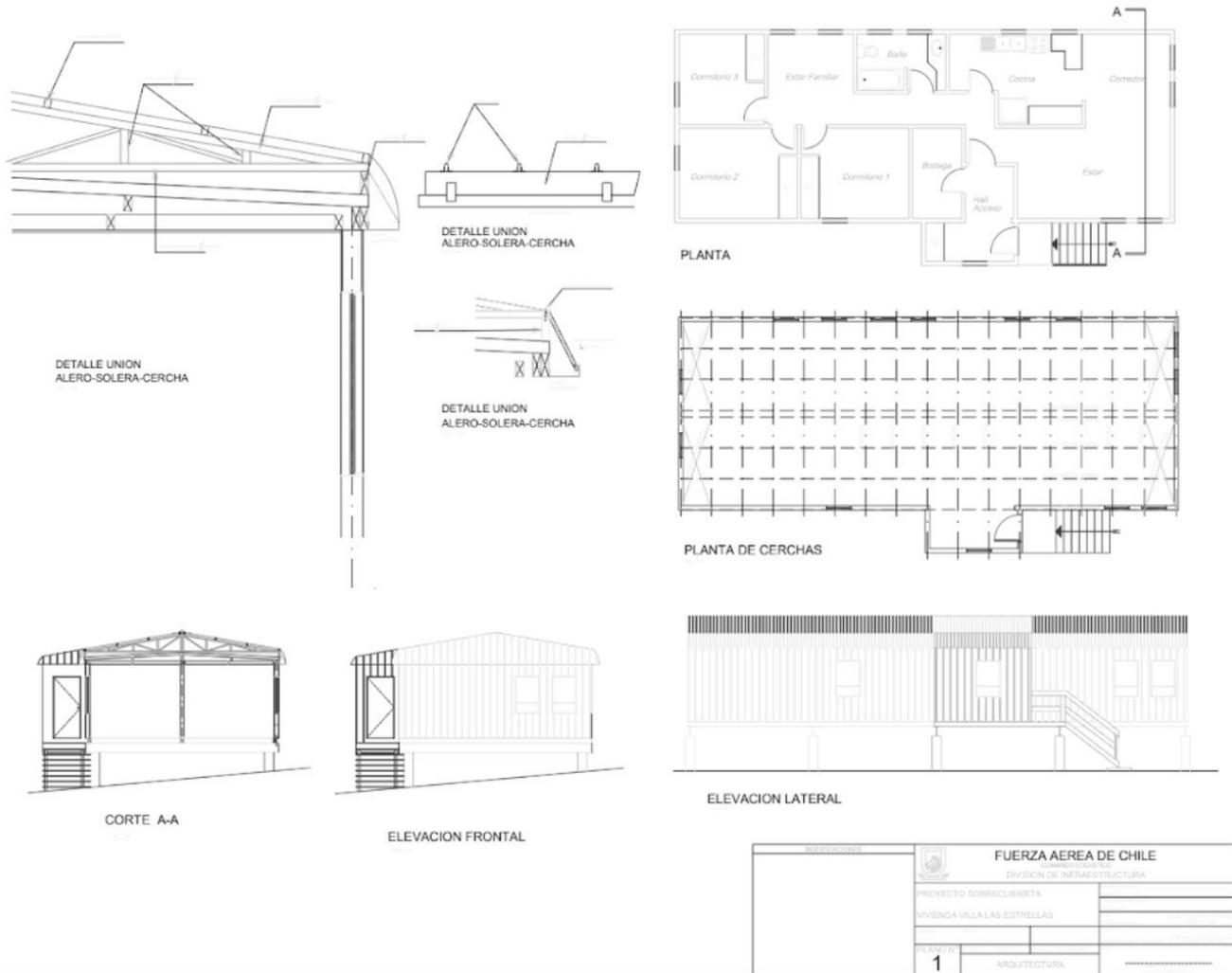


Fig. 4: Casa Villa Las Estrellas. Fuente: Fuerza Aérea De Chile, Comando Logístico, División de Infraestructura.

Plano general actual BAEF:

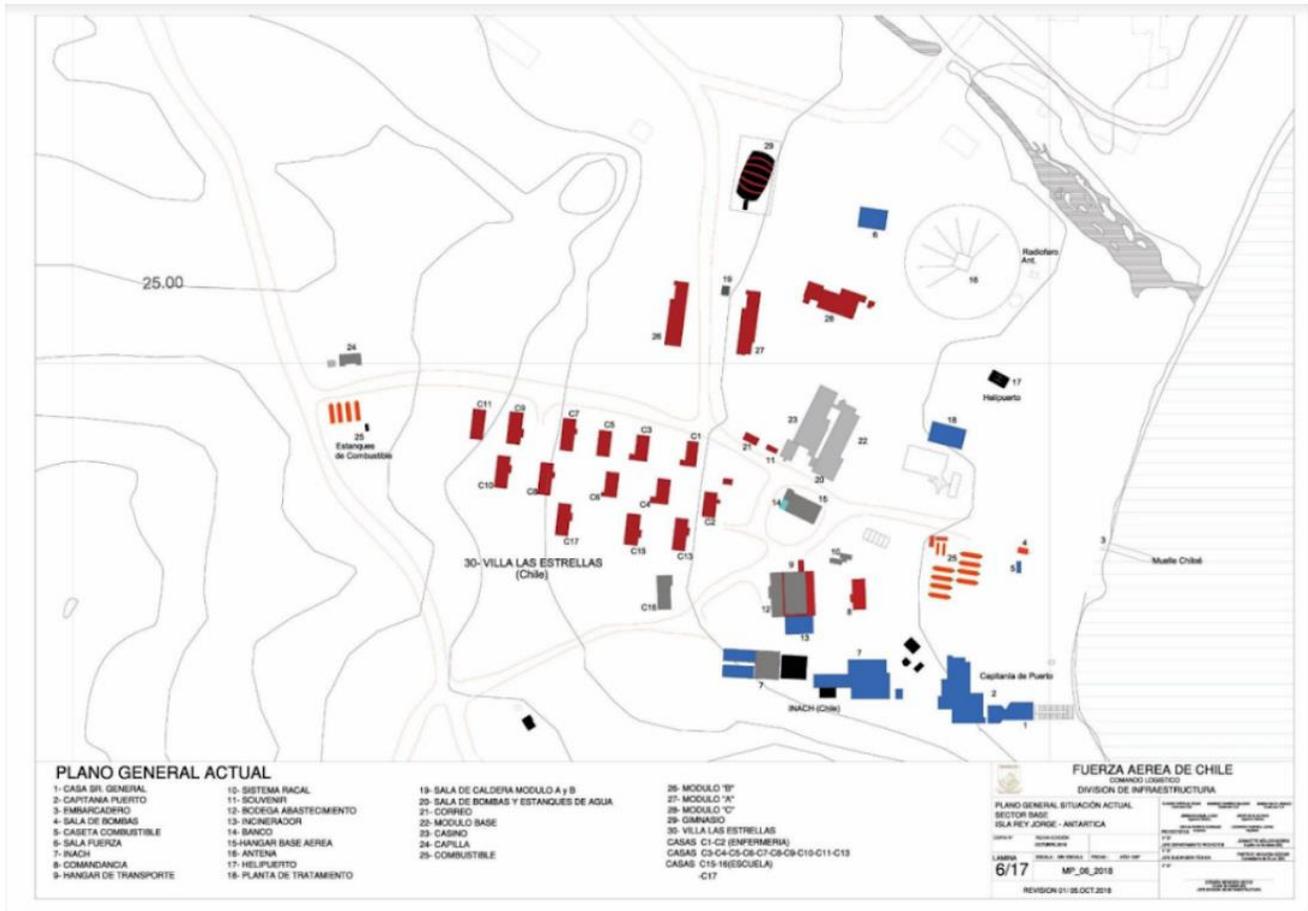


Fig. 5: Plano general actual. Fuente: Memoria Master Plan Antártica Fuerza Aérea de Chile

2.2. Normativa Antártica

Pese a que parte de la Antártica es territorio Nacional y las normativas y regulaciones Chilenas de Construcción se aplican a todo el territorio nacional, es sumamente complejo aplicarlas al continente Antártico, ya que esta no es una zona con características similares al resto del país.

Por esta misma razón, existen normas y tratados específicos para la correcta gestión en los proyectos llevados a cabo en la Antártica.

- **Tratado Antártico**

El Tratado Antártico se firmó el 1° de diciembre de 1959 en Washington y entró en vigencia el 23 de junio de 1961.

A través de éste, se brinda un marco normativo en relación al uso pacífico de la Antártica; la cooperación para la investigación científica, intercambio de informaciones, el régimen de inspecciones de las actividades que se realizan en la Antártica, la condición de *statu quo* de las reclamaciones territoriales de siete de los países signatarios, entre los cuales se encuentra Chile, la estructura orgánica, las actividades de terceros estados en la Antártica, y las normas y convenciones para la conservación de los recursos y del ambiente.

El tratado designa a la Antártica como una región de paz y cooperación, abordando además las cuestiones relacionadas con los reclamos de soberanía. Establece que: "en interés de toda la humanidad que la Antártica continúe utilizándose siempre exclusivamente para fines pacíficos y que no llegue a ser escenario u objeto de discordia internacional".

El Tratado fue firmado por los doce países que habían desarrollado actividades en el Continente Antártico durante el Año Geofísico Internacional (1957-58). Los países signatarios fueron: Argentina, Nueva Zelandia, Australia, Noruega, Bélgica, Sudáfrica, Rusia, Chile, Francia, Gran Bretaña, Japón y Estados Unidos. Estos países adquirieron automáticamente la condición de Miembros Consultivos.

- **Política Antártica de la Fuerza Aérea de Chile.**

Respecto del Sistema del Tratado Antártico:

1.- Desarrollar todas las actividades de control del espacio aéreo y apoyo científico y logístico, dentro del espacio aéreo que se superpone al territorio antártico chileno, constituido entre el meridiano 53° longitud Oeste y el meridiano 90° longitud Oeste de Greenwich.

2.- No implementar ninguna medida de carácter militar; ya sea establecimiento de bases y fortificaciones militares; maniobras militares; o ensayo de toda clase de armas. Solo se podrá hacer uso de personal institucional y equipo militar, para investigaciones científicas o cualquier otro fin pacífico.

3.- El personal institucional que realiza actividades en la Antártica, estará sometido exclusivamente a la jurisdicción nacional y a los tribunales que corresponda, en lo referido a las acciones u omisiones que tengan lugar con el fin de ejercer sus funciones.

4.- Facilitar la inspección de las bases institucionales por parte de observadores internacionales, debidamente acreditados ante el Ministerio de Relaciones Exteriores de Chile; y, en caso de no existir tal acreditación, coordinar previamente con el Instituto Antártico Chileno a través del conducto correspondiente. Al mismo tiempo, apoyar las inspecciones que Chile desee realizar a Bases extranjeras en la Antártica.

5.- Velar por el cumplimiento de la prohibición de cualquier actividad relacionada con los recursos minerales; salvo cuando se trate de una investigación científica.

("Política Antártica del Libro de la Defensa", 2008.)

Respecto de la infraestructura antártica:

1.- Transformar en forma gradual, en un plazo aproximado de 5 años, el poblado de Villa Las Estrellas, en una aldea científica antártica nacional, usando sistemas arquitectónicos enmarcados en los más altos estándares medioambientales. Para lo anterior, debe fundamentarse su desarrollo en la consecución de los objetivos estratégicos de la Política Nacional Antártica.

2.- Potenciar y desarrollar la infraestructura del Centro Meteorológico Antártico "Presidente Eduardo Frei M.", a fin de que cumpla cabalmente y con niveles de calidad y excelencia su misión de centro regional. Para lo anterior, debe mejorarse la infraestructura de dicho centro, como asimismo, fomentar la instalación de estaciones automáticas de transmisión de datos meteorológicos.

3.- Potenciar y desarrollar el aeródromo "Tte. R. Marsh M.", dotándolo de un mejor sistema de radioayudas a la navegación y aproximación precisa para despegues y aterrizajes, con buenas comunicaciones, servicio de control de tránsito aéreo y meteorología aeronáutica.

4.- Potenciar y desarrollar la "Estación A. Parodi A.", en el sector de Patriot Hills, con el propósito de convertirla en una estación científica permanente en temporada estival, buscando la asociación estratégica con INACH, universidades o centros de 13 estudios nacionales o internacionales, de modo que sea asumida como un proyecto país, pero operada aérea y logísticamente por la Institución.

5.- Recuperar y potenciar la Base Aérea "Presidente Gabriel González V." en el sector de la Península antártica, para que sirva de punto de apoyo a la actividad científica, de difusión educativa, logística y cultural de la trayectoria institucional.

6.- Desarrollar una estación de carácter eventual en el sector de Canal Jorge VI, que permita el apoyo aéreo y logístico a las aeronaves que deben desplegarse hacia el interior del continente Antártico.

7.- Abrir la base aérea "Tte. Luis Carvajal", en forma eventual, cuando se realicen proyectos de carácter científico, en que el personal institucional apoyará

logísticamente a dichas expediciones, y considerar que los traslados se harán vía marítima.

(“Política Antártica del Libro de la Defensa”, 2008.)

2.3. Envoltentes Antárticas

Las envoltentes en este clima extremo, tienen una serie de requerimientos para su buen funcionamiento, para desacelerar el deterioro y sobre todo para entregar condiciones de vida adecuadas para sus ocupantes, entre estos se pueden mencionar el aislamiento, tanto de vientos como de vapores y agua, la tracción, el desgarro, el efecto snowdrift (acumulación de nieve debido a los vientos), la radiación solar, efectos de las sales marinas, los altos niveles de luz ultravioleta, el choque térmico, entre otros.

Se realizó una recopilación de distintas envoltentes perimetrales de estructuras situadas en la Antártica y se definen los aspectos más relevantes de estas.

- **Estación Princess Elisabeth, Bélgica, 2008.**

La estación Princess Elisabeth, es la estación de investigación científica belga, inaugurada el año 2008, situada en 71°57'S 23°20'E, en Utsteinen Ridge, al norte de Utsteinen Nunatak, Tierra Dronning Maud, Antártica Oriental. (Fig. 6)

Esta estación la primera estación Antártica con “emisión cero”.

A diferencia de otras estaciones, ésta fue diseñada como una estructura con sistemas internos integrados, lo que la hace más compacta que cualquier otra estación del continente, minimizando la necesidad de materiales y favoreciendo una alta funcionalidad y eficiencia. Al mismo tiempo, fue concebida para aprovechar al máximo las técnicas de construcción pasiva actualmente disponibles. Se necesitaron dos temporadas de verano para la construcción de ésta estación. (Fig. 7)

Ésta estación cuenta con 9 capas de aislamiento en la envoltente, cada una de estas tiene su propia función; desde el aislamiento hasta el bloqueo del

vapor de agua, todo contribuye a la eficiencia de la estación Princess Elisabeth Antártica como edificio pasivo y estación de investigación científica de “emisión cero”.



Fig. 6: Localización estación Princess Elisabeth. Fuente: International Polar Foundation



Fig. 7: Construcción estación Princess Elisabeth. Fuente: International Polar Foundation

1. Acero inoxidable (1,5 mm). El acero inoxidable que recubre Princess Elisabeth Antártica es un material extremadamente resistente que resiste las condiciones climáticas extremas de la Antártica y evita que el agua llegue al interior de madera de los paneles de las paredes.

2. Espuma de Células Cerradas (3 mm). Los

paneles de las paredes de la estación están revestidos con una estera de espuma de poliestireno de celda cerrada de 4 mm, lo que garantiza un sello hermético alrededor de las bandas de acero inoxidable que se encuentran debajo de las juntas entre cada placa de acero que cubre la estación.

3. Sellador de silicona EPDM (3 mm). Por naturaleza, las siliconas son materiales altamente resistentes a la tracción y al desgarro y presentan resistencia al clima extremo Antártico, las temperaturas extremas y la luz ultravioleta. Este material es adecuado para las condiciones extremas de la Antártica y se utiliza para hacer que la estación Princess Elisabeth sea hermética al aire y al agua.

4. Madera Laminada (80 mm). Al inicio del proyecto, el equipo de Princess Elisabeth Antártica consideró la posibilidad de construir la estación íntegramente en metal. Esta solución, sin embargo, nunca hubiera sido posible transformarla en realidad ya que el metal se expande y contrae bajo diferentes temperaturas, y podría haber causado que la capa exterior del edificio se rompiera. La madera no tiene este problema y también es más fácil de transportar desde la costa antártica hasta el sitio de la estación en Utsteinen Nunatak.

5. Poliestireno de baja densidad cargado con grafito (400 mm). El poliestireno es extremadamente ligero para diseñar los paneles de la estación Princess Elisabeth. Gracias a su estructura, es resistente a la humedad y al vapor de agua, y para el aislamiento.

6. Madera Laminada (60 mm). Se coloca otra capa de madera laminada en el interior de la capa de aislamiento principal.

7. Papel kraft. Además de la barrera de vapor de aluminio que cubre la estación, el papel kraft en los diversos paneles de pared también sirve como barrera de vapor adicional.

8. Barrera de vapor de aluminio. La barrera de vapor de aluminio de la estación cubre toda la estación en una sola pieza.

9. Filtro de lana. Inspirada en las yurtas de Mongolia, la capa de fieltro de lana de los módulos de pared del Princess Elisabeth Antártica se suma a las propiedades de aislamiento de los paneles, al tiempo que mejora aún más la barrera de vapor de agua existente. (IPF, 2022)

- **Estación Halley VI, Reino Unido, 2013.**

La Estación Halley VI, de Reino Unido, inaugurada en febrero de 2013, es un edificio técnicamente complejo, es también la primera estación de investigación antártica reubicable. Está actualmente situada en la plataforma de hielo Brunt de 150 metros de espesor, que fluye hacia el mar a una tasa de velocidad de 400 metros al año. La estación Halley VI consta de un diseño para una estación de investigación sostenible que ofrece facilidad de entrega, construcción, operación y desmantelamiento (Fig. 8). Esta estación requirió de 3 temporadas de verano para completar su construcción.

La estructura modular está diseñada para el fácil transporte al lugar, para minimizar el esfuerzo de mantenimiento anual, superar la acumulación de nieve y para la reubicación en otros sitios.

El revestimiento debe montarse de forma rápida, segura y eficiente, proporcionando al mismo tiempo una construcción resistente al paso del aire frío, la humedad, la nieve acumulada, el choque térmico y los altos niveles de luz ultravioleta. Está formado por paneles aislados de plástico reforzado con fibra de vidrio (GRP) relativamente livianos, similares a los que se usan comúnmente en aviones comerciales, trenes y barcos. (Hunt, 2022)

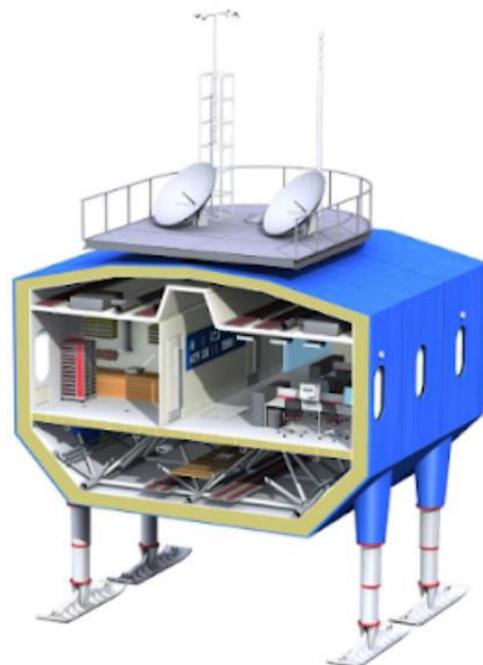


Fig.8: Corte sección estación Halley VI. Fuente: British Antarctic Survey

Se incorporaron paneles translúcidos de nanoaerogel, material eficiente térmicamente, que reduce la pérdida de energía en climas extremos y rigurosos. Los aerogeles de sílice también conocidos como "humo azul" o "humo congelado" son materiales sólidos y ligeros, y hasta ahora los mejores materiales de aislamiento. Contiene una estructura de poros de tamaño nano (100nm), y tiene baja densidad (1~500kg/m³), baja k(1,1~2,5), baja conductividad térmica (0,003~0,025w/(m. K)), alta porosidad (80~99,8%) y superficie (200~1000 m²/g).

Posee propiedades de aislamiento térmico, ambiente amigable, impermeable, ignífugo y no toxicidad para el cuerpo humano, y tiene un amplio campo de aplicación y conveniente para la construcción, que proporciona como productos transparentes de aislamiento térmico.

Las características principales de estos paneles son:
1. Transmisión superior, puede utilizar eficazmente la energía solar, ahorrando electricidad; 2. Baja conductividad térmica, buena capacidad de aislamiento; 3. Respetuoso con el medio ambiente, sin toxicidad, no corrosivo; 4. Buenas propiedades de resistencia a la compresión y a los golpes; 5. Seguro y ligero para construir.

- **Base Bharathi, India, 2012**

La base India de investigación antártica de Bharathi está situada en la sección de Larsmann Hills en el noreste de la Antártida e inaugurada en 2012. Ésta instalación está diseñada para que pueda ser completamente desarmada y removida sin dejar rastro. La base Bharathi consta de tres pisos construidos con 134 contenedores estándar que no sólo definen los espacios individuales, sino que también constituyen el sistema estructural. (Fig. 09) El alto grado de movilidad y flexibilidad asociada a dichos recipientes prevé un óptimo medio de transporte y períodos de montaje extremadamente cortos.

Esta base sólo demoró un periodo de verano en construirse.

Estos contenedores se entrelazaron y cubrieron con una piel aislada y una capa exterior. (Fig. 10) Los contenedores se prefabricaron primero en Alemania, antes de enviarse a través de Amberes y

Ciudad del Cabo, y se ensamblaron rápidamente en el sitio durante el verano antártico de finales de 2011 a 2012. La envoltura del enorme edificio prefabricado es una piel de paneles de aluminio de alto aislamiento térmico, poliuretano y elementos de vidrio aislado para mantener las temperaturas interiores. Ésta envoltura puede soportar fuertes vientos, temperaturas por debajo de los 40 grados centígrados, ventiscas, nieve y cargas térmicas, además de tener un amplio acristalamiento en un lado para mantener una conexión visual con el exterior.



Fig.9: Estructura base Bharathi. Fuente: Bof- Architekten

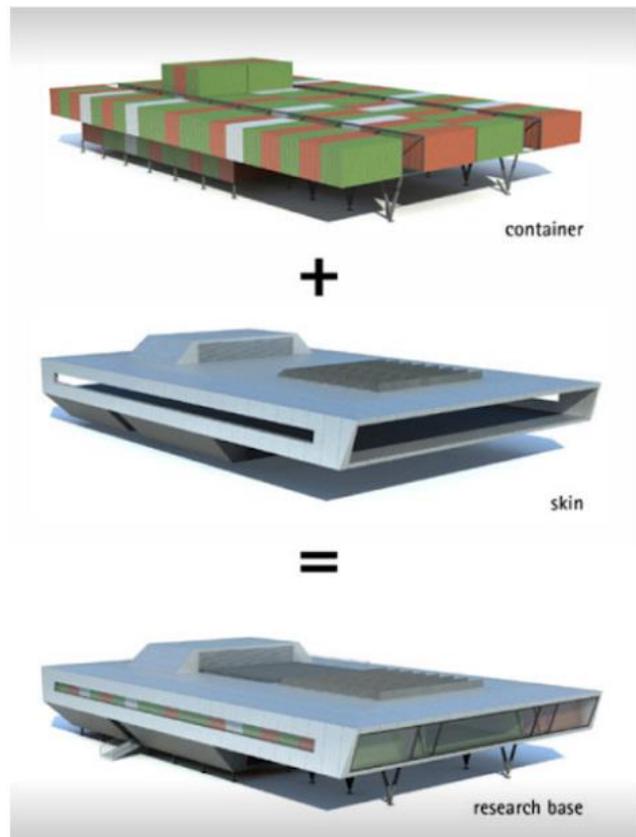


Fig.10: Esquema base Bharathi. Fuente: Bof-Architekten

- **Base Scott, Nueva Zelanda, 1976**

La base Scott es una estación de investigación científica de Nueva Zelanda ubicada en la punta Pram de la península Hut Point en la isla Ross en el estrecho de McMurdo.

En una primera instancia, la base constaba de una serie de edificaciones o módulos, estos módulos prefabricados, construidos en Melbourne, tenían paredes y techos resistentes al fuego con aislamiento de espuma y estaban revestidos con una lámina de aleación de aluminio para evitar la penetración del vapor de agua. Se usaron varillas de tensión de acero a través de los paneles para unirlos. En Nueva Zelanda se construyeron dos módulos más, que comprendían una estructura más pesada, un revestimiento exterior de madera contrachapada, aislamiento de fibra de vidrio y revestimiento interior ignífugo. Habían pequeñas ventanas cada 2,3 m. que eran de doble acristalamiento y, en algunos casos, teñidos contra el deslumbramiento de la nieve. (Harrowfield, 1997).

En diciembre de 1970 se anunció que dentro de una década, la base Scott tendría que ser reconstruida. En 1973 se llevó a cabo la planificación para la reconstrucción de la base Scott. Los edificios en esta etapa no estaban deteriorados, pero el mantenimiento de estos era cada vez más complejo. (Harrowfield, 1997).

La reconstrucción comenzó en 1976-1977.

La base se diseñó a partir de módulos prefabricados divididos en componentes compactos, que cabrían en la bodega de un barco pequeño. La base fue diseñada en una serie de seis módulos, comunicados por pasarelas cubiertas. (Harrowfield, 1997) (Fig. 11)

El material de revestimiento utilizado en la base Scott se construyó originalmente con paneles prefabricados de 200 mm de espesor, revestidos con madera contrachapada. Estos tenían una barrera de vapor de polietileno detrás de un tablero Gibraltar, para evitar el vapor de agua. Era difícil trabajar con los paneles utilizados, ya que eran pesados para transportar y proporcionaban un aislamiento limitado. Desde la construcción de esta base, se han diseñado otros edificios para que sean livianos con el tipo de cámara frigorífica de paneles. Estos se manejan fácilmente y proporcionan un aislamiento térmico eficaz y fiable. (Mitchell, 2001).

Los paneles que se utilizaron para las siguientes etapas de desarrollo, son de exterior de espuma de poliuretano con paramentos de chapa de acero. Los edificios más recientes construidos, en 1999, comprendían aislamiento de poliestireno debido a que el poliuretano anterior ya no se producía en Nueva Zelanda. La espuma de poliuretano proporcionó mayor aislamiento que el poliestireno y la diferencia de espesor de 150 mm requeridos de poliuretano en comparación con los 250 mm requeridos de poliestireno para proporcionar el aislamiento equivalente (Mitchell, 2001).

La construcción de la nueva central de la base, constaba de paneles sándwich de espuma de poliuretano revestidos de acero que estaban sujetos con pernos de nylon a un marco de acero que era similar a la cámara frigorífica de la construcción. En este momento se instaló e incluyó un nuevo sistema de protección contra incendios, unidades automáticas de detección de calor y humo (Harrowfield, 1997).

Las bases australianas han utilizado varios materiales a lo largo de los años, como madera contrachapada, asbesto de cemento con un aerosol para brindar protección contra la arena que vuela, el aluminio y fibra de vidrio. En 1980 la norma era un núcleo de poliestireno revestido de acero protegido con zincalum (Ícoll, 1980).



Fig. 11: futura Base Scott. Fuente: WSP Corporate.

- **Estación Concordia, Francia, Italia, 2005**

La Estación Concordia es una instalación de investigación operada conjuntamente por el *Institut Paul Emile Victor* (IPEV) francés y la *Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo*

sviluppo economico sostenibile
ENEA (anteriormente PNRA) de Italia. Fue inaugurada en 2005.

La estación Concordia se encuentra en el Domo C, [Posición: 75°06'S - 123°21'E, altitud: 3200 m] está a más de 1000 kilómetros de distancia de todas las otras estaciones permanentes y semi-permanentes en la Antártica, lo que significa que ésta es el puesto avanzado humano más aislado del planeta. (Fig. 12)

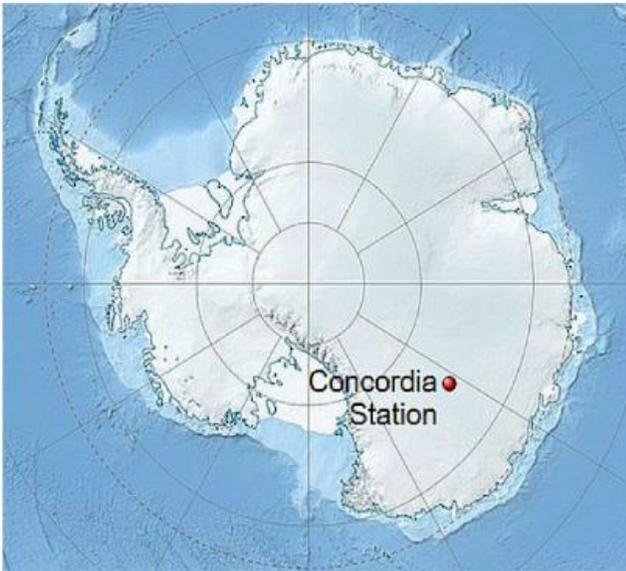


Fig. 12: Localización estación Concordia. Fuente: World Meteorological Organization



Fig. 13: Estación Concordia. Fuente: World Meteorological Organization

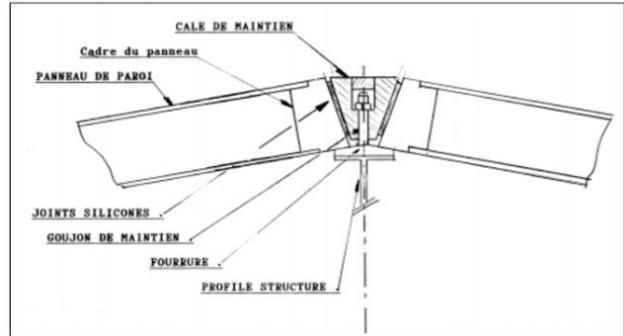


Fig. 14: Detalle estructural estación Concordia. Fuente: Concordia Technical Overview.

La carga pesada, la gente y el equipo llegan a la estación Concordia desde la Estación *d'Urville de Dumont* a 1.100 kilómetros de distancia. El trayecto dura entre siete y doce días dependiendo en gran medida del clima en ese momento.

Luego de una importante etapa de ensayo de materiales y montaje de arquitectura metálica, la construcción comenzó en 2002 luego de la preparación del sitio. Este edificio se logró en 3 temporadas de verano. Requirió la entrega de más de 3.000 t de equipos por vía terrestre. (Fig. 13)

La envolvente está formada por paneles exteriores adosados a la estructura y mantenidos independientes unos de otros. Los paneles son paneles de 160 mm hechos de espuma de poliuretano M1 intercalado entre láminas de poliéster. Los sellos sustanciales mantienen todo el sobre hermético al agua y al aire. La figura 14 muestra cómo se unen los paneles envolventes a la estructura. Permite la transferencia de cargas de viento a la estructura, deja los paneles independientes y permite la expansión térmica de la estructura que puede experimentar un diferencial de temperatura de 70°C entre el final del construcción y la calefacción a su temperatura nominal de funcionamiento. (Gordon, 2000)

3. Métodos

Dado que el enfoque principal de esta investigación era el estudio de distintas envolventes perimetrales para climas de frío extremo y la posible implementación de estas en la BAEF, se realizaron tres etapas de investigación. La primera consistió en la recopilación de datos sobre la situación actual en la BAEF en cuanto a localización, clima, arquitectura, desarrollo y normativas.

En la segunda etapa se detalló la normativa chilena actual acerca de las construcciones e infraestructuras en el sector Antártico, al mismo tiempo que los requisitos logísticos para las construcciones en la Antártica.

En la etapa final, se elaboró un recopilado de las características principales y materialidades de las envolventes de bases o estaciones Antárticas de distintos países. Se evaluaron las diferentes propiedades de estas, a fin de determinar la posibilidad y factibilidad de aplicación en la BAEF.

Para recopilar la información presente en este artículo, en el caso de la BAEF, se recopiló información bibliográfica de documentos, memorias y artículos brindados por la Fuerza Aérea de Chile, Comando Logístico, División de Infraestructura y del Instituto Antártico Chileno o INACH.

Por otra parte, se requirió una revisión bibliográfica de documentos y páginas oficiales de las demás bases y estaciones expuestas en el presente documento, al mismo tiempo que de los distintos centros de investigaciones afiliados a dichas bases o estaciones, apelando a la ley de transparencia en algunos casos.

4. Resultados

4.1. Conclusiones

Como se presentó en este artículo, la BAEF actualmente posee antiguas infraestructuras e instalaciones que han ido envejeciendo y deteriorándose. Esto produce una falta de sustentabilidad energética, en la escala de la

edificación que esta posee, lo cual afecta al bienestar de sus habitantes.

Por otra parte, al hacer la recopilación de información sobre distintas bases y estaciones actualmente en uso en la Antártica y de sus características principales en cuanto a las distintas materialidades de envolventes perimetrales, infraestructura y sistemas de construcción que estas poseen, se analizó la aplicabilidad de estas a la BAEF con la finalidad de subsanar las deficiencias descritas anteriormente.

En consecuencia, se puede concluir que las distintas formas de emplear materiales para la envolvente descritas a lo largo del presente artículo, estas pueden ser adaptables y aplicables a la BAEF, cumpliendo todas éstas con la eficiencia, integración, sustentabilidad y protección del medio ambiente y satisfaciendo las actuales políticas del territorio Antártico, éstas poseen distintos niveles de conveniencia según distintos puntos de vista, ya sean de tiempo de montaje, aspectos estructurales y producción de residuos, entre otras, pudiéndose aplicar de distinta manera a distinta escala,

4.2. Tabla de resultados

En la tabla 1 se presenta la síntesis de los antecedentes analizados, se resumen las principales características y materiales de la envolvente de cada una de las bases o estaciones mencionadas, al mismo tiempo se analizan las fortalezas y debilidades, en caso de tenerlas, de cada base y finalmente se analiza si el sistema, funcionalidad y materialidad de estas es aplicable para la renovación de la envolvente en la BAEF.

TABLA DE RESULTADOS

	Características y condiciones	Materiales y sistemas tecnológicos	Fortalezas	Debilidades	APLICACIÓN EN LA BAEF
Estación Princess Elizabeth	<ul style="list-style-type: none"> -Primera estación "emisión cero". -Alta funcionalidad y eficiencia. -Minima necesidad de materiales complejos. 	<ul style="list-style-type: none"> -Acero inoxidable -Espuma de células cerradas -Sellador de silicona EPDM -Madera laminada -Poliestireno de baja densidad cargado con grafito -Papel kraft. - Barrera de vapor de aluminio -Filtro de lana 	<ul style="list-style-type: none"> -Periodos cortos de montaje -Compacta -Minimiza la necesidad de materiales 		Debido a la poca complejidad de los materiales y a la alta funcionalidad de estos , es aplicable a la BAEF pudiendo lograr un sistema de calentamiento pasivo , y mejorando así la envolvente existente actualmente además de no necesitar la demolición de lo existente
Estación Halley VI	<ul style="list-style-type: none"> -Construcción modular -Posibilidad de desplazamiento -Materialidad térmicamente eficiente 	<ul style="list-style-type: none"> - Paneles aislados de plástico reforzado con fibra de vidrio (GRP) -Paneles translúcidos de nano aerogel 	<ul style="list-style-type: none"> -Térmicamente la más eficiente actualmente. -Reubicable gracias a la estructura 	<ul style="list-style-type: none"> -Dificultad de montaje. -Periodos de montaje largos 	Este sistema de envolvente aplicado a la BAEF, requeriría cambiar totalmente la envolvente existente , lo que supone un periodo de obra extenso, al mismo tiempo que muchos residuos.
Estación Bharathi	<ul style="list-style-type: none"> -Construcción y sistema estructural a base de contenedores estándar -Movilidad y flexibilidad -Piel aislada y capa exterior. 	<ul style="list-style-type: none"> -Paneles de aluminio de alto aislamiento térmico -Poliuretano - Elementos de vidrio aislado 	<ul style="list-style-type: none"> -Periodo de montaje extremadamente corto -Óptimo medio de transporte 		Este sistema de envolvente aplicado a la BAEF, requeriría cambiar totalmente la envolvente existente , lo que supone un periodo de obra extenso, al mismo tiempo que muchos residuos.
Base Scott	<ul style="list-style-type: none"> -Base existente y reconstruida -Reutilización de materiales originales -Construcción modular 	<ul style="list-style-type: none"> -Lámina de aleación de aluminio -Madera contrachapada -Aislamiento de fibra de vidrio -Revestimiento interior ignífugo. -Barrera de vapor de polietileno -Espuma de poliuretano -Paramentos de chapa de acero 	<ul style="list-style-type: none"> -Reutilización de materiales. -Fácil transporte -Pocos residuos 		Es factible reutilizar materiales ya presentes actualmente en la envolvente de la BAEF y agregando nuevos, se podría lograr una mejora en el sistema de calentamiento pasivo , al mismo tiempo que una reducción significativa de residuos.
Estación Concordia	<ul style="list-style-type: none"> -Estación Antártica más aislada -Envolvente con paneles aislados a la estructura principal e independientes unos de otros. 	<ul style="list-style-type: none"> -Paneles de 160 mm hechos de espuma de poliuretano M1 -Láminas de poliéster. 	<ul style="list-style-type: none"> -Permite la expansión y contracción de materiales debido al frío -Permite la independencia de la estructura y la envolvente 	<ul style="list-style-type: none"> -Alta dificultad en el trayecto hasta la base, tanto de material como de personal. -Periodos largos de montaje 	La estructura y la envolvente están aisladas, por lo que al aplicarla este sistema a la BAEF, se tendrían que hacer modificaciones en la estructura , lo que conlleva a largos periodos de construcción y la producción de muchos residuos.

Tabla 1: Elaboración Propia

Agradecimientos

Este artículo fue posible gracias a la gran ayuda y disposición de las siguientes personas e instituciones.

Coronel de Aviación (AD) José Rodrigo Villegas, jefe de la División de Infraestructura de la Fuerza Aérea de Chile

Hector Paz Rodriguez, Asesor del Ministerio de Defensa de Chile

Sr. Leonardo Gabrielli, Arquitecto De la División de Infraestructura de la Fuerza Aérea de Chile.

Nora de la Maza C. Profesora y Arquitecto de la Universidad de Chile.

Fuerza Aerea De Chile, Comando Logístico, División de Infraestructura.

Elise Grange "The future of Scott Base" https://ir.canterbury.ac.nz/bitstream/handle/10092/14003/Grange_E_Lit.Review.pdf?sequence=1

Protocolo al Tratado Antártico sobre protección al medio ambiente.

https://www.inach.cl/inach/wp-content/uploads/2009/10/protocolo_medio_ambiente.pdf

Referencias

"Antartic Station, Princess Elisabeth Antartica"
<http://www.antarcticstation.org/station/construction>
<http://www.polarfoundation.org/>

British Antartic Survey, natural environment research council. <https://www.bas.ac.uk/polar-operations/sites-and-facilities/facility/halley/>

Billings Design Associates, Halley VI Research Station <https://www.billingsdesign.ie/halley-vi-research-station>

Bof-architekten, Bharati, Indische Antarktisstation <https://www.bof-architekten.de/projekte/sonderbauten/bharati.html>

Instituto Antártico Chileno <https://www.inach.cl/inach/>