



GOBIERNO DE CHILE
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS
UNIDAD DE GLACIOLOGÍA Y NIEVES

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LA RED DE
MONITOREO PARA GLACIOLOGÍA Y CAMBIO
CLIMÁTICO**

REALIZADO POR:

UNIDAD DE GLACIOLOGÍA Y NIEVES
DIRECCIÓN GENERAL DE AGUAS

S.D.T. N° 411

SANTIAGO, MARZO DE 2018

MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS

Ministro de Obras Públicas
ALBERTO UNDURRAGA

Director General de Aguas
CARLOS ESTEVEZ VALENCIA

Jefe Unidad Glaciología y Nieves
Dr. Gonzalo Barcaza

Profesionales

Raúl Cisternas
Diego González
Franco Buglio
Jorge Huenante
Javier Valdés

Citar este informe como sigue:

Barcaza, G., Cisternas, R., González, D., Buglio, F., y Huenante, J.: **Diseño y construcción de la red de monitoreo para Glaciología y Cambio Climático.**

Unidad de Glaciología y Nieves, SDT 411, 2018.

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	4
2.	OBJETIVOS	7
3.	GLACIOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO	8
3.1.	Balance de Masa	8
3.2.	Cambio Climático	10
3.3.	Observación y datos	12
3.3.1.	Variables Esenciales del Clima	12
3.3.2.	Monitoreo climatológico	12
3.3.3.	Datos para modelación	13
3.3.4.	Criterios para selección de cuencas	13
3.3.5.	Localización de estaciones meteorológicas fijas	15
4.	ESTACIONES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS	17
4.1.	Estaciones Meteorológicas Automáticas Fijas (EMAF)	17
4.1.1.	Diseño y construcción de obras civiles	17
4.1.2.	Estaciones construidas	36
4.2.	Estaciones Meteorológicas Automáticas Móviles (EMAM)	41
4.2.1.	Introducción	41
4.2.2.	Características de los trípodes	41
4.2.3.	Localización de estaciones sobre glaciares piloto.....	45
5.	TRANSMISIÓN DE DATOS	50
5.1.	Goes.....	50
5.2.	iridium	50
6.	TRATAMIENTO DE LA METADATA	51
7.	NIVELES DE PROCESAMIENTO DE DATOS	52
8.	MEDICIÓN DE CAUDALES DE DESHIELO	53
9.	INFRAESTRUCTURA PARA MONITOREO.....	61
10.	AGRADECIMIENTOS	65
11.	BIBLIOGRAFÍA.....	66
	ANEXO 1: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS SENSORES	69
	ANEXO 2: FICHAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS FIJAS	71
	ANEXO 3: PLANOS ESTACIÓN METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA FIJA	72
	ANEXO 4: PLANOS SISTEMA DOUBLE FENCE INTERCOMPARISON REFERENCE	73
	ANEXO 5: PLANOS ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS MONITOREO DE DESHIELO	74
	ANEXO 6: PROGRAMA DE MONITOREO UNIDAD DE GLACIOLOGÍA Y NIEVES.....	75

1. INTRODUCCIÓN

La década hidrológica internacional de UNESCO/IHP/1965/74 dispuso la creación del Inventario Mundial de Glaciares (WGI, por su sigla en inglés) para determinar la importancia de los glaciares en el ciclo hidrológico. Desde 1990, el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por su sigla en inglés) ha dado cuenta del impacto del calentamiento global en los glaciares de montaña (*Glaciers and Ice Caps*, GIC) y sábanas de hielo (*ice sheets*), con el consecuente aumento en el nivel del mar (e.g., Marzeion *et al.*, 2012; Barh y Radić, 2012; Grinsted, 2013).

La Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (UNFCCC, por su sigla en inglés) de 1992 señala que los glaciares son variables esenciales del clima (*Essential Climate Variables*, ECVs), por lo que, para definir cómo cambiará el clima a futuro, la UNFCCC creó el Sistema Mundial de Observación del Clima (*Global Climate Observing System*, GCOS), que incluye el dominio terrestre (*Global Climate Terrestrial System*, GTOS), el sistema global de observación integrada (*Integrated Global Observing System*, IGOS), y observaciones particulares para la criósfera (IGOS, 2007).

En Chile, en el año 2008, la DGA creó la Unidad de Glaciología y Nieves (UGN) para llevar a cabo un programa glaciológico nacional tendiente a inventariar, monitorear y estudiar glaciares a lo largo del país, permitiendo conocer la respuesta presente y futura de los glaciares al calentamiento global. En base a las recomendaciones del GTOS y del Global Terrestrial Network for Glaciers (GTN-G), el programa de glaciología de la DGA apunta a los siguientes objetivos (Zemp *et al.*, 2009):

- 1) Comprender procesos según zonas glaciológicas (**Figura 1**) y glaciares piloto en combinación con mediciones tradicionales y sensores remotos;
- 2) Detección de cambios glaciares tales como variaciones recientes, tasa de cambio, tendencias de aceleración y patrones de cambio;
- 3) Validación de modelos de derretimiento, balance de energía e hidrológico; y
- 4) Estimación de impactos en recursos hídricos.

Considerando que los glaciares responden al clima de una manera compleja, se requiere una aproximación combinada de climatología de superficie en cuencas glaciadas, balance de energía en glaciares piloto y descarga de agua en cuencas. Para llevar a cabo los objetivos anteriores, el *World Glacier Monitoring Service* (WGMS) propone un sistema integrado de observación jerárquica para monitorear glaciares en base a: i) mediciones in-situ; ii) percepción remota; y iii) modelación.

Como parte de las mediciones in-situ, determinar la respuesta de los glaciares a las condiciones meteorológicas actuales y futuras requiere la cuantificación de la interfase glaciar – clima mediante el diseño y construcción de la red de glaciología y cambio climático en cuencas de montaña altamente glaciadas y glaciares piloto. Observaciones de largo plazo, precisas y sin distorsiones son esenciales para definir el

estado del sistema terrestre global integrado, su historia y su futura variabilidad y cambio (Diamond *et al.*, 2013).

Para comprender los procesos glaciológicos según zonas, se pretende determinar la evolución de la variabilidad climática a nivel regional en el mediano plazo, utilizando estaciones estandarizadas en términos de diseño que midan las variables esenciales del clima (ECVs), equipadas con sensores tipo "research grade" montados a una altura común con el fin de eludir la incertidumbre instrumental.

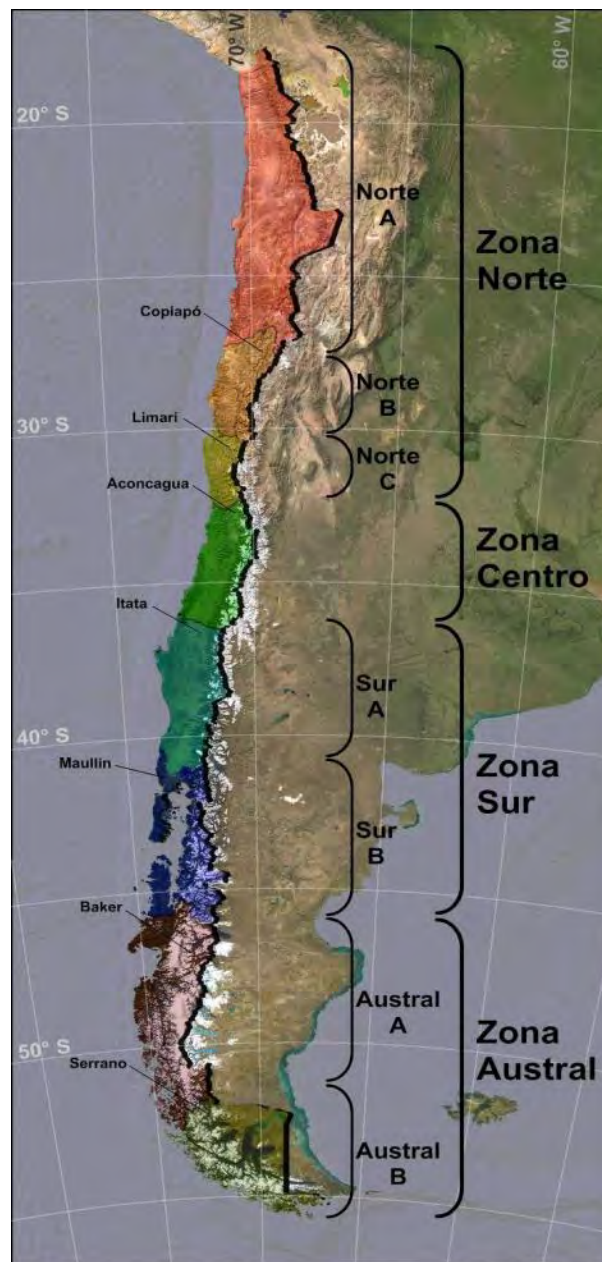


Figura 1. Zonas y subzonas glaciológicas definidas en la Estrategia Nacional de Glaciares (DGA, 2009).

Complementariamente, la Unidad lleva a cabo campañas de terreno de un alto nivel logístico que permiten la realización de balances de masa geodésicos con tecnología

LiDAR, balances de masa glaciológicos con balizas de ablación, medición de espesor de hielo, monitoreo de calving en glaciares cuyo frente terminal descansa en cuerpos lacustres o fiordos, medición de caudales de deshielo para balance de masa hidrológico, entre otros (**Figura 2**).

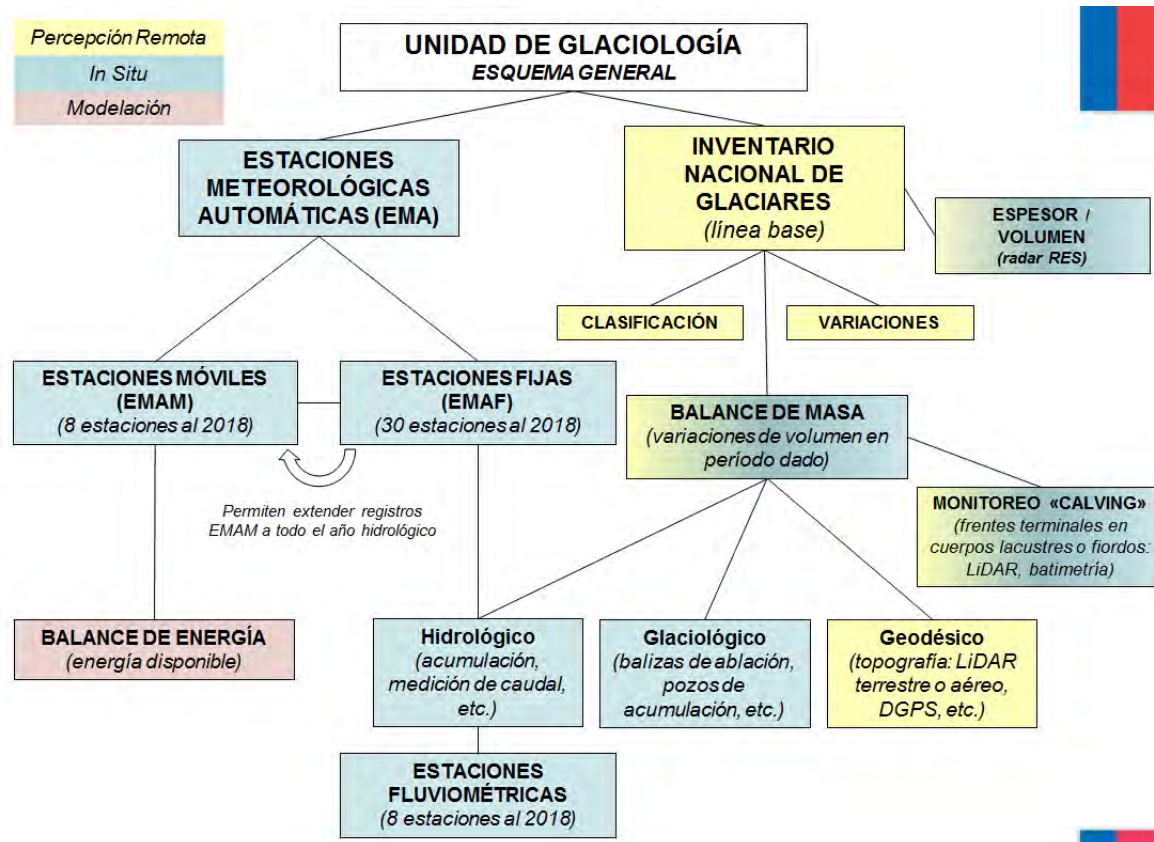


Figura 2. Esquema General del Plan de Monitoreo Glaciológico de la Unidad de Glaciología y Nieves.

El presente informe técnico establece las características técnicas y alcances de la red de monitoreo glacio-meteorológico, permitiendo así la construcción de una base de datos cuantitativa a nivel regional y local para realizar estudios glaciológicos en respuesta al cambio climático. El sistema ha sido implementado en cabeceras de cuencas representativas mediante estaciones fijas (permanentes) y móviles sobre glaciares (período estival), tendientes a cuantificar lo siguiente:

- 1) Climatología de superficie en cuencas glaciadas;
- 2) Balance de energía en glaciares piloto; y
- 3) Descarga de agua en cuencas de montaña.

2. OBJETIVOS

Los objetivos de la red glacio-meteorológica de la Unidad de Glaciología y Nieves son los siguientes.

- 1) Obtener información meteorológica representativa para determinar la respuesta de los glaciares a las condiciones meteorológicas actuales y futuras.
- 2) Reducir la incertidumbre instrumental mediante estaciones estandarizadas en términos de diseño e instrumental para detectar tendencias de largo plazo y cuantificar los errores asociados.

3. GLACIOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO

3.1. Balance de Masa

En base a imágenes Landsat, el inventario de glaciares de Chile indica la existencia de más de 24.000 cuerpos de hielo cuya área en planta es superior a 1 hectárea, de los cuales un número de 5.748 glaciares son más grandes que 25 hectáreas, cubriendo una superficie total de $22.567 \pm 1.128 \text{ km}^2$ (Barcaza *et al.*, 2017). La relación entre glaciares y clima está determinada por el intercambio de masa entre la atmósfera y los glaciares, que se expresa en cambios de geometría, como lo son los retrocesos frontales y la escorrentía superficial (**Figura 3**). Por lo tanto, cuantificar la climatología a nivel de cuenca glaciada es una información fundamental para estimar el balance de masa y la descarga de agua de un glaciar determinado. La ecuación de balance de masa (Eq. 1) es dada por Hagen y Reeh (2004).

$$\frac{\partial V}{\partial a} = Ma - Mm - Mc \pm Mb$$

Eq.1

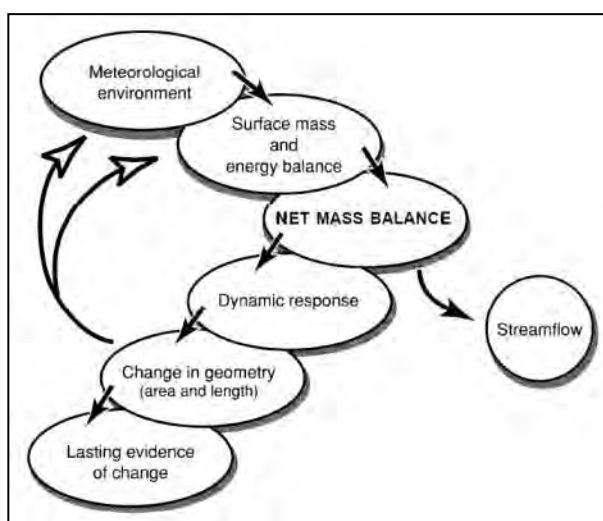


Figura 3. Procesos que vinculan la meteorología con el balance de masa de un glaciar y su efecto en el modelado.

Fuente: Modificado de Meier, 1965, Fountain *et al.*, 1997.

El miembro izquierdo de la ecuación de balance de masa (**Eq.1**) corresponde al cambio de elevación y se obtiene a partir del método geodésico: (i) medición de estacas sobre el glaciar con Sistema de Posicionamiento Global (GPS, por su sigla en inglés) o (ii) de manera distribuida con un Modelo Digital de Elevación (DEM, por su sigla en inglés), construido a partir de imágenes satelitales estereoscópicas, escáner láser (LiDAR) aéreo (ALS) o terrestre (TLS). Por su parte, el miembro derecho de la ecuación se obtiene a partir del método glaciológico y requiere un intenso trabajo de campo para cuantificar cada uno de sus componentes: (i) acumulación nival (Ma), (ii) derretimiento de nieve y hielo (Mm), (iii) descarga de témpanos (Mc) y (iv) balance basal (Mb).

Aunque el balance de masa de los glaciares es una gran incógnita, la mayor incertidumbre la constituye la descarga de hielo de los glaciares efluentes con frentes desprendentes en lagos o fiordos, cuya mayor extensión se encuentran en el extremo Austral, donde Campo de Hielo Norte (CHN) y Campo de Hielo Sur (CHS), en conjunto, constituyen la mayor extensión de glaciares temperados del Hemisferio Sur (Warren y Sugden, 1993).

Un glaciar que termina en un fiordo o lago se caracteriza por una pared de hielo del cual se desprenden témpanos según su velocidad de *calving* (U_c). El espesor total del glaciar (H) flota en el cuerpo de agua desde la línea de conexión entre el hielo y el lecho rocoso, lo que implica una pared de hielo visible sobre el cuerpo de agua (h); y una parte sumergida (Z_h). La pérdida de masa en un glaciar que termina en un fiordo o lago depende de su velocidad glacial en el frente terminal (U_c) y cambios frontales de su pared (dL/dt), en relación con la profundidad de la columna de agua que lo contiene (D_w).

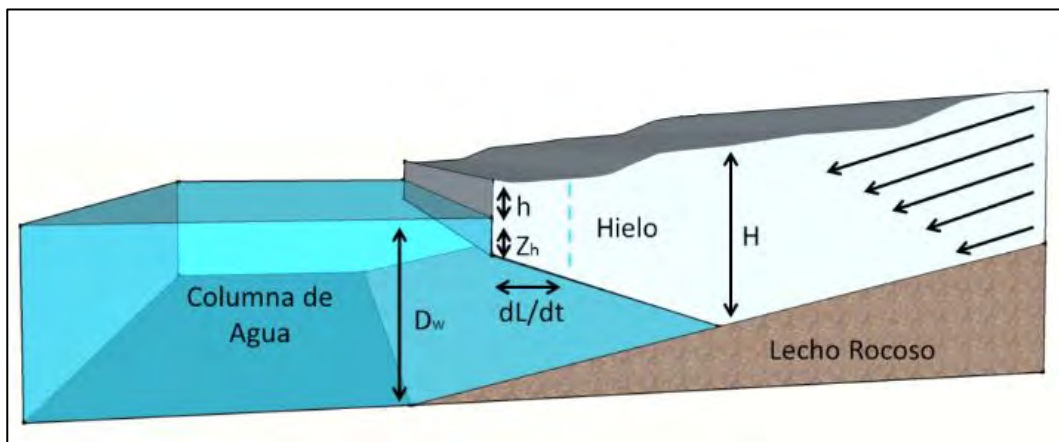


Figura 4. Parámetros involucrados en las variaciones frontales por Calving. Esquema General.

En Patagonia existen 79 grandes glaciares efluentes que cubren 12.848 km² y representan un 54% del área glaciada de Chile (Barcaza *et al.*, 2017), por lo que, debido a su representatividad espacial, requieren atención especial tendiente a relacionar el balance de masa superficial con la descarga de témpanos. Los grandes glaciares de Patagonia constituyen un desafío científico tanto por su extensión como por las dimensiones de sus glaciares efluentes. Debido a que los frentes terminales de estos glaciares terminan en fiordos y lagos de represamiento glacial (Warren y Aniya, 1999), la descarga de témpanos (*calving*) constituye una respuesta dinámica que requiere un monitoreo específico.

Para glaciares que terminan en tierra (roca), el balance de masa está determinado por la diferencia entre la acumulación nival (precipitación) y el derretimiento de la nieve y el hielo.

3.2. Cambio Climático

En Chile, entre los 17° y 37° S, se determinó un calentamiento de +0,26 °C/década (1976-2006) en base a observación y modelación (Falvey y Garreaud, 2009). No obstante, la falta de validación debido a la inexistencia de estaciones de calidad en alta montaña resta certeza técnica a dichas tendencias. Sin embargo, en Los Andes Tropicales la tendencia depende de la latitud y de la elección del período de referencia (Vuille *et al.*, 2015), determinándose en la primera década un valor (+0,34) °C/década (1961-1990), mientras que en el período siguiente se determinó un enfriamiento de (-0,12) °C/década (1981-2010).

Debido a que las magnitudes de calentamiento son pequeñas, la red de referencia glacio-meteorológica (RGM) debe ser capaz de reducir la incertidumbre instrumental y evitar distorsiones de medición en tendencias de largo plazo, manteniendo los errores en el rango de la precisión de los sensores ($\pm 0.2^{\circ}\text{C}$).

Dos principales errores sistemáticos en la medición de temperatura del aire han sido reportados (Nakamura y Mahrt, 2005). Uno es la ausencia de altura estandarizada del sensor, que puede significar distorsiones 0,2 °C en diferencias de 0,6 m de altura en condiciones estables; y el forzamiento radiativo en pagodas ventiladas naturalmente (pasivas), por reflexión de la energía solar de onda corta, el intercambio de energía solar de onda larga y el calor sensible desde el aire circundante, en condiciones de inestabilidad. Estas distorsiones de la temperatura del aire requieren mediciones complementarias de viento y radiación solar para ser corregidas ya que el sobrecalentamiento diurno puede alcanzar hasta +1,0 °C mientras que el enfriamiento nocturno puede alcanzar hasta -0,5 °C (Nakamura y Mahrt, 2005).

Para mantener el registro en caso de fallas del sensor de temperatura, la RGM adicionó un segundo sensor pasivo para medir en duplicado e identificar datos fuera de rango; además, en algunos casos, se adicionó un sensor de temperatura aspirada, ya que este tipo de sensor requiere más energía y un tipo particular de data logger. El sensor funciona con un ventilador que enfría la sonda y evita su sobrecalentamiento en días de sol y calma (sin viento).

La precipitación es otra variable meteorológica relevante en estudios glaciológicos y de cambio climático, la que en zonas de montaña puede ser de tipo mixta (líquida y sólida). Los pluviómetros tipo balancín, (*tipping bucket rain gauge*, TBRG) registran 0% de precipitación sólida y están sujetos a errores sistemáticos de humedad, evaporación y de ineficiencia en la captura por viento (*e.g.*, Yang *et al.*, 2005).

Por su parte, los errores de medición en la precipitación sólida suelen ser ignorados en sistemas automáticos, al producirse una subestimación de la captura de nieve del orden de 20 – 50% cuando la velocidad del viento excede los 5 m/s (Rasmussen *et al.*, 2012), además de otras dificultades propias de la nieve como la escarcha (*rime-ice*) y la temperatura, la redistribución por viento (*wind drift*) en días sin precipitación y la densidad de la nieve equivalente en agua (SWE del inglés *Snow Water*

Equivalent), variables todas que dificultan la estimación de la precipitación acumulada (AC, del inglés *Accumulated Precipitation*).

Para reducir la incertidumbre instrumental en la medición de la precipitación acumulada en cuencas de montaña, la RGM consideró pluviómetros totalizadores (precipitación mixta) tipo báscula (*weighing precipitation gauge*, WPG) con pantalla *Alter shield*; un sistema de inter-comparación de nieve (DFIR, del inglés Doble-Fence Intercomparison Reference) de doble pantalla protectora (Goddison *et al.*, 1998); y sensores automáticos por peso y distancia en base a las especificaciones del experimento de intercomparación de precipitación sólida (SPICE, del inglés *Solid Precipitation Intercomparison Experiment*).

El sistema DFIR consta de dos pantallas octogonales concéntricas y con diámetros de 4 y 12 m, en cuyo centro se instala un pluviómetro totalizador de báscula. Un segundo pluviómetro totalizador con una pantalla protectora de viento convencional tipo Alter shield se instala fuera de las pantallas octogonales. La comparación de ambos registros permitirá definir un factor de corrección, en función de la velocidad del viento, que facilite la corrección de los nuevos registros, además de corregir data histórica de manera retroactiva, ya que para la estimación del balance hídrico y la validación de modelos hidrológicos globales y locales, la determinación de un factor de corrección, (CF, del inglés *Correction Factor*) es requerido (e.g., Tian *et al.*, 2007; Pan *et al.*, 2016).

De esta forma, las principales distorsiones (WMO, 2008) que se pretende eludir desde la etapa de diseño de la RGM son las siguientes:

- 1) Condiciones del sitio de monitoreo: deben ser lugares abiertos, de topografía plana y sin influencia de topografía irregular que genere inversión térmica y/o aceleración de viento;
- 2) Instalación de equipos a altura común sobre el terreno para evitar la influencia de la reflexión solar desde el suelo;
- 3) Ventilación de sondas de temperatura en días de alta temperatura, de elevada radiación solar y sin viento;
- 4) Precisión y tipo de instrumento: deben utilizarse sondas de temperatura que no utilicen resistencias eléctricas que provoquen diferencias a nivel de voltaje. Todos los equipos deben ser categoría "research grade", lo que se consigna con la mayor precisión disponible;
- 5) Ineficiencia del pluviómetro por viento, que requiere una pantalla protectora para mejorar la eficiencia de captura del pluviómetro y medición de velocidad del viento para corregirla;
- 6) Corrección de precipitación acumulada (sólida y líquida), ya que pluviómetros normales no son capaces de medir nieve;
- 7) Redistribución por viento, escarcha, precipitación acumulada (AP) y equivalente en agua (SWE) de la nieve.

Para abordar estas distorsiones, el diseño de la red incorpora, por estación, las siguientes características:

- 1) Duplicar sensor de temperatura pasiva de tipo voltaje;
- 2) Sensor de temperatura aspirada;
- 3) Anemómetro;
- 4) Radiómetros de onda corta y onda larga;
- 5) Pantalla protectora de viento tipo Alter shield para el pluviómetro tipping bucket;
- 6) Pluviómetro totalizador de báscula y sistema anticongelante que permite la captura de precipitación líquida y sólida, con pantalla protectora Alter shield;
- 7) Sensor de distancia sónico en mástil principal a 2 m (altura de nieve);
- 8) Sensor de escala de nieve en complemento con sensor sónico; y
- 9) Construcción sistema de inter-comparación de nieve (DFIR).

3.3. Observación y datos

3.3.1. Variables Esenciales del Clima

El diseño e implementación de la red de monitoreo glacio-meteorológica, en el contexto de las recomendaciones del GCOS/GTOS y GTN-G incluye el monitoreo de las variables esenciales del clima (ECVs) en cuencas de montaña. En cada estación fija se miden los siguientes parámetros:

- 1) Temperatura y Humedad relativa del aire con ventilación aspirada ($^{\circ}\text{C}$);
- 2) Temperatura y Humedad relativa del aire con ventilación pasiva ($^{\circ}\text{C}$);
- 3) Velocidad y dirección del viento (ms^{-1} / grados);
- 4) Presión atmosférica (mb);
- 5) Radiación de onda corta incidente (Wm^{-2});
- 6) Radiación de onda larga incidente (Wm^{-2});
- 7) Pluviómetro *tipping bucket* y pantalla protectora de viento (mm);
- 8) Pluviómetro totalizador (agua y nieve) con anticongelante y pantalla protectora de viento (mm);
- 9) Altura de nieve en mástil (cm);
- 10) Acumulación de nieve con *Snow Scale* (mm).

3.3.2. Monitoreo climatológico

La relación entre el balance de masa de glaciares y la información meteorológica se determina mediante los componentes medios estacionales de precipitación y temperatura. El registro de estaciones meteorológicas fijas y móviles instaladas sobre glaciares permite la realización del siguiente análisis:

- 1) Observaciones meteorológicas en altura por sobre los 4000 msnm;
- 2) Monitoreo real de la altitud de la isoterma de 0°C para definir el umbral lluvia y nieve, y ondas de calor estivales;

- 3) Definición de gradientes verticales (*Vertical Lapse Rate, VLR*) entre las estaciones fijas y móviles, a altura común de 2 m sobre el terreno para las EVCs medidas.

3.3.3. Datos para modelación

La aproximación más simple para modelar ablación es el factor grado-día (*Positive Degree-day, PDD*), el cual utiliza una constante empírica (e.g., Fukami y Naruse, 1987) que se obtiene de las balizas (cm/°C/día), y utiliza la temperatura del aire mayor a cero grado Celsius como forzamiento. El PDD puede modelarse desde una estación fija de entorno (fuera del glaciar) o bien mediante estaciones móviles instaladas sobre el glaciar.

Un modelo de derretimiento de nieve y hielo de mayor complejidad es el índice de temperatura-mejorada, del inglés *Enhanced temperature-index model* (ETI), el cual incluye datos de temperatura del aire, albedo (α) y radiación solar (I) incidente de onda corta (e.g., Hock, 1999). Para este tipo de modelos se requiere instrumentar las estaciones con radiómetros de onda corta incidente.

La red también está equipada para estimar todos los componentes que determinan el balance de energía de superficie (*Surface Energy Balance, SEB*) (**Figura 5**), que permite conocer las transferencias de calor entre la baja atmósfera y la superficie del glaciar y determinar factores locales que determinan el balance de energía de superficie en glaciares descubiertos (hielo limpio) y glaciares con cubierta de detritos. Para estimar modelos de SEB es requerido instrumentar con sensores que permitan medir a distintos niveles de altura por sobre la superficie. En el caso de la temperatura, se requiere un mínimo de dos niveles, a una altura instrumental de 2 m (T_{aire}) y sobre la superficie (T_s) para la construcción de perfiles, los que serán llevados a cabo mediante termistores. El modelo de balance de energía debe permitir calcular los diferentes flujos turbulentos, calor latente (Q_L) y calor sensible (Q_H), y estimar la energía disponible para los procesos de derretimiento a una escala diaria.

Para glaciares que terminan en tierra, un modelo simple de balance de masa consiste en usar las sumatorias de datos diarios de temperatura y precipitación para generar balances promedio para el período de derretimiento B_s (verano) y acumulación B_w (invierno) (e.g., Oerlemans y Reichert, 2000; Rasmussen, 2009).

3.3.4. Criterios para selección de cuencas

En base al inventario de glaciares realizado por la Unidad de Glaciología y Nieves de la DGA (Barcaza *et al.*, 2017), se definieron los siguientes criterios para la instalación de estaciones fijas y móviles (**Figura 6**):

- 1) Grandes complejos de hielo y/o grupos montañosos, al sur de la Diagonal Árida de los Andes, desde los Andes Áridos a los Andes Húmedos, para definir un gradiente altitudinal norte-sur;
- 2) Glaciares ubicados en zonas representativas de la diversidad geográfica del territorio nacional, incluyendo al menos una estación por región entre Los Andes Semi-áridos (Atacama) y Centrales (Rapel);
- 3) Micro-cuencas glaciazadas de altura por sobre los 4000 msnm y en condiciones de pristinidad para medir en régimen natural;
- 4) Transectas oeste-este en ambas fachadas y en el interior de los Campos de Hielo de Patagonia para definir un gradiente oeste-este (**Figura 6**);
- 5) Posibilidades logísticas, mantención y seguridad en operación.

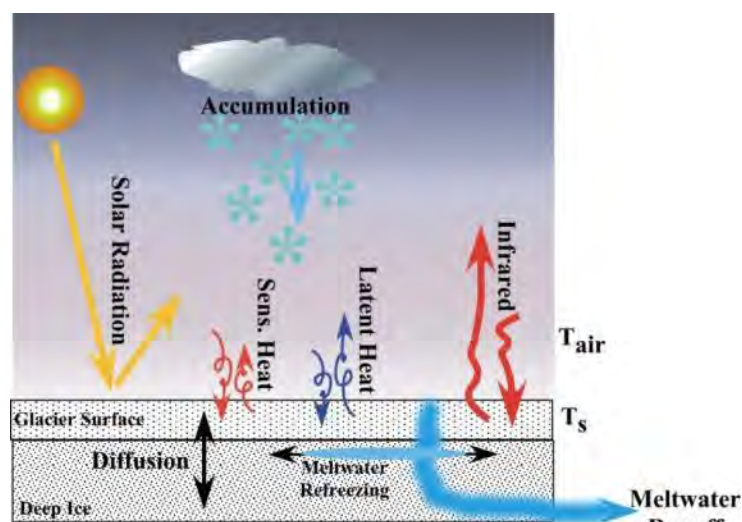


Figura 5. Transferencias de calor entre la atmósfera y la superficie del glaciar.

Fuente: IPCC AR3

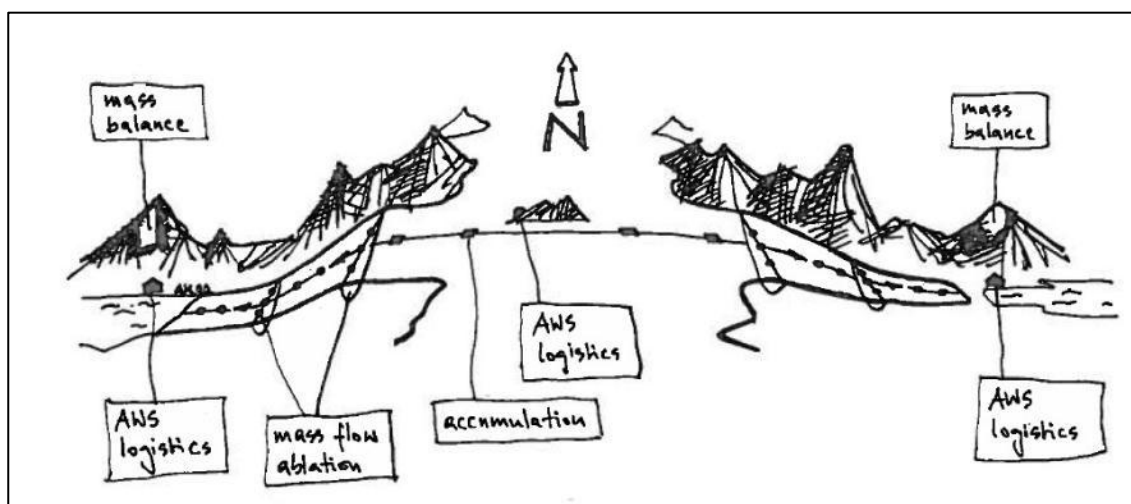


Figura 6. Concepto de transectas oeste (marítima) – este (continental) y en el interior de ambos Campos de Hielo.

Fuente: Kaser, 2003

3.3.5. Localización de estaciones meteorológicas fijas

En la **Tabla 1** se muestra la ubicación de las 30 estaciones glacio-meteorológicas construidas a la fecha por la Unidad de Glaciología y Nieves. Las estaciones construidas están ubicadas en grandes complejos de hielo en cuencas glaciadas entre los Andes Áridos y Patagonia.

Tabla 1. Ubicación de Estaciones Meteorológicas Automáticas Fijas según zonificación propuesta en Figura 7.

Macro-zona	Zona	Estación	Cuenca	Región
Andes Secos	Andes Desérticos	Quebrada Maranceles	Copiapó	Atacama
		Glaciar Tapado en los Corrales	Elqui	Coquimbo
	Andes Centrales	Juncal Norte	Aconcagua	Valparaíso
		Olivares Alfa	Maipo	Metropolitana
		Olivares Gamma		
		Juncal Sur		
		Valle Olivares		
		Yerba Loca en Casa de Piedra		
		Portezuelo Echaurren		
		Valle Echaurren		
		Termas del Plomo		
		San Francisco en Aguas Panimávida		
		Cipreses		
		Cortaderal	Rapel	O´ Higgins
		Universidad		
Andes Húmedos	Zona Lacustre	Complejo Volcánico Mocho-Choshuenco	Valdivia	Los Ríos
		Monte Tronador	Petrohué	Los Lagos
	Andes Patagónicos	Laguna San Rafael	Costa Hielo Norte	Aysén
		Glaciar San Rafael en Hielo Norte	Plateau Hielo Norte	
		Nef	Baker	
		Cachet-2	Baker	
		Colonia	Baker	
		Fiordo Jorge Montt	Costa Hielo Sur	
		Fiordo Témpano	Costa Hielo Sur	
		Nunatak Occidental (Greve)	Plateau Hielo Sur, Costa Hielo Sur	
		Hielo Sur	Plateau Hielo Sur, Costa Hielo Sur	
		Nunatak O´ Higgins	Plateau Hielo Sur, Pascua	
		Punta Nahuelcar en Lago O´ Higgins	Pascua	
		Fiordo Amalia	Costa Hielo Sur	
		Tyndall en Campamento Zapata	Serrano	Magallanes



Figura 7. Ubicación por zonas de las estaciones de la red glacio-meteorológica.

Fuente: Elaboración propia.

4. ESTACIONES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS

4.1. Estaciones Meteorológicas Automáticas Fijas (EMAF)

4.1.1. Diseño y construcción de obras civiles

El sistema se implementa en las cabeceras de cuencas representativas y requiere la construcción de obras civiles menores como soporte para el montaje de los instrumentos de medición permanente, acumulación de datos en loggers y transmisión satelital, los que deben ser mantenidos periódicamente en un programa anual de mantención y solución de fallas.

Los sensores se instalan en un mástil principal tipo "T" (Acero Normas ASTM-A53, Grado A, Schedule 40, ϕ : 4"; ϕ ext: 114 mm; espesor 6 mm). La estructura consiste en un mástil vertical de 2 m de altura con un travesaño de 1,7 m, cuya orientación se ajusta mediante los pernos de fijación que están preinsertos al mástil al momento de instalar la estructura en forma definitiva. En zonas de mayor acumulación nival se dispone una torre de 4 m para asegurar medición invernal, y también se habilita un segundo nivel a 2 m, en adición a los termistores (T_s). El mástil se funda en una base de hormigón de 1000 x 1000 x 1000 mm³ o en roca de buena calidad, en su defecto. La base del mástil consiste en una placa de 300 x 300 mm² y 8 mm de espesor, con cuatro placas triangulares que unen perpendicularmente el mástil con la base. La placa base tiene cuatro perforaciones que permiten el afianzamiento de la estructura a la fundación. Los ejes de las perforaciones deben quedar a 200 mm.

Siempre que sea necesario, se instala un cerco perimetral de protección de 8 x 8 m² en base a 8 pilares metálicos que conforman un área de 64 m², montados sobre machones de hormigón que delimitan el área mediante cordones de acero. La altura del cerco se define para que no intervenga en los registros meteorológicos. Las estructuras metálicas de soporte de los sensores y pilares se instalan sobre un machón de hormigón mediante un sistema de canastillo (hormigón armado), inserto y nivelado previamente en el machón de anclaje.

A un costado del mástil principal se instala la estructura del pluviómetro *tipping bucket*, consistente en un asta de acero galvanizado de 3 pulgadas de diámetro, 3,38 mm de espesor y 1,5 m de alto (a la corona del pluviómetro), instalada con una placa de metal sobre un machón de hormigón de 600 x 600 x 700 mm³. Alrededor del pluviómetro se instala una pantalla protectora de viento tipo *Alter shield*, para atenuar los efectos de la turbulencia en la corona del dispositivo. La altura de la torre debe corregirse según la geometría del pluviómetro, permitiendo la captura de precipitación a una altura estándar de 1,5 m (considerar altura de captura igual a 2,5 m cuando se emplea torre meteorológica principal de 4 m).

Del mismo modo, tanto data loggers como panel solar, transmisores, antena y baterías se instalan en una estructura secundaria anexa al mástil principal y al pluviómetro. La estructura para el panel solar y gabinete consiste en dos astas de acero galvanizado de dos y tres pulgadas de diámetro (ext.=60,3 y 88,9 mm), 3,91 y

5,49 mm de espesor, con 2,0 m y 1,5 m de alto, instalada con una placa de metal sobre un machón de hormigón 1400 x 1000 x 600 mm³. Sin embargo, esta estructura puede suprimirse cuando se instala una torre meteorológica principal de 4 m de alto, ya que la totalidad del equipamiento puede acoplarse en ésta.

A una distancia superior o igual a 3,0 m de cualquier otra estructura dentro de la estación meteorológica, el asta de acero debe estar dotada de una parrilla de sujeción para el gabinete metálico y debe disponer de una cruceta metálica para la sujeción de los paneles solares. Por su parte, el gabinete, donde se instala el transmisor satelital, debe cumplir con las características de protección de la norma IP67, y debe estar conectado entre este mástil y la estructura de sensores (**Figura 8**).

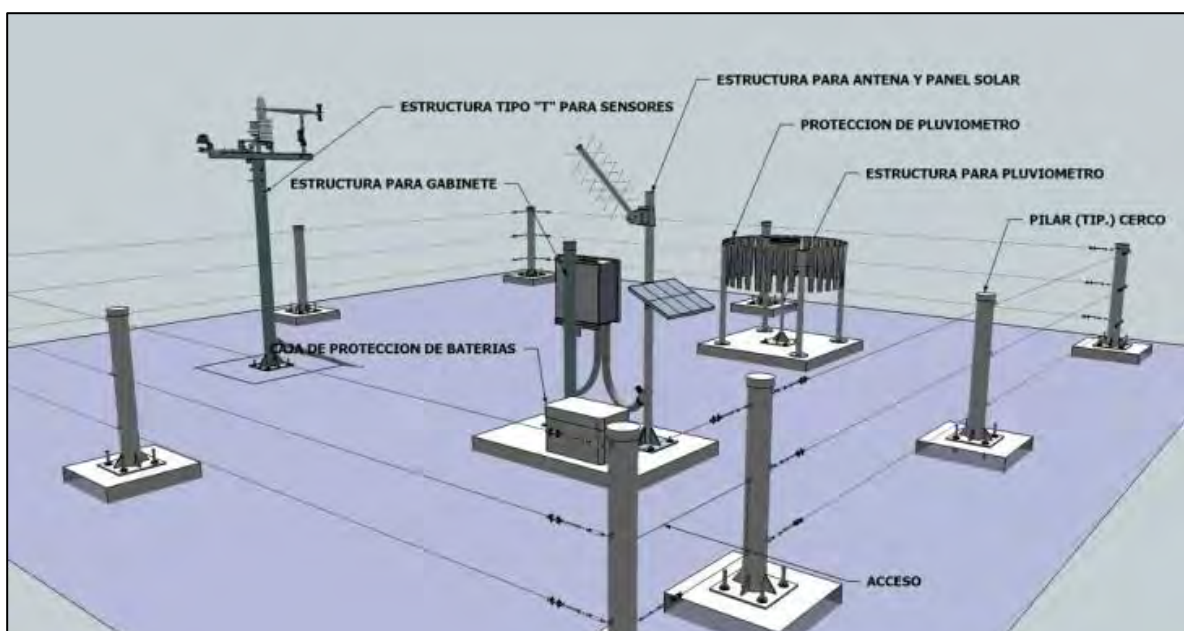


Figura 8. Esquema general de una Estación Meteorológica Automática Fija, EMAF.

Cuando se prevén importantes niveles de acumulación nival, se instala una torre adicional para pluviómetro totalizador de báscula, consistente en un asta de acero galvanizado de 3" de diámetro, 3,38 mm de espesor y 1,5 m de alto, instalada con una placa de metal sobre un machón de hormigón de 600 x 600 x 700 cm³. Alrededor del pluviómetro se instala una pantalla protectora de viento tipo *Alter shield*, para atenuar los efectos de la turbulencia en la corona del dispositivo. La altura de la torre debe corregirse según la geometría del pluviómetro, permitiendo la captura de precipitación a una altura estándar de 1,5 m (considerar altura de captura igual a 2,5 m cuando se emplea torre meteorológica principal de 4 m).

A continuación, se sintetizan los principales componentes de una estación meteorológica fija.

- 1) Torre meteorológica principal de 2 o 4 m de altura, según niveles observados de acumulación nival;
- 2) Torre para transmisión satelital (asociada a torre principal de 2 m);
- 3) Torre para pluviómetro *tipping bucket*;
- 4) Torre para pluviómetro totalizador de báscula;
- 5) Cerco perimetral de 8 x 8 m²;
- 6) Unidad modular de data logger y transmisor satelital;
- 7) Antena de transmisión satelital;
- 8) 2 paneles solares de 20 W (para el sistema);
- 9) 2 reguladores de voltaje de 12V@4.5Ah (1 para el sistema y 1 para el pluviómetro);
- 10) 2 baterías de 12V@200Ah, de gel, sellada, de libre mantención y ciclo profundo (para el sistema);
- 11) Caja hermética para almacenamiento de baterías;
- 12) Sensores meteorológicos.

i) Torre meteorológica principal de 2 m

La estructura de soporte, o asta de instrumentación, consiste en un poste de acero galvanizado de 2 m de alto y 4" de diámetro, debidamente unido a una placa de anclaje (**Figura 9**). En su extremo superior, el poste sostiene un travesaño horizontal (perfil costanera) de 1,7 m de largo, donde se instala parte del instrumental meteorológico. La unión poste-travesaño debe permitir el giro del travesaño para establecer su orientación durante la instalación.

En la **Tabla 2** se sintetizan las principales características de la torre meteorológica principal de 2 m de altura. En la **Tabla 3**, por su parte, se incluye un itemizado de los materiales y accesorios complementarios. Eventualmente, deberán incluirse accesorios y conexiones menores que se evidencien al montar la estructura, aunque no estén incluidos en esta lista.

Tabla 2. Características de la torre meteorológica principal de 2 m de altura.

Base torre	Placa base de acero SAE A-42 de 300x300x8mm. Atiezadores de suspensión triangulares, e=8mm.
Anclaje (placa base/fundación)	Espárragos hilo de acero, SAE 1020, con terminación cincada electrolítica. D=3/4"; L=600mm. Considerar ϕ =19 mm para el canastillo.
Fundación	Dado de fundación de 0,8 x 0,8 x 0,8m. Estribos A63, ϕ =8 mm.
Asta	Acero Normas ASTM-A53, Grado A Schedule 40 o Similar. ϕ =4"; D.ext=114mm; espesor=6mm; largo=2,0m.
Travesaño	Perfil C 125x50x3mm; A42-27 ES; Largo Travesaño=1700mm; Perforaciones a convenir. Porta sensores contruidos en tubería de acero galvanizado; diámetro exterior=34mm y L=150mm. Porta sensores: 4 conectores a 0, 60, 105 y 140 cm de uno de los extremos del travesaño.
Unión travesaño/asta (tubo interior)	Norma ASTM-A500 o Similar. ϕ =4"; D.ext=101,6mm; L=300 mm.
Ventanas de registro (en asta)	150x70x3mm a un altura de 300 y 1500 mm sobre la placa base.
Armado	Cortes mediante el sistema de plasma. Las uniones entre elementos fijos deben soldarse con soldadura MIG de alta resistencia.
	Todas las uniones fijas serán soldadas y deberán galvanizarse después de soldadas (dependiendo del tipo de terminación). La unión giratoria (ajustable para su instalación) debe ser lubricada.
	El galvanizado debe realizarse en caliente por inmersión, según norma de calidad BS-729, ASTM-A123.
	Terminación en pintura electrostática de alta resistencia de color RAL 7032 (por definir color).
Elementos adicionales	Tuercas, contratueras, golillas, pletinas, sujetadores, placas. Todos deberán ser galvanizados, cincados o de acero inoxidable y sumarán un peso máximo de 10,0 kg en total.

Tabla 3. Itemizado de materiales y accesorios complementarios para la torre meteorológica principal.

Descripción (Elementos asociados a cada estructura de sensores)	Un.	Cant.
Asta de acero, ASTM A53, grado A Schedule 40, D.ext=114mm; L=2000mm.	N	1
Travesaño C 125x50x3 mm; A 42-27ES; L=1700mm.	N	1
Tubería acero 1" (33,5mm de diámetro externo); L=1000mm.	N	1
Espárrago hilo de acero; SAE 1020; terminación cincada electrolítica; D=3/4"; L=600mm.	N	4
Tuercas hexagonales grado2, cincadas, 3/4".	N	8
Golillas anchas cincadas; ANSI; 3/4".	N	8
Conduit aspirado; D=2"; L=2,50m; (largo ajustable en terreno)	N	1
Conector recto para Conduit; D=2".	N	4
Manga termo-retráctil para conector recto de 2".	N	2
Hormigón premezclado H20	N	1
Puente de adherencia Colmax 32	N	1
Copla acero galvanizado; D=2".	N	3
Prensa estopa para 1".	N	10
Pernos acero inoxidable AISI 316; 2"x1/2"; con tuerca y golilla plana y de presión.	N	6
Corrugado Conduit aspirado; D=1 1/2"; L=30m.	GL	1
Placas, elementos conectores de acero inoxidable, etc.	GL	1



Figura 9. Torre meteorológica de 2 m para soporte de sensores. Al fondo, estructura empotrada al machón de fundación con los sensores instalados.

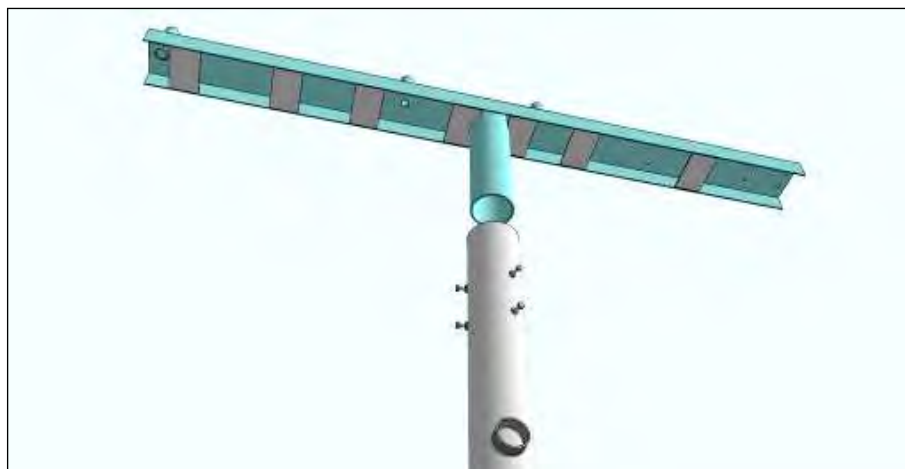


Figura 10. Vista inferior travesaños.

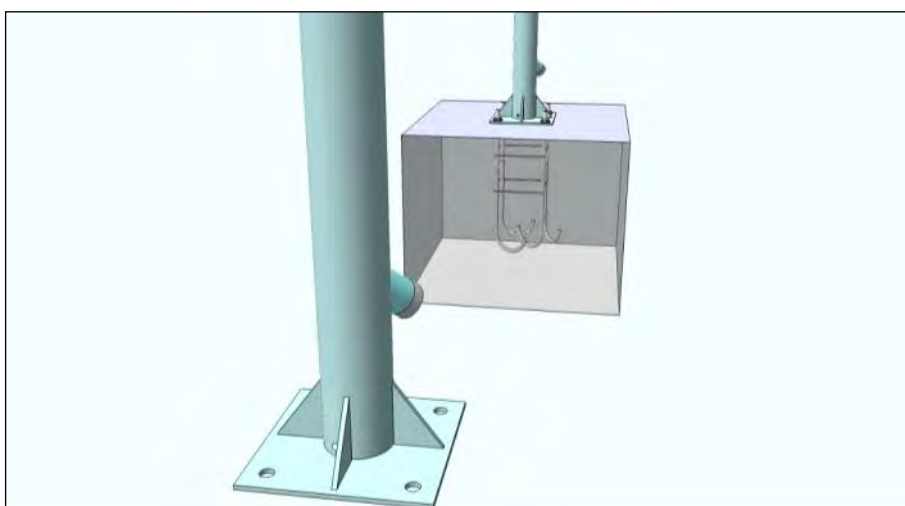


Figura 11. Detalle placa base, atiezadores triangulares y perforación de drenaje junto a la base. En segundo plano se observa el canastillo de anclaje.

ii) Torre antena de transmisión satelital

La estructura de soporte de antena y gabinete consiste en un poste de acero galvanizado de 1,8 m de altura y 3" y 2" de diametro sobre una placa de anclaje, donde se instala la estructura de la antena, los paneles solares y el gabinete. A continuación, se sintetizan las principales características de la torre para la antena de transmisión (**Tabla 4**).

Tabla 4. Características torre antena de transmisión.

Base	Placa Base Acero SAE A-42 de 300x300x8mm. Atiezadores Triangulares, e=8mm.
Anclaje (placa base/fundación)	Pernos de anclaje en acero inoxidable; L=600mm. Canastillo de Anclaje $\phi=20$ mm (3/4 pulgadas).
Fundación	Dado de fundación de 0,8 x 0,8 x 0,8m. Estribos A63, $\phi=8$ mm. Considerar carpeta de mortero adyacente como soporte para batería.
Asta	Acero Normas ASTM-A53 Grado A Schedule 40 o Similar $\phi=3"$; D.ext=88,9mm; espesor 5,49 mm; largo=1,80 m. Unión cónica del mismo material entre cañerías de distintos diámetros. Acero Normas ASTM-A53 Grado A Schedule 40 o Similar $\phi=2"$; D.ext=60,3mm; espesor=3,91mm; largo=0,30m.
Ventanas de Registro	150x70x3mm a una altura de 300mm sobre la placa base.
Conectores	El diámetro exterior de los conectores inclinado en la base es de 60,3mm (tubería de acero galvanizado).
Armado	Cortes mediante el sistema de plasma. Las uniones entre elementos fijos deben soldarse con soldadura MIG de alta resistencia.
	Todas las uniones fijas serán soldadas y deben galvanizarse después de soldadas (dependiendo del tipo de terminación). La unión giratoria (ajustable para su instalación) debe estar lubricada.
	El galvanizado debe realizarse en caliente por inmersión, según norma de calidad BS-729, ASTM-A123.
	Terminación en pintura electrostática de alta resistencia de color RAL 7032 (por definir color). En caso de ser la pintura electrostática incompatible con el tipo de galvanizado, la Inspección Fiscal elegirá el recubrimiento definitivo.
Elementos adicionales	Tuercas, contratueras, golillas, pletinas, sujetadores, placas, todos deben ser galvanizados, cincados o de acero inoxidable y suman un peso máximo de 10 kg en total.

La **Figura 12** muestra la torre o asta de soporte para la antena de transmisión, gabinete y panel solar. En segundo plano se observa la estructura completa con anclaje de fundación.



Figura 12. Torre o asta de soporte para la antena de transmisión, gabinete y panel solar.

La **Figura 13** muestra un acercamiento al tramo inferior del asta (3"). En primer plano se observa el orificio de drenaje, la placa base y la conexión de salida de 2" de diámetro; al fondo, el canastillo de anclaje, considerando fundación sobre machón o poyo.

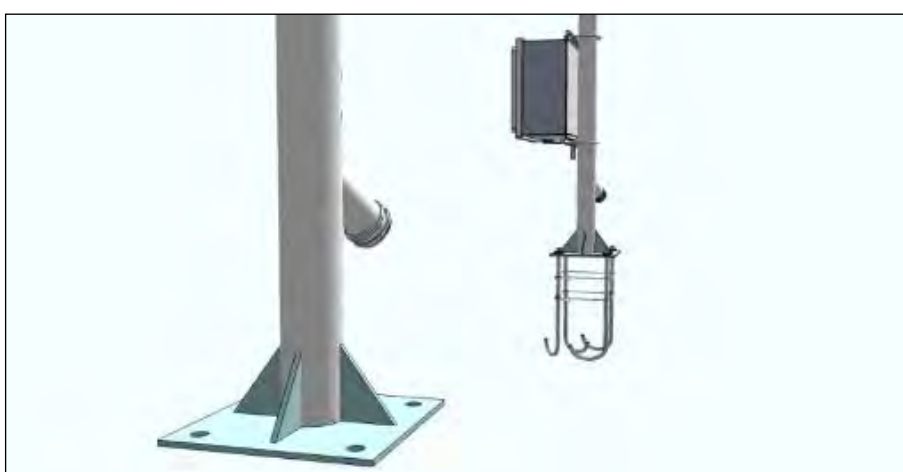


Figura 13. Detalle inferior del Asta de soporte para la antena.

A continuación, se incluye un itemizado de los materiales y accesorios asociados a la estructura o asta de soporte para la antena (**Tabla 5**).

Tabla 5. Itemizado de materiales y accesorios complementarios para la torre de transmisión.

Descripción (Elementos asociados a cada estructura de antena)	Un.	Cant.
Cabeza de servicio DN=2"	N	1
Placa de anclaje de antena con conexión 2" y 4 " (según esquemas)	N	1
Anclaje para Paneles Solares (según esquemas)	GL	1
Placa de Anclaje de Paneles solares (según esquemas)	N	1
Espárrago hilo de acero, SAE 1020, terminación cincada electrolítica D=3/4", L=600mm	N	4
Tuercas hexagonales grado5, cincadas, 3/4"	N	8
Golillas cincada ancha, ANSI, 3/4"	N	8
Abrazadera U, d=1 1/4", acero inoxidable, AISI 316 (incluye tuerca, golilla y golilla de presión)	N	4
Abrazadera U, d=2", acero inoxidable, AISI 316 (incluye tuerca, golilla y golilla de presión)	N	4
Abrazadera U, d=3", acero inoxidable, AISI 316 (incluye tuerca, golilla y golilla de presión)	N	4
Manga termo contraíble	N	1
Prensa estopa para 2"	N	2
Placas , elementos conectores de acero inoxidable etc.	GL	1

iii) Torre meteorológica principal de 4 m

La estructura de soporte, o asta de instrumentación, consiste en un poste de acero galvanizado de 4 m de alto y 4" de diámetro, debidamente unido a una placa de anclaje. En su extremo superior, el poste deberá sostener un travesaño horizontal (perfil C) de 1,7 m de largo, donde se instala parte del instrumental meteorológico. La unión poste-travesaño debe permitir el giro del travesaño para establecer su orientación durante la instalación. A los dos metros del poste se instala un brazo removible para la implementación de instrumentos.

A continuación, se sintetizan las principales características de la torre meteorológica (**Tabla 6**).

Tabla 6. Características torre meteorológica principal de 4m.

Base torre	Placa base de acero SAE A-42 de 300x300x8mm. Atiesadores de suspensión triangulares, e=8mm.
Anclaje (placa base/fundación)	Espárragos hilo de acero, SAE 1020, con terminación cincada electrolítica. D=3/4"; L=600mm. Considerar $\phi=19$ mm para el canastillo.
Fundación	Dado de fundación de 1x1x1m. Estribos A63, $\phi=8$ mm.
Asta	Acero Normas ASTM-A53, Grado A Schedule 40 o Similar. $\phi=4"$; D.ext=114mm; espesor=6mm; largo=4,0m.
Travesaño y brazo removible	Perfil C 125x50x3mm; A42-27 ES; Largo Travesaño=1700mm; Largo Brazo=1200mm. Perforaciones a convenir con Inspección Fiscal. Porta sensores contruidos en tubería de acero galvanizado; diámetro exterior=34mm y L=150mm. <u>Porta sensores travesaño:</u> 4 conectores a 0, 60, 105 y 140 cm de uno de los extremos del travesaño. <u>Porta sensores brazo:</u> 2 conectores a 0 y 60 cm del extremo del brazo.

Tabla 7. Características torre meteorológica principal de 4m (continuación).

Unión travesaño/asta (tubo interior)	Norma ASTM-A500 o Similar. $\phi=4''$; D.ext=101,6mm; L=300 mm.
Ventanas de registro y salida de cables (en asta)	Tres (3) ventanas de registro de 150x70x3mm a un altura de 300, 1900 y 3000mm sobre la placa base (permiten facilitar el ingreso de cables). Tres (3) salidas de cables con tubo de acero galvanizado de 2'' (salida inferior, y 1'' (salida superior y media), que permitan colocación de conector recto para Conduit. Considerar ángulo de 60° en salida inferior.
Armado	Cortes mediante el sistema de plasma. Las uniones entre elementos fijos deben soldarse con soldadura MIG de alta resistencia.
	Todas las uniones fijas serán soldadas y deberán galvanizarse después de soldadas (dependiendo del tipo de terminación). La unión giratoria (ajustable para su instalación) debe entregarse lubricada.
	El galvanizado debe realizarse en caliente por inmersión, según norma de calidad BS-729, ASTM-A123.
	Terminación en pintura electrostática de alta resistencia de color RAL 7032 (por definir color). En caso de ser la pintura electrostática incompatible con el tipo de galvanizado, la Inspección Fiscal elegirá el recubrimiento definitivo.
Elementos adicionales	Tuercas, contratueras, golillas, pletinas, sujetadores, placas. Todos deberán ser galvanizados, cincados o de acero inoxidable y sumarán un peso máximo de 10,0 kg en total.

A continuación, se incluye un itemizado de los materiales y accesorios complementarios. Eventualmente, deberán incluirse accesorios y conexiones menores que se evidencien al montar la estructura, aunque no estén incluidos en esta lista.

Tabla 8. Itemizado de materiales y accesorios complementarios para la torre meteorológica de 4m.

Descripción (Elementos asociados a cada estructura de sensores)	Un.	Cant.
Asta de acero, ASTM A53, grado A Schedule 40, D.ext=114mm; L=4000mm.	N	1
Travesaño C 125x50x3 mm; A 42-27ES; L=1700mm.	N	1
Travesaño intermedio (brazo removible) C125x50x3mm; A 42-27ES; L=1200mm.	N	1
Tubería acero 1'' (33,5mm de diámetro externo); L=1000mm.	N	1
Espárrago hilo de acero; SAE 1020; terminación cincada electrolítica; D=3/4''; L=600mm.	N	4
Tuercas hexagonales grado2, cincadas, 3/4''.	N	8
Golillas anchas cincadas; ANSI; 3/4''.	N	8
Porta panel solar de acero inoxidable AISI 316; incluye placa adaptador (según descripción y esquema); D=1''.	N	1
Conduit aspirado; D=2''; L=2,50m; (largo ajustable en terreno)	N	1
Conector recto para Conduit; D=2''.	N	4
Manga termo-retráctil para conector recto de 2''.	N	2
Hormigón premezclado H20	m3	1
Puente de adherencia Colmax 32	N	1
Wit PE500	N	1
Copla acero galvanizado; D=2''.	N	3
Prensa estopa para 1''.	N	10
Pernos acero inoxidable AISI 316; 2''x1/2''; con tuerca y golilla plana y de presión.	N	6
Corrugado Conduit aspirado; D=1 1/2''; L=30m.	GL	1
Placas, elementos conectores de acero inoxidable, etc.	GL	1

A continuación, se muestra una serie de figuras esquemáticas de la torre meteorológica y sus componentes principales.



Figura 14. Vista general de la estructura y accesorios de soporte estructural con sus conexiones estructurales para el soporte de los instrumentos.

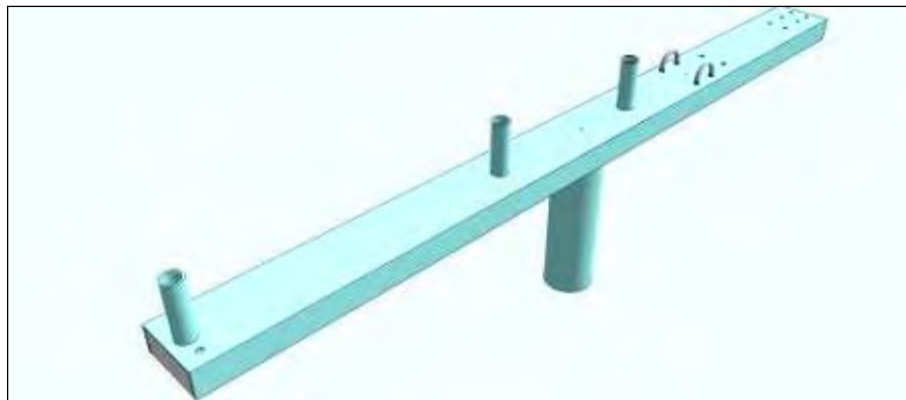


Figura 15. Detalle travechaño de instrumentación.



Figura 16. Asta de soporte.

En la parte superior están los pernos de “apriete”. Luego, se aprecia un conector de salida con hilo exterior de dos pulgadas (en total son tres a distintas alturas). En la parte media del asta se observan los conectores del brazo central.

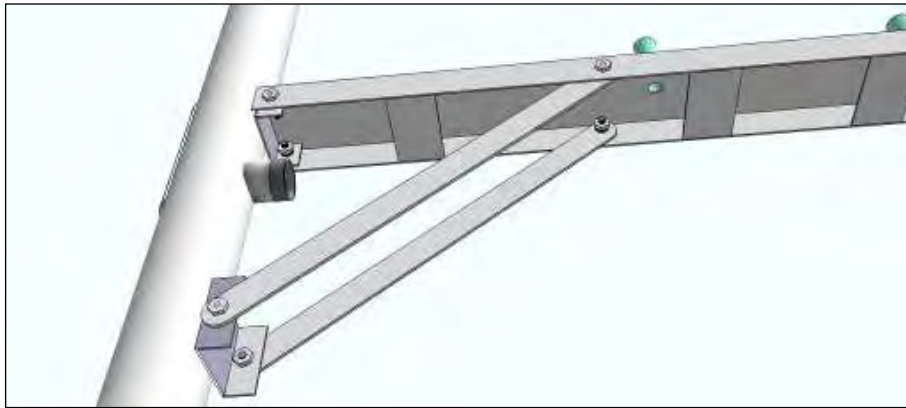


Figura 17. Fijación de brazo.



Figura 18. Soporte de paneles solares.

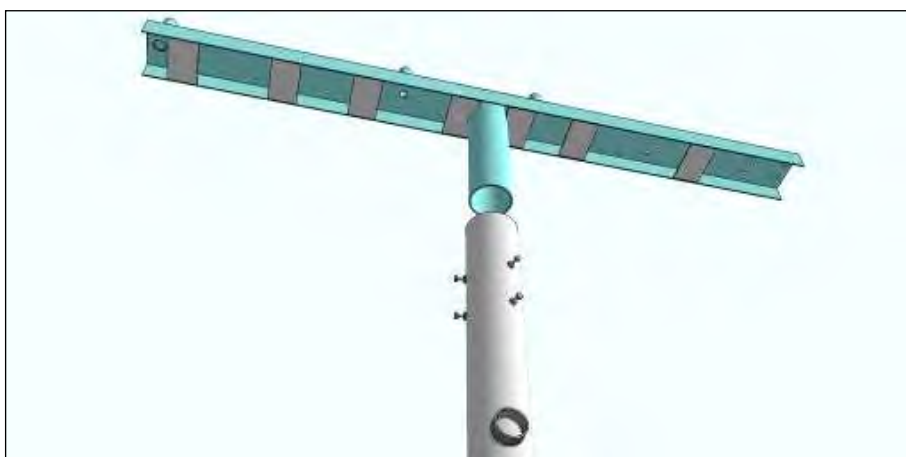


Figura 19. Vista inferior del travesaño antes de instalar. Se observa el espacio interior donde se instala el “cablerío”. El travesaño incluye “tapas” en los extremos.



Figura 20. Soporte de antena.

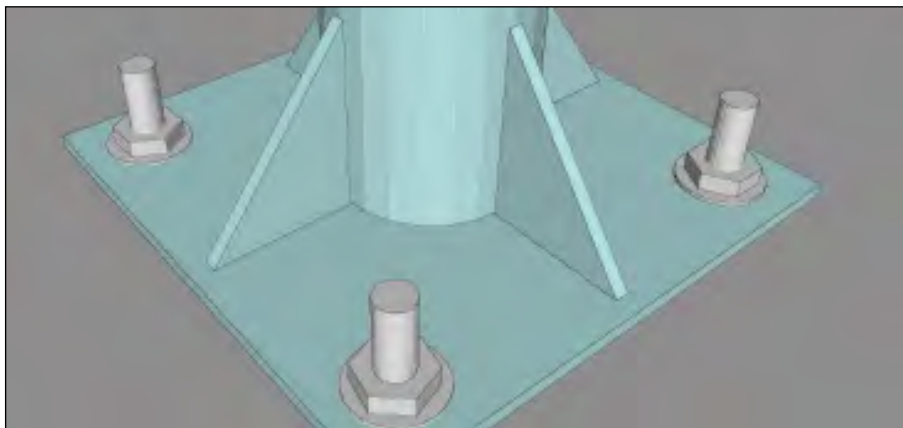


Figura 21. Vista de la placa base, pernos y atiesadores.

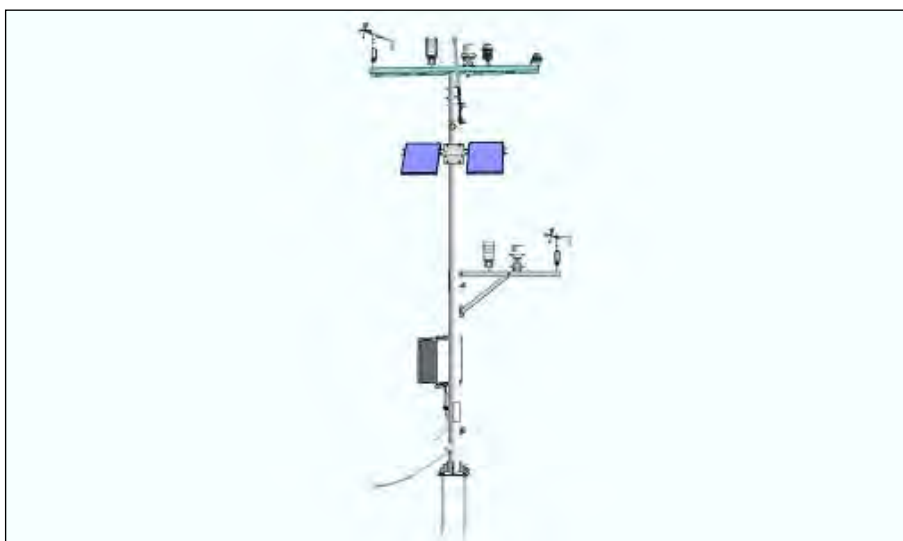


Figura 22. Vista general de Torre de 4 m con instrumentación.

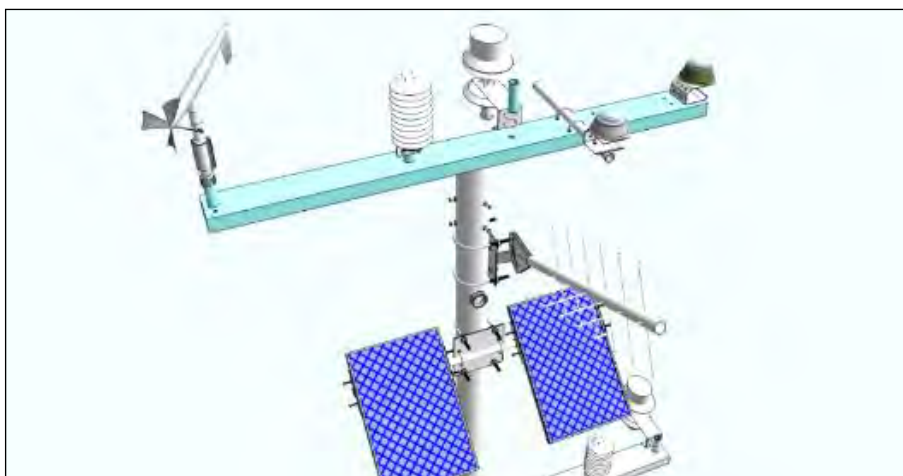


Figura 23. Vista superior.

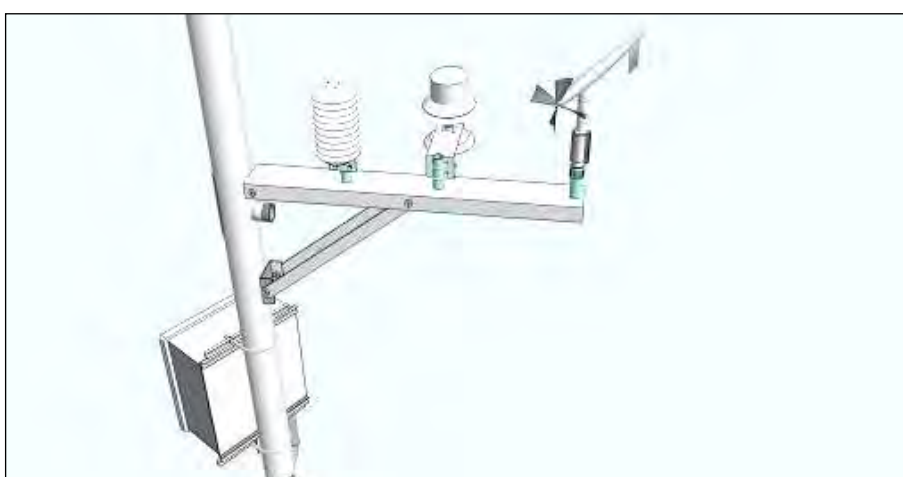


Figura 24. Vista superior del brazo de instrumentación a 2m.



Figura 25. Detalle parte baja de torre.

iv) Estructura para pluviómetro *tipping bucket*

La estructura de soporte para pluviómetro *tipping bucket* consiste en un poste de acero galvanizado de 3" con canalización interna para el paso de cables. La estructura debe permitir la captura de nieve a una altura estándar de 1,5 m, por lo que su altura se debe ajustar según las dimensiones del pluviómetro empleado. Además, la estructura debe sostener una pantalla aquietadora tipo *Alter shield* (**Figura 26**) a una altura de 1" por sobre la corona del pluviómetro. Sin perjuicio de lo anterior, el sistema de anclaje deberá permitir ajustar la altura de la pantalla. El diámetro de anclaje de la pantalla es de 48" entre ejes.

Cuando se emplee una torre meteorológica principal de 4 m de altura, se debe ajustar la altura de captura del pluviómetro a 2,5 m, permitiendo un registro adecuado cuando los niveles de acumulación nival sean importantes.

Tabla 9. Características torre para pluviómetro *tipping bucket*.

Base	Placa Base Acero SAE A-42 de 300x300x8mm. Atiezadores de suspensión Triangulares, espesor=8mm.
Asta	Acero Normas ASTM-A53 Grado A Schedule 40 o Similar $\phi=3"$; D.ext=88,9mm; espesor 5,49 mm; largo=1,2 m (ajustar según dimensiones del pluviómetro).
Anclaje (placa base/fundación)	Pernos de anclaje e acero inoxidable; L=400mm. Para canastillo de Anclaje $\phi=20$ mm (3/4 pulgadas).
Fundación	Dado de fundación de 0,6 x 0,6 x 0,6m. Estribos A63, $\phi=8$ mm.
Eje	Acero Normas ASTM-A53 Grado A Schedule 40 o Similar $\phi=3"$; D.ext= 88,9mm; Espesor=5,49mm; Largo=1,0m.
Terminación superior y Conectores	Acero Normas ASTM-A53 Grado A Schedule 40 o Similar $\phi=1"$; D.ext= 88,9mm. ; Espesor=5,49mm; Largo=0,5m.
Perfiles tipo Angulo(s) (para una estructura)	Perfil Angulo 50x4 mm; A42-27 ES. Travesaño superior LT=3300mm. Perfil Angulo 30x4 mm; A42-27 ES. Travesaño superior LT=4400mm.
Tubos para base (protector)	Norma ASTM-A500 o Similar, $\phi=11/2"$; $\phi=1"$ (2 kg)
Armado	Cortes mediante el sistema de plasma. Las uniones entre elementos fijos deben soldarse con soldadura MIG de alta resistencia.
	Todas las uniones fijas serán soldadas y deben galvanizarse después de soldadas (dependiendo del tipo de terminación). La unión giratoria (ajustable para su instalación) debe entregarse lubricada.
	El galvanizado debe realizarse en caliente por inmersión, según norma de calidad BS-729, ASTM-A123.
	Terminación en pintura electrostática de alta resistencia de color gris (por definir color). En caso de ser la pintura electrostática incompatible con el tipo de galvanizado. La Inspección elegirá el recubrimiento definitivo.
Elementos adicionales	2 prensas estopas de 1", tuercas, contratueras, golillas, pletinas, sujetadores, placas; todos deben ser galvanizados, cincados o de acero inoxidable y suman un peso máximo de 2,0 kg en total.

En la tabla siguiente se sintetizan las principales características de la pantalla aquietadora.

Tabla 10. Itemizado de materiales y accesorios complementarios para torre pluviómetro *tipping bucket*.

CARACTERISTICAS	EXIGENCIAS
Piernas de apoyo	4 de 1 m de largo con extensiones de 0.5 m.
Hojas metálicas	≥32 hojas que cuelguen libremente separadas una de otra por un espaciador y se muevan libremente mientras el viento pase entre ellas, todas dispuestas en forma de círculo alrededor del instrumento (pluviómetro). Ancho 3 pulgadas, largo 16 pulgadas.
Diámetro	≥1.2 metros
Material	Acero inoxidable o Galvanizado

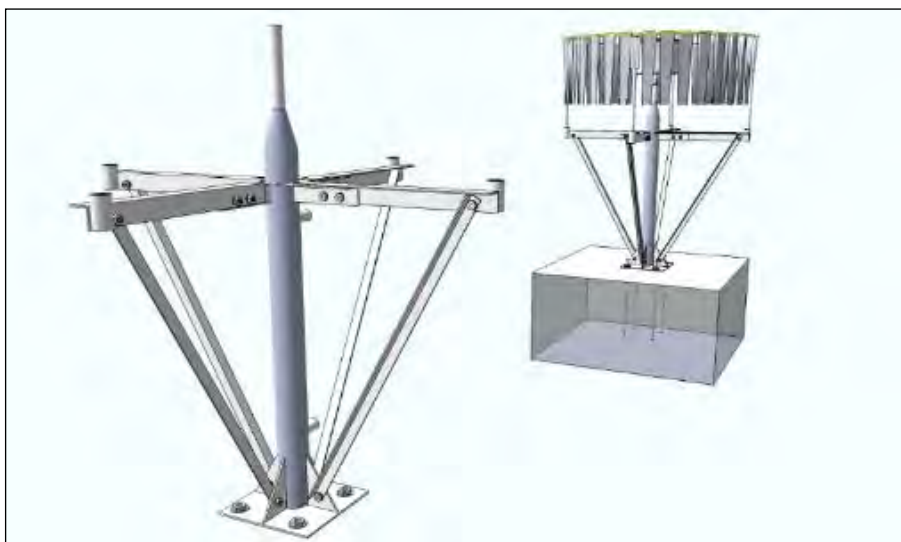


Figura 26. Vista general de soporte para pluviómetro *tipping bucket* y soporte pantalla *Alter shield* a una altura instrumental de 1.5 m.

v) Estructura para el pluviómetro de báscula

La estructura de soporte para pluviómetro totalizador de báscula consiste en un poste de acero galvanizado de 3" con canalización interna para el paso de cables. La estructura debe permitir la captura de nieve a una altura estándar de 1,5 m, por lo que su altura se debe ajustar según las dimensiones del pluviómetro empleado. Además, la estructura debe sostener una pantalla aquietadora tipo *Alter shield* (**Figura 27**) a una altura de 1" por sobre la corona del pluviómetro. Sin perjuicio de lo anterior, el sistema de anclaje deberá permitir ajustar la altura de la pantalla. El diámetro de anclaje de la pantalla es de 48" entre ejes.

Cuando se emplee una torre meteorológica principal de 4 m de altura, se debe ajustar la altura de captura del pluviómetro a 2,5 m, permitiendo un registro adecuado cuando los niveles de acumulación nival sean importantes.

Tabla 11. Características torre para pluviómetro *tipping bucket*.

Base	Placa Base Acero SAE A-42 de 300x300x8mm. Atiezos de suspensión triangulares, espesor 8mm.
Anclaje Placa base/fundación	Pernos de anclaje de acero inoxidable; L=400mm. Para canastillo de Anclaje $\phi=20$ mm (3/4 pulgadas).
Asta	Acero Normas ASTM-A53 Grado A Schedule 40 o Similar $\phi=3"$; D.ext=88,9mm; espesor 5,49 mm; largo=1,2 m (ajustar según dimensiones del pluviómetro).
Fundación	Dado de fundación de 0.8x0.8x0.8m. Estribos A63, $\phi=8$ mm.
Eje	Acero Normas ASTM-A53 Grado A Schedule 40 o Similar $\phi=4"$; Largo=1,8m.
Conectores	Acero Normas ASTM-A53 Grado A Schedule 40 o Similar $\phi=1"$; D.ext=33,4mm; Espesor=3,38mm; Largo=0,2m.
Perfiles Tipo Angulo(s) (estructura con pantalla)	Perfil Angulo 50x4 mm; A42-27 ES. Travesaño superior LT=3300mm. Perfil Angulo 30x4mm; A42-27 ES. Travesaño superior LT=3300mm.
Tubos para base (protector)	Norma ASTM-A500 o Similar, $\phi=11/2"$; $\phi=1"$ (3 kg)
Armado	Cortes mediante el sistema de plasma. Las uniones entre elementos fijos deben soldarse con soldadura MIG de alta resistencia.
	Todas las uniones fijas serán soldadas y deben galvanizarse después de soldadas (dependiendo del tipo de terminación). La unión giratoria (ajustable para su instalación) debe entregarse lubricada.
	El galvanizado debe realizarse en caliente por inmersión, según norma de calidad BS-729, ASTM-A123.
	Terminación en pintura electrostática de alta resistencia de color RAL 7032 (por definir color). En caso de ser la pintura electrostática incompatible con el tipo de galvanizado, la Inspección Fiscal elegirá el recubrimiento definitivo.
Elementos adicionales	Tuercas, contratuercas, Golillas, Pletinas; sujetadores, placas, todos deben ser galvanizados, cincados o de acero inoxidable y suman un peso máximo de 2,0 kg en total.

La **Figura 27** muestra la estructura de soporte para el pluviómetro y pantalla tipo "Alter shield" (primer plano). Al fondo se observa la estructura completa, con pantalla, pluviómetro y anclajes de fundación.

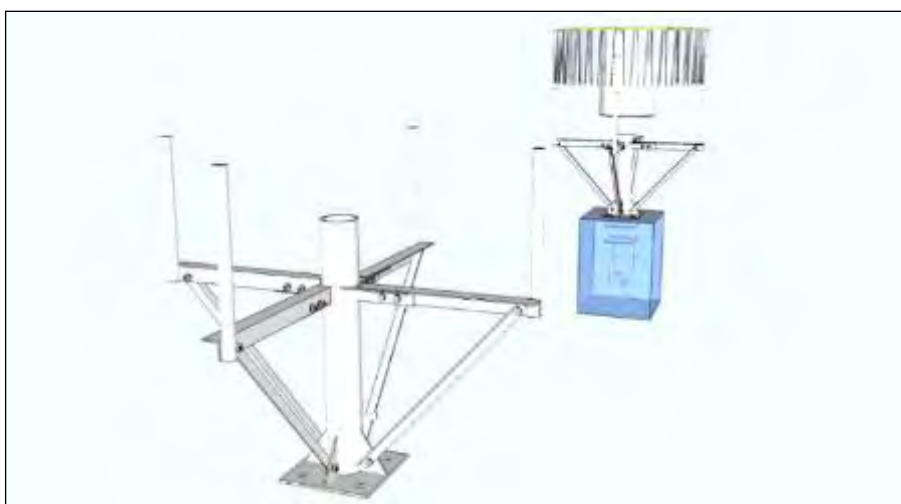


Figura 27. Vista general estructura de soporte pluviómetro totalizador de báscula.

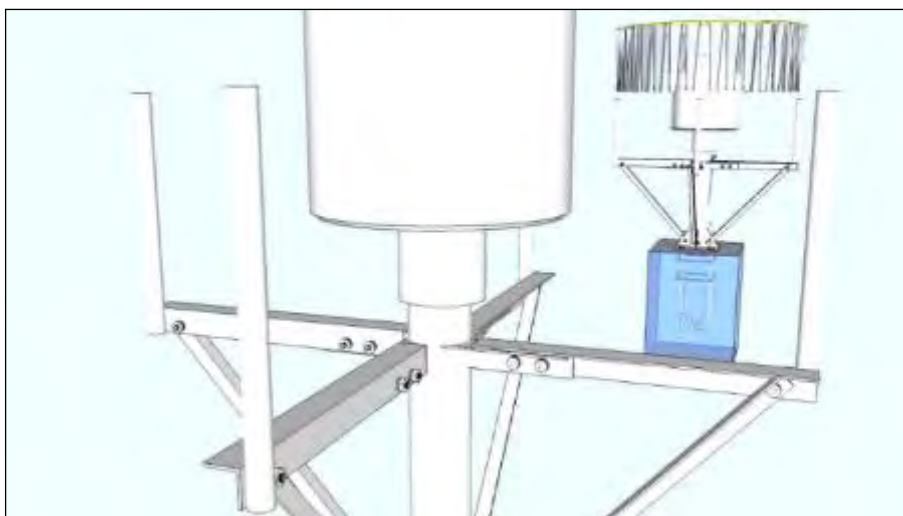


Figura 28. Vista detalles soporte pluviómetro de báscula.

vi) Cierre perimetral

Se debe construir un cerco perimetral que proteja las estructuras meteorológicas, principalmente debido a la presencia de animales en el sector. El cerco consta de columnas y cordones de acero, según se indica a continuación.

Tabla 12. Características del cerco perimetral.

Base	Placa Base Acero SAE A-42 de 300x300x8 mm. Atiezadores de suspensión Triangulares, espesor=8mm.
Anclaje (placa base/fundación)	Pernos de anclaje tipo J o similar; L=400mm. Para canastillo de Anclaje $\Phi=18\text{mm}$ (3/4 pulgadas).
Fundación	Dado de fundación de 0,6x0,6x0,6m. Estribos A63, $\phi=8$ mm.
Pilar	Acero ASTM-A53 Grado A Schedule 40 o Similar $\Phi=3''$; D.ext= 88,9mm; Espesor=5,49mm; Largo=1,0m. Se consideran 9 columnas por estación. Aunque las columnas son similares, debe verificarse la posición de las argollas (pasadores) ya que en las esquinas y en la puerta su ubicación relativa es distinta.
Armando	Cortes mediante el sistema de plasma. Las uniones entre elementos fijos deben soldarse con soldadura MIG de alta resistencia.
	Todas las uniones fijas serán soldadas y deben galvanizarse después de soldadas.
	El galvanizado debe realizarse en caliente por inmersión, según norma de calidad BS-729, ASTM-A123.
	Terminación en pintura electrostática de alta resistencia de color gris (por definir color). En caso de ser la pintura electrostática incompatible con el tipo de galvanizado. La Inspección elegirá el recubrimiento definitivo.
Elementos adicionales	Argollas de sujeción Φ máx.=1" con espesor 3/8 pulgada, tuercas, contratueras, tensores, golillas, pletinas, sujetadores, placas y tapas, todos deben ser de acero galvanizado y suman un peso máximo de 1,5kg por pilar.
Cordón de Acero	Dimensiones mínimas cable de acero: Diámetro del Cable=6mm. Sección del Cable=21mm ² . Diámetro de Alambre=1,19mm. Se consideran tres corridas perimetrales de Cordones de acero. Se incluye cordón de la puerta de acceso (longitud aproximada 100 m.).

A continuación, se muestra el detalle de los poyos de fundación (machones), requeridos para todas las estructuras descritas en estas Bases Técnicas.

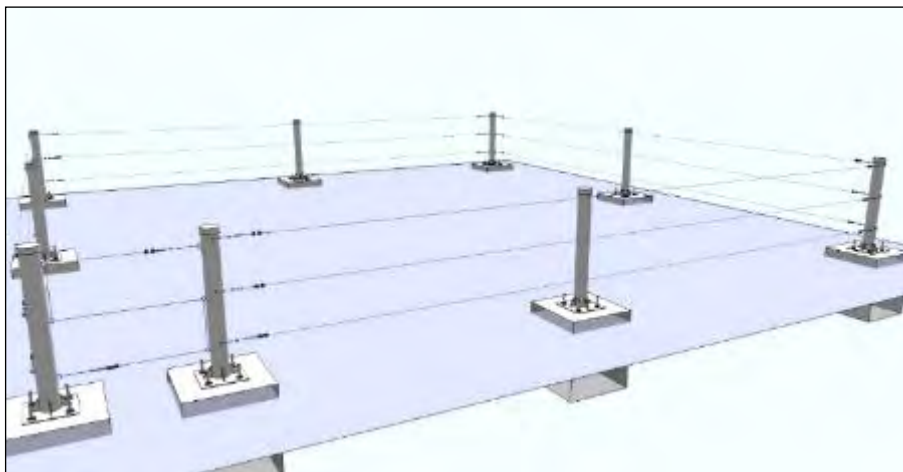


Figura 29. Vista general del cierre (cerco perimetral).

vii) Double Fence Inter-comparison Reference (DFIR)

El sistema DFIR consta de dos pantallas octogonales de madera, concéntricas y con diámetro de 4 y 12 m, respectivamente, y se construye con madera de ciprés o madera de pino impregnado, en su defecto. La pantalla interna y pantalla externa deben contar con 8 y 16 columnas de soporte, respectivamente, debidamente ancladas al suelo con machones de hormigón armado.

La pantalla interna debe tener la misma altura que el pluviómetro (1,5 o 2,5 m, según los niveles de acumulación observados previamente) y se construye con listones de 3" de ancho, 1/4" de espesor y 1,5 m de largo. Se debe considerar un espaciamiento entre listones igual al ancho de los mismos, permitiendo un área libre del 50%.

La pantalla externa debe tener 3,0 m de alto y se construye con listones de 3" de ancho, 1/4" de espesor y 1,5 m de largo. Se debe considerar un espaciamiento entre listones igual al ancho de los mismos, permitiendo un área libre del 50%. Se debe considerar refuerzo con diagonales, en caso de ser necesario.

En el centro del sistema DFIR se instala un pluviómetro totalizador (de báscula) que permite la captura de precipitación líquida y sólida. Como contraparte, en la vecindades del sistema, se instala un pluviómetro totalizador de las mismas características, rodeado por una pantalla protectora de viento tipo *Alter shield* (pantalla ocupada en las estaciones meteorológicas convencionales). La comparación de ambos registros permitirá definir una ecuación, en función de la velocidad del viento, que facilite la corrección de los nuevos registros, además de corregir data histórica de manera retroactiva.



Figura 30. Sistema DFIR Glaciar Cortaderal para reducir error en la captura de nieve y agua/nieve por turbulencia en la boca del pluviómetro.

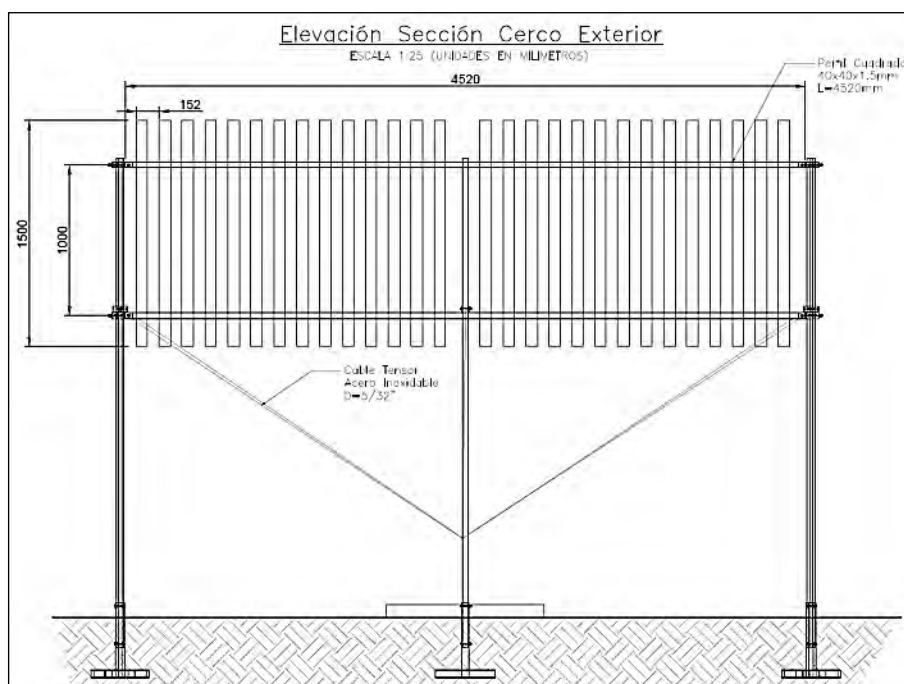


Figura 31. Detalle (elevación) del cerco octogonal exterior.

Finalmente, en la **Tabla 13** se indican las características del hormigón que se debe emplear en las fundaciones de todas las estructuras de una estación meteorológica tipo.

En el **Anexo 3** se han incorporado los planos de las estaciones meteorológicas y sus componentes, según la descripción de este apartado. Además, en el **Anexo 4** se adjuntan los planos del sistema *Double Fence Intercomparison Reference*.

Tabla 13. Características de las fundaciones (todas las estructuras).

Bases de Hormigón y Armadura	Los hormigones a utilizar deben ser (H-20 o superior) y la estructuras deben disponer de armadura o similar. Se considera la estructura que debe sostener el pluviómetro y el asta de la antena y el las bases del cerco y pluviómetro. El contratista deberá proveer 14 sacos de cemento fresco y sellado, y el fierro de construcción D=8mm, con resaltos, 68 kg. El tiempo de fabricación transcurrido entre la entrega de los sacos en terreno debe ser igual o inferior a 10 días; el saco debe tener la fecha de fabricación impresa. Cada saco debe ser protegido en dos sacos de polietileno de 0,5mm fabricado en base a mangas y sellado por termofusión. La entrega de fierros dimensionados y alambre de amarra, y en general todos los materiales, deben ser correctamente embalados y etiquetados.
------------------------------	--

4.1.2. Estaciones construidas

A continuación, y a modo de ejemplo, se presenta una serie de fotografías de estaciones meteorológicas fijas en operación. Para mayor información, en el **Anexo 2** se incluye un archivo fotográfico de todas las estaciones instaladas por la Unidad de Glaciología y Nieves, junto a una ficha técnica con sus características e historial de mantenciones.

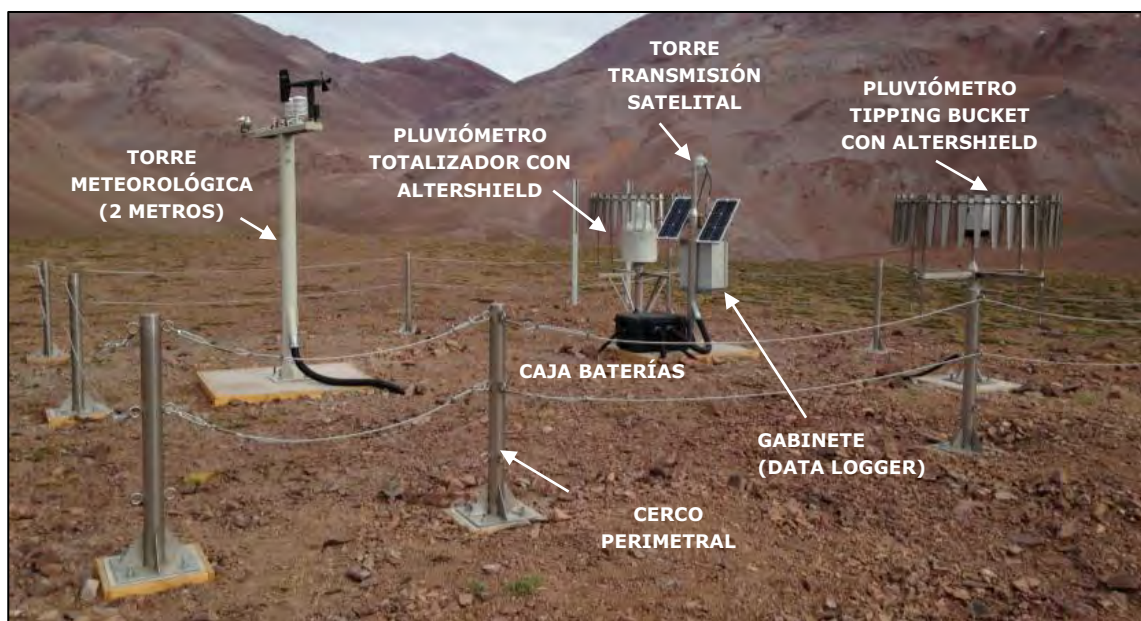


Figura 32. EMAF Glaciar Tapado en Los Corrales. Región de Coquimbo.



Figura 33. EMAF Juncal Norte. Región de Valparaíso.



Figura 34. EMAF Echaurren Alto (izquierda) y Glaciar Olivares Gamma (derecha). Región Metropolitana.



Figura 35. EMAF San Francisco en Aguas Panimávida. Región Metropolitana.



Figura 36. EMAF Yerba Loca en Piedra Carvajal. Región Metropolitana.

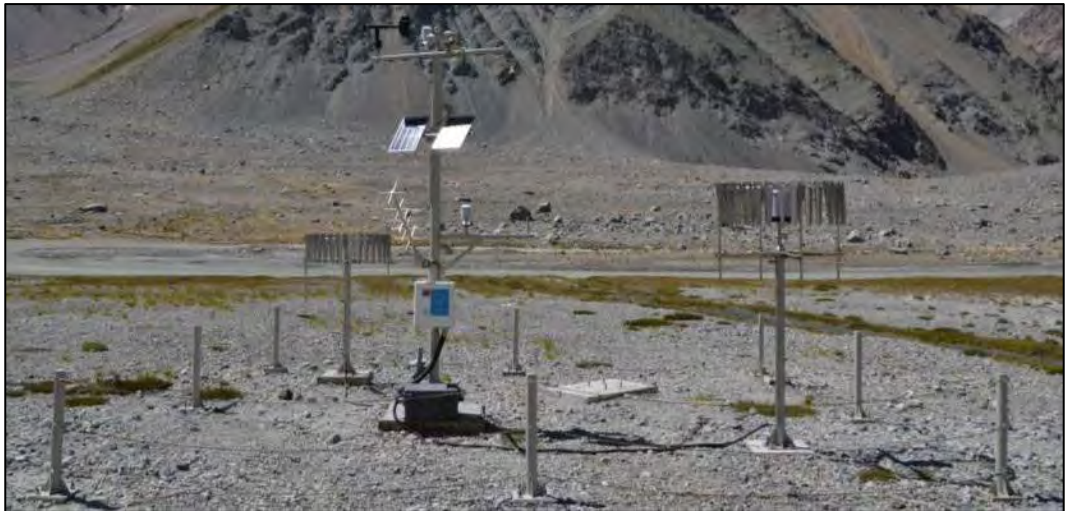


Figura 37. EMAFA Glaciar Universidad. Región de O´ Higgins.



Figura 38. EMAFA Monte Tronador en Casa Pangué. Región de Los Lagos.



Figura 39. EMAFA Fiordo Amalia. Región de Magallanes.

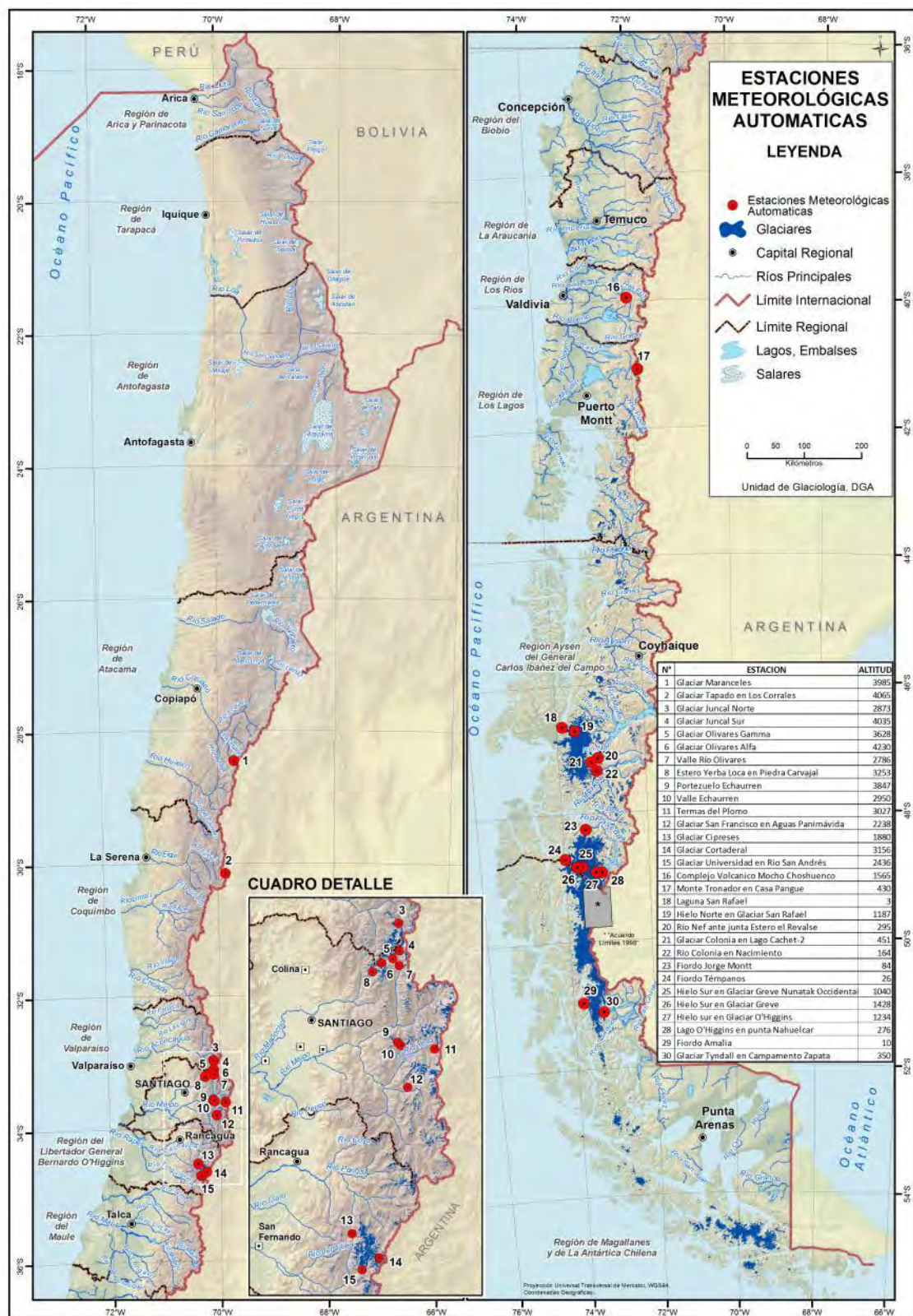


Figura 40. Ubicación Estaciones Meteorológicas Automáticas Fijas.

4.2. Estaciones Meteorológicas Automáticas Móviles (EMAM)

4.2.1. Introducción

Las mediciones en superficie se llevan a cabo en cuencas equipadas con estaciones fijas. La instalación temporal de 8 estaciones móviles en temporada estival sobre glaciares incluye también la estimación del balance de masa geodésico con perfiles anuales con Sistema de Posicionamiento Global (GPS, por su sigla en inglés) y Escáner Láser Terrestre (TLS, por su sigla en inglés).

Esta red de estaciones tiene por objeto cuantificar el balance de energía superficial y el calor disponible para derretimiento en el sitio de la estación. Las mediciones de balance de energía permiten cuantificar las respuestas diferenciadas de glaciares descubiertos y glaciares con cubierta de detritos.

Las mediciones de balance de energía se realizan durante el período de derretimiento (01 octubre – 31 marzo), que corresponde al período de derretimiento de nieve estacional acumulada sobre el glaciar durante el invierno (01 de abril – 30 de septiembre). La experiencia señala que las condiciones de derretimiento pueden alargarse durante el otoño, lo que implica extender dichas mediciones inclusive hasta las primeras semanas de mayo o, en su perjuicio, antes de las primeras nevadas de la temporada. Estas mediciones requieren mantención con una alta frecuencia para mantener la estación en posición vertical, lo cual implica establecer una adecuada logística de mantención para acceder a los glaciares piloto de manera segura.

A continuación, se enumeran las variables medidas en cada estación meteorológica móvil.

- 1) Temperatura y Humedad relativa del aire con ventilación aspirada ($^{\circ}\text{C}$);
- 2) Temperatura y Humedad relativa del aire con ventilación pasiva ($^{\circ}\text{C}$);
- 3) Velocidad y dirección del viento (m s^{-1} / grados);
- 4) Presión atmosférica (mb);
- 5) Radiación de onda corta incidente (W/m^{-2});
- 6) Radiación de onda corta reflejada por la superficie (W/m^{-2});
- 7) Radiación de onda larga incidente (W/m^{-2});
- 8) Radiación de onda larga emitida por la superficie (W/m^{-2});
- 9) Altura de nieve en mástil y estructura tipo "H" (cm);
- 10) Inclinómetro en ejes X e Y (grados).

4.2.2. Características de los trípodes

Los equipos son montados en una estructura tipo trípode siguiendo las especificaciones del Servicio Geológico y Glaciológico de Groenlandia (GEUS) de Dinamarca (Citterio, 2012). En el **Anexo 5** se han incorporado los planos de un trípode tipo. Cada una de estas estructuras se compone básicamente de:

- 1) 1 mástil;
- 2) 3 patas de apoyo;
- 3) 1 travesaño;
- 4) Cables tensores apropiados. Todas las partes del tripode son fabricadas en acero inoxidable.

1) Mástil

Tubo de 1 ½" de diámetro externo, 2,75 mm de espesor, longitud de 1,6 m y sellado en la parte superior e inferior. En su parte inferior debe poseer una base que permita el acoplamiento a las tres patas con ángulo igual entre ellas (120°) (**Figura 41**).



Figura 41. Base del mástil de trípode. Permite la unión a las patas de la estructura.

La parte superior del mástil debe poseer orejas para fijar los tensores de las patas. Estas orejas deben estar soldadas al mástil con una distribución igual a la de la base del mástil.

2) Patas

Tres patas con tubos de entre 1" y 1 ¼ " de diámetro, 2,72 mm de espesor y una longitud de 1,70 m. Cada uno de los tubos usados en las patas debe ser sellado en sus extremos y con la terminación que permita la unión al mástil (**Figura 42**). La parte superior de cada pata debe poseer una oreja de soporte con un grillete apropiado (**Figura 43**); dicha oreja será usada para fijar el cable que soportará la batería colgante.

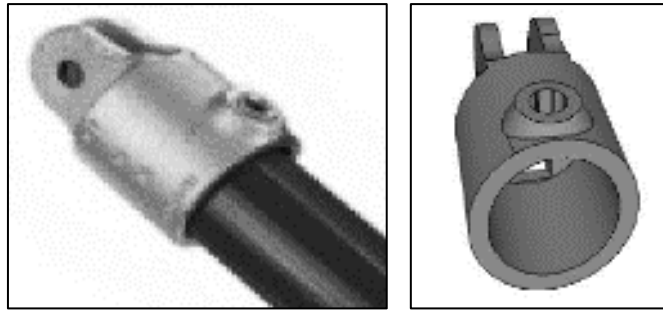


Figura 42. Conector superior e inferior de las patas del trípode. Extremos de cada una de las patas.



Figura 43. Soporte caja de baterías y grilletes.

La parte inferior de cada pata del trípode debe poseer una oreja de soporte, dicha oreja será usada para fijar el cable tensor que une las 3 patas entre si y las 3 patas con el mástil (**Figura 44**). La parte inferior de cada pata debe finalizar en una base, que a su vez debe estar unida a una sección de madera cuadrada que servirá de soporte del trípode.



Figura 44. Tensores de las patas del trípode.

3) Travesaño

El travesaño debe construirse con un diámetro externo de 1,34", 2,75 mm de espesor, longitud de 1,80 m y sellado en ambos extremos. Debe poseer 4 barras verticales para instalación de instrumentos de un largo de 10 cm, selladas en su parte superior y soldadas al travesaño o unidas mediante crossover al travesaño, con tubo del mismo diámetro. Dos de ellas en los extremos del travesaño y dos hacia el interior del travesaño, a una distancia de 65 cm desde los bordes. El espaciamiento de las barras verticales debe ajustarse según las dimensiones del anemómetro (ver **Figura 45** a **Figura 47**).

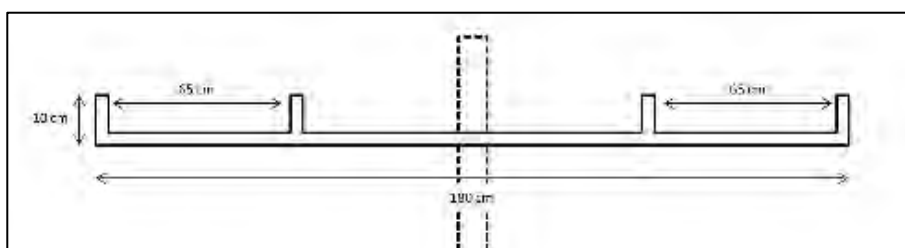


Figura 45. Dibujo referencial de la forma del travesaño del trípode.



Figura 46. Travesaño con instrumentos instalados.



Figura 47. Fijación de travesaño al mástil.

4) Caja metálica porta batería y gabinete

Se debe construir una caja metálica que permita colgar una batería de 308 x 170 x 212 mm³ en la parte inferior del mástil. Se deberá considerar un sistema de aislación térmica eficiente, que permita un buen funcionamiento de la batería en temperaturas de hasta -25°.

En la **Tabla 14** se detallan las características técnicas del gabinete que contiene el datalogger y transmisor satelital.

Tabla 14. Características gabinete porta data logger.

CARACTERISTICAS	EXIGENCIAS
Uso	Resistente a la intemperie, en zonas de nieve y cordillera
Dimensiones internas	Mínimo 40 x 45 x 22 cm (ancho x alto x profundidad)
Peso	Menor a 8 Kg
Color	Blanco
Anclaje	El Gabinete debe poseer sistema de anclaje a mástiles de 3 y 4 pulgadas.
construcción	Caja de poliéster con fibra de vidrio reforzado. Terminal de tierra externa, bisagra de acero inoxidable, y unos cerrojos con cerradura
Protección	Nema 4X, IP66 o superior

4.2.3. Localización de estaciones sobre glaciares piloto

Se realizará un estudio comparativo de balance de energía en glaciares de distintas características superficiales, dando énfasis a glaciares descubiertos y con cubierta de detritos de diferentes dimensiones a lo largo del país. Los glaciares en estudio son los siguientes (ver algunos ejemplos entre **Figura 48** y **Figura 52**).

- 1) Glaciar Tapado, cuenca del río Elqui:** el glaciar Tapado corresponde a un glaciar de montaña, que se extiende desde la cumbre del cerro Tapado hasta la zona inferior de un circo glacial, distribuyéndose entre los 5.536 y 4.600 msnm en la cuenca del río Elqui. El área del glaciar es de 1,32 km² y presenta penitentes en el periodo de deshielo en gran parte de su extensión dificultando el tránsito sobre su superficie.
- 2) Glaciar Echaurren Norte, cuenca del río Maipo:** el glaciar Echaurren ha sido estudiado desde la década de los 70s. Corresponde a un glaciar de valle y se ubica en la cabecera de la cuenca de la Laguna Negra (sub-cuenca del río Yeso), distribuyéndose entre los 4.000 y 3.600 msnm, aproximadamente. A la fecha, la superficie del glaciar Echaurren es de 0,15 km².
- 3) Glaciar Bello, cuenca del río Maipo:** el glaciar Bello se encuentra ubicado en el cajón del Bello, distribuyéndose entre los 5.000 msnm en los sectores del Cerro Bello, y los 4.000 msnm. La superficie del glaciar Bello es de 4,21 km² y su orientación es predominantemente sur. Corresponde a uno de los glaciares de la cuenca del río Yeso que aportan sus deshielos al embalse El Yeso, principal fuente de abastecimiento de agua potable de la Región Metropolitana.

- 4) Glaciar Yeso, cuenca del río Maipo:** el glaciar Yeso se encuentra ubicado en el cajón del Bello, distribuyéndose entre los 5.000 msnm en los sectores del Cerro Cuerno Blanco y los 3.850 msnm. La superficie del glaciar Yeso es de 2,03 km² y su orientación es su-este. Corresponde a uno de los glaciares de la cuenca del río Yeso que aportan sus deshielos al embalse El Yeso, principal fuente de abastecimiento de agua potable de la Región Metropolitana.
- 5) Glaciar San Francisco, cuenca del río Maipo:** el glaciar San Francisco se encuentra ubicado en la sub-cuenca del río Volcán, perteneciente a la cuenca del río Maipo, a una altura aproximada de 2.550 msnm, específicamente en el parque Monumento Nacional el Morado, administrado por CONAF, a 70 km al SE de Santiago. El área del glaciar es de 1,2 km².
- 6) Glaciar Pirámide, cuenca del río Maipo:** el glaciar Pirámide corresponde a un glaciar con cubierta de detritos (desde algunos centímetros a varios metros); abarca una superficie de 4,88 km² y una elevación media de 3.550 msnm. Está ubicado en las nacientes del río Yeso, cuenca del río Maipo, a 70 km al este de la ciudad de Santiago. Corresponde a uno de los glaciares de la cuenca del río Yeso que aportan sus deshielos al embalse El Yeso, principal fuente de abastecimiento de agua potable de la Región Metropolitana.
- 7) Glaciar Exploradores (Campo de Hielo Norte), cuenca del río Exploradores:** el glaciar Exploradores se encuentra ubicado en el extremo nororiental de Campo de Hielo Norte (CHN) (46°31'41.31" S – 73°21'27.50" W) y abarca una superficie de 83,8 km², aproximadamente. Corresponde a un glaciar efluente cuya zona de acumulación se ubica íntegramente en el plateau de CHN. El glaciar Exploradores pertenece al Parque Nacional Laguna San Rafael, administrado por la CONAF.
- 8) Glaciar Tyndall (Campo de Hielo Sur), cuenca del río Serrano:** El glaciar Tyndall se ubica en el extremo suroriental de Campo de Hielo Sur (CHS) (51°08'02.02" S -73°21'27.50" W) y abarca una superficie de 313,2 Km², aproximadamente. Corresponde a un glaciar efluente que fluye hacia el sur para terminar en un lago de origen glacial. El glaciar Tyndall pertenece al Parque Nacional Torres del Paine, administrado por la CONAF.

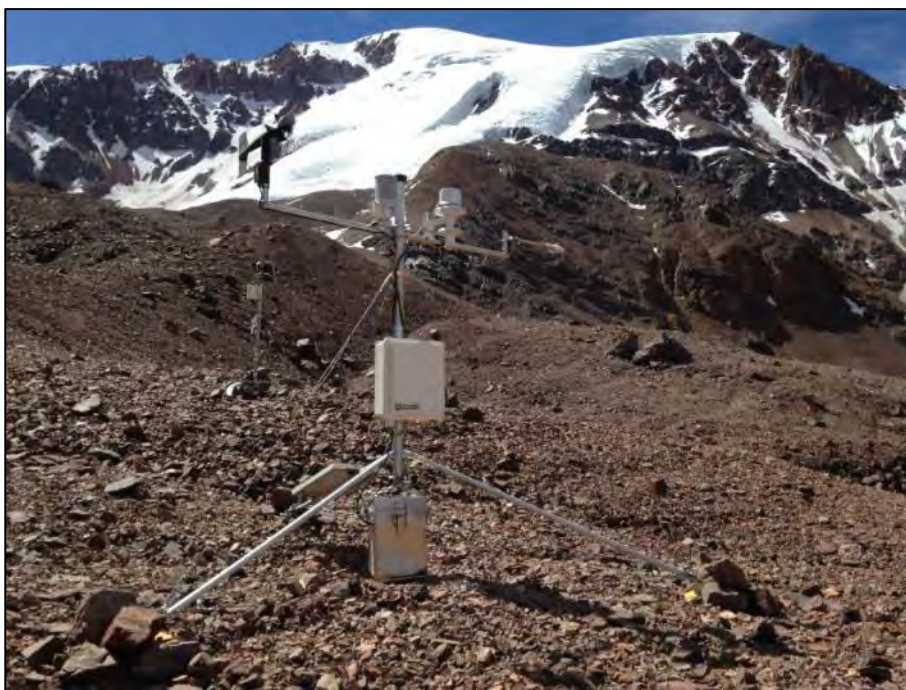


Figura 48. EMAM Glaciar Tapado. Región de Coquimbo.



Figura 49. EMAM Glaciar Pirámide. Región Metropolitana.



Figura 50. EMAM Glaciar San Francisco. Región Metropolitana.



Figura 51. EMAM glaciar Exploradores. Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo.



Figura 52. EMAM Glaciar Tyndall. Región de Magallanes y la Antártica Chilena.

5. TRANSMISIÓN DE DATOS

5.1. Goes

Este satélite opera asignando códigos ID, los cuales permiten transmitir datos cada una hora, en un minuto y segundo determinado, teniendo una ventana de 10 segundos para cada transmisión en una frecuencia determinada. A cada EMAF se debe instalar un transmisor satelital, el cual recoge los datos que le entrega el logger, los codifica y los envía al satélite. Cabe mencionar que esta comunicación es unidireccional (solo transmite, no hay recepción). Cada transmisor cuenta con una antena, que debe ser orientada en dirección al satélite, y con un GPS para mantener la sincronización horaria.

La DGA cuenta con una estación receptora de datos satelitales GOES, de tal manera que puede capturar de forma autónoma los datos enviados desde el satélite, los que a su vez son publicados en la página web de la DGA.

5.2. iridium

Dado que existen estaciones móviles operando sobre glaciares, estas presentan movimiento y rotación, por lo que la antena de transmisión pierde su orientación. Por tal motivo se utiliza la transmisión iridium, la cual consta de una constelación de satélites de baja altura que orbitan la tierra (a diferencia del satélite GOES que es geoestacionario), por lo cual no se ve afectada la transmisión de datos al cambiar la orientación de la antena, que en este caso es omnidireccional.

El Sistema de transmisión satelital utilizado corresponde al sistema de transmisión Iridium que ofrece Micro-Specialties Inc (<http://www.micro-specialties.com/>) a través de su sistema SDB (Short Burst Data) de envío de mensajes cortos.

El sistema de transmisión utiliza un Modem (Global Modem) y antena conectados al datalogger de la estación meteorológica que envía los mensajes en código binario a la red de satélites, cuya información luego es recibida por la puerta de enlace (Gateway) del equipo de la red SDB de Micro-Specialties (MSI) y es convertido a formato de texto. El producto se entrega a través de una página web, desde donde se pueden obtener los datos en forma manual o automáticamente descargar a un computador o servidor.

La red Iridium consiste en 66 satélites LEOS (Low Earth Orbiting Satellites) los que proveen comunicación desde virtualmente cualquier punto de la superficie terrestre. La diferencia entre la constelación Iridium y otras redes satelitales se debe a que la comunicación se realiza entre los modem y los satélites, entre satélite y satélite y entre los satélites y la puerta de enlace MSI, facilitando la comunicación. Cada modem posee un código de fabricación identificado por MSI y utilizado para la recuperación de datos.

6. TRATAMIENTO DE LA METADATA

A continuación, se enlistan los principales requerimientos planteados por Box *et al.* (2004) para el registro de información para estaciones fijas y móviles. Un mes se considera completo cuando tiene menos de 5 días faltantes de alguna de las variables.

- 1) Ubicación (latitud, longitud, elevación y fecha de inicio de operación);
- 2) Tipo de instrumentos, fabricante y números de serie;
- 3) Tiempo de muestreo;
- 4) Tipo de data logger y número de serie;
- 5) Fecha (instalación, números de visitas, calibración de instrumentos y observaciones sobre condiciones meteorológicas);
- 6) Método usado para determinar norte verdadero, en caso de brújula declinación magnética;
- 7) Personas presentes en la instalación y en períodos de visitas de mantención;
- 8) Coordenadas UTM usadas;
- 9) Información adicional del lugar (dirección de la pendiente, homogeneidad de la superficie, distancia a obstrucciones de viento);
- 10) Condiciones de instrumentos y cables;
- 11) Detalle sobre pagodas de temperatura, incluyendo ventilación y si la pagoda está amarillenta;
- 12) Azimut de los instrumentos;
- 13) Altura de los instrumentos y fecha de medición;
- 14) Problemas encontrados en las visitas;
- 15) Problemas anticipados para visitas subsecuentes;
- 16) Grado de problema de escarcha en los sensores;
- 17) Desviación del *timer*;
- 18) Cualquier observación del sitio o sobre el trípode;
- 19) Catálogo de fotografías de cada visita.

7. NIVELES DE PROCESAMIENTO DE DATOS

La información meteorológica generada tanto por la red de estaciones fijas como móviles se ordena en cuatro (4) niveles de procesamiento, permitiendo un adecuado respaldo de los datos crudos y su posterior procesamiento, validación y publicación.

- 1) Nivel 0:** corresponde a la información en tiempo real descargada desde el sistema satelital Iridium, en el caso de red de EMAM, y GOES, en el caso de la red de EMAF. En general, se trata de registros horarios obtenidos como el promedio aritmético de 6 mediciones instantáneas (cada 10 minutos). Este registro es solo referencial, toda vez que el promedio aritmético puede ocultar magnitudes instantáneas fuera de rango o "suavizar" registros que, dada su naturaleza, presentan una elevada variabilidad y desviación estándar (*e.g.*, velocidad del viento). El encargado de las estaciones meteorológicas respalda los registros sin ningún tipo de manipulación o procesamiento.
- 2) Nivel 1:** corresponde a la información descargada directamente del datalogger (dato crudo). La red está compuesta por diferentes data loggers, por lo que los archivos descargados no tienen, necesariamente, una estructura interna común. Los archivos en este nivel se componen de registros instantáneos cada 10 minutos. El encargado de las estaciones respalda los registros sin ningún tipo de manipulación o procesamiento.
- 3) Nivel 1.1:** corresponde a un nivel intermedio entre los niveles 1 y 2. Los archivos del Nivel 1 (datos crudos) son ordenados en una matriz estándar, debidamente rotulados y homologados, permitiendo así su posterior procesamiento de manera automática.
- 4) Nivel 2:** los archivos del Nivel 1.1 son validados y reordenados en un formato adecuado para su inclusión en la plataforma de visualización de datos de la Dirección General de Aguas.

8. MEDICIÓN DE CAUDALES DE DESHIELO

La información mundial sobre área de glaciares y casquetes (*glaciers and icecaps*, GIC) se utiliza para la estimación de volúmenes de hielo, con los cuales calcular: i) contribución de los glaciares al aumento del nivel mar por derretimiento (*sea level rise*; SLR); y ii) aumento del nivel del mar equivalente (*sea level equivalent*, SLE) por derretimiento futuro, ambos en un contexto de cambio climático (e.g., Marzeion *et al.*, 2012; Radic y Barh, 2012; Grinsted, 2013). Lo anterior sustenta la idea de i) “aporte hídrico” cuando se transita de un cambio de estado físico desde hielo sólido a una fase de agua líquida debido al derretimiento actual; y de ii) “reserva hídrica” en el cual se mantienen la fase sólida, pero se prevé el equivalente al derretimiento potencial en un período de largo plazo futuro.

La idea de “Reserva Estratégica Glaciar” se sustenta en el concepto técnico de “reservoir”, término francés utilizado para describir reservas de agua en lagos artificiales (represas) o naturales. El volumen de un glaciar (V) es producto de su área (S) y su espesor (H), mientras que para determinar su volumen de hielo equivalente en agua ($V_{e.a.}$) es necesaria la densidad del hielo (ρ).

El balance de masa de un glaciar puede establecerse a partir de 3 metodologías principales: i) método glaciológico, ii) método geodésico y iii) método hidrológico. Este último permite calcular el balance de masa a partir de la medición de flujos de agua que entran y salen del glaciar, independiente del balance superficial (Tangborn *et al.*, 1975). La precipitación se estima a partir de información meteorológica y/o modelos, y el caudal (Q) se mide en estaciones fluviométricas especialmente diseñadas.

Estimar el aporte hídrico de un glaciar o conjunto de glaciares mediante el método hidrológico implica cuantificar los distintos componentes de entrada y salida del balance hidrológico (ΔW) de una cuenca glacial:

$$\Delta W = P - E - Q \quad \text{Eq. 2}$$

Donde P es la precipitación; E la evapotranspiración; y Q el caudal.

El caudal (Q) refleja la contribución combinada tanto del derretimiento de uno o un conjunto de glaciares, más la precipitación (sólida/líquida) en la cuenca glacial hacia el punto de descarga de la cuenca glacial (exutorio).

El componente evapotranspiración (E) requiere mediciones de balance de energía de superficie (calor disponible para derretimiento de nieve/hielo), utilizando para ello estaciones meteorológicas instaladas en superficie de los glaciares. No obstante, sabido es la respuesta diferenciada de glaciares de hielo limpio y glaciares con cubierta detrítica, estando en estos últimos el hielo protegido debido a la aislación térmica de los detritos, siendo entonces impracticable distinguir el “aporte hídrico” individual de cada glaciar.

La capacidad de almacenamiento o *storage* de una cuenca glacial depende de las variaciones climatológicas estacionales (invierno/verano anual), y por ende refleja las condiciones de un año húmedo/seco (Jansson y Hock, 1999). En este caso, el almacenamiento de agua en una cuenca glacial (a diferencia de una cuenca no glacial) en el corto-plazo genera una retención de nieve durante el invierno, la cual es liberada con desfase de meses mediante el derretimiento estival.

Considerando que el cambio climático está provocando balances de masa negativos en los glaciares, pérdidas de volumen de glaciares (adelgazamiento) provocarán en una primera etapa un aumento de los caudales en respuesta al mayor derretimiento. Ahora bien, si en el largo-plazo las perturbaciones climáticas mantienen la respuesta de los glaciares al adelgazamiento, en algún momento la capacidad de almacenamiento de agua en la cuenca es finita y con llevaría una reducción en los caudales.

Del total del caudal anual generado en glaciares de latitudes medias, la gran mayoría se observa durante el período de deshielo, específicamente en verano. Ostrem (1973) estimó que el 85% del caudal generado en glaciares escandinavos ocurre entre junio y agosto. Asimismo, Escher-Vetter y Reinwarth (1994) reportaron que el 90% del caudal generado en Vernagtferner, Austria, ocurre entre junio y octubre. En Chile, por su parte, será esperable – y así lo demuestra el registro fluviométrico en cuencas piloto (**Figura 53**) – que la mayoría del caudal de deshielo se genere entre los meses de septiembre y marzo.

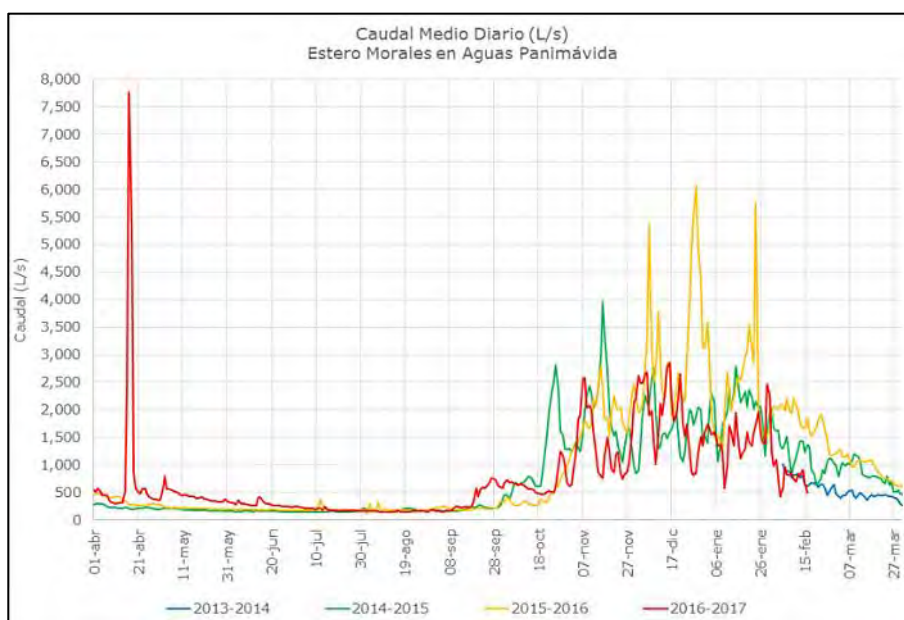


Figura 53. Caudal de deshielo medido en estación fluviométrica “Estero Morales en Aguas Panimávida”. Sensor de nivel empotrado en roca (sección natural).

La red glacio-meteorológica de la DGA incluye nueve (9) estaciones fluviométricas en cuencas piloto glaciadas, todas ubicadas en las vecindades de una Estación Meteorológica Automática Fija, EMAF (o una EMAM, en su defecto).

- 1) **Estación Glaciar Tapado en Los Corrales (Nacimiento río Colorado, cuenca río Elqui):** canaleta tipo Parshall construida en fibra de vidrio y montada sobre fundaciones de hormigón armado (ver planos en **Anexo 6**).

Puesta en marcha: verano 2018

Sensores de nivel: Keller PR 36Xi (2)

Regleta: 1

Data logger: Campbell CR-300



Figura 54. Estación Fluviométrica Glaciar Tapado en Los Corrales. Río Colorado, cuenca río Elqui. En la figura se incorporó la delimitación de la cuenca a portante y los cuerpos de hielo catastrados en el Inventario Nacional de Glaciares (Barcaza *et al.*, 2017)

- 2) **Estación Glaciar San Francisco en Aguas Panimávida (Estero Morales, cuenca río Maipo):** sección de aforo rectangular y prismática, construida en gaviones y mampostería de piedra. Esta estación cuenta con un sensor de nivel de respaldo, ubicado 400 m aguas abajo y empotrado en roca (sección natural), que comenzó a operar previo a la instalación de la sección de aforo definitiva.

Sección natural

Puesta en marcha: verano 2014

Sensores de nivel: OTT (1)

Regleta: 1

Data logger: OTT (incorporado en el sensor de nivel)

Sección revestida

Puesta en marcha: primavera 2018

Sensores de nivel: Keller PR-36Xi (1)

Regleta: 1

Data logger: Campbell CR-300



Figura 55. Estación Fluviométrica Glaciar San Francisco en Aguas Panimávida.
Estero Morales, cuenca río Maipo.

- 3) **Estación Glaciar Echaurren Bajo (Estero Echaurren, cuenca río Maipo):**
sección de aforo rectangular y prismática, construida en mampostería de
piedra.

Puesta en marcha: verano 2013

Sensor de nivel: ---

Regleta: si

Data logger: Axsys



Figura 56. Estación Fluviométrica Glaciar Echaurren Bajo. Estero Echaurren, cuenca
río Maipo.

- 4) **Estación Estero Yerba Loca en Piedra Carvajal (estero Yerba Loca, cuenca río Maipo):** sección de aforo rectangular y prismática, construida en mampostería de piedra y gaviones.

Puesta en marcha: otoño 2014 – modificada en otoño de 2018

Sensor de nivel: OTT PLS

Regleta: si

Data logger: Vaisala (compartido con EMAF)



Figura 57. Estación Fluviométrica Estero Yerba Loca en Piedra Carvajal. Estero Yerba Loca, cuenca río Maipo.

- 5) **Estación Valle Río Olivares (Río Olivares, cuenca río Maipo):** sensor de nivel empotrado en roca (sección natural).

Puesta en marcha: primavera 2018

Sensor de nivel: OTT PLS

Regleta: si

Data logger: Campbell CR-300.



Figura 58. Estación Fluviométrica Valle Río Olivares. Río Olivares, cuenca río Maipo.

- 6) **Estación Termas del Plomo (Río Yeso, cuenca río Maipo):** sensor de nivel empotrado en roca (sección natural). La sección corresponde a una garganta en roca estable con Curva de Descarga compuesta (sección rectangular para caudales bajos).

Puesta en marcha: otoño 2018

Sensores de nivel: OTT PLS

Regleta: si

Data logger: Campbell CR-300.



Figura 59. Estación Fluviométrica Termas del Plomo. Río Yeso, cuenca río Maipo.

- 7) **Estación Monte Tronador en Casa Pangué (Río Peulla, cuenca río Petrohue):** sensor de nivel empotrado en roca (sección natural). La sección de aforo está acondicionada con aforador tipo "cable guía", que permite manipular el molinete hidráulico desde la orilla mediante un sistema de manivelas graduadas (ver plano en **Anexo 6**).

Puesta en marcha: otoño 2018

Sensor de nivel: OTT PLS

Regleta: si

Data logger: Campbell CR-300.



Figura 60. Estación Fluviométrica Río Peulla en Casa Pangué. Río Peulla, cuenca río Petrohue.

- 8) **Estación Glaciar Exploradores (río Deshielo, cuenca río Exploradores):** sensor de nivel empotrado en roca (sección natural). La sección de aforo se ubica entre las cepas de un puente que facilita la realización de aforos (Ruta X-728). Un eventual reacondicionamiento de las barandas del puente permitiría el empleo de un escandallo con peso suficiente para aforar en condicione de crecida.

Puesta en marcha: primavera 2014

Sensor de nivel: ---

Regleta: si

Data logger: Axsys



Figura 61. Estación Fluviométrica Río Deshielo en Ruta X-728. Río Deshielo, cuenca río Exploradores.

9) **Estación Glaciar Tyndall (desagüe lago Tyndall y desagüe lago Geike, cuenca río Serrano):**

DESAGÜE LAGO TYNDALL

Puesta en marcha: invierno 2011

Sensor de nivel: KPSI SDI-12 500

Regleta: si

Data logger: Axys MPU

DESAGÜE LAGO GEIKE

Puesta en marcha: invierno 2011

Sensores de nivel: KPSI SDI-12 500

Regleta: si

Data logger: Axys MPU



Figura 62. Estación Fluviométrica Desagüe lagos Tyndall y Geike. Cuenca río Serrano.

9. INFRAESTRUCTURA PARA MONITOREO

Actualmente, en Campo de Hielo Norte existe un (1) refugio formado por dos módulos polares anclados en roca (**Figura 63**), que se encuentran instalados desde el año 2010 y desde el año 2012, respectivamente. Considerando el clima extremo imperante en la zona, estas instalaciones son vitales para la seguridad del personal de la Unidad de Glaciología y Nieves durante la realización de campañas de monitoreo glaciológico (pozos de acumulación, Radar de Penetración Terrestre, LiDAR, mantenimiento EMAF, etc.).



Figura 63. Ubicación refugio Glaciar San Rafael. Campos de Hielo Norte, Región de Aysén.



Figura 64. Panorámica refugio Glaciar San Rafael. Campos de Hielo Norte.

En Campo de Hielo Sur existen tres (3) refugios polares, cada uno formado por 2 módulos anclados en roca. Estos fueron instalados durante los años 2014 y 2015 por la Unidad de Glaciología y Nieves. La ubicación estratégica de estos refugios permite establecer una transecta de medición, desde el glaciar Témpanos, por el poniente, hasta el glaciar O'Higgins, por el oriente. Entre los años 2017 y 2018 el personal de la UGN realizó visitas de reconocimiento en ambos accesos, estableciendo la viabilidad del transecto propuesto.

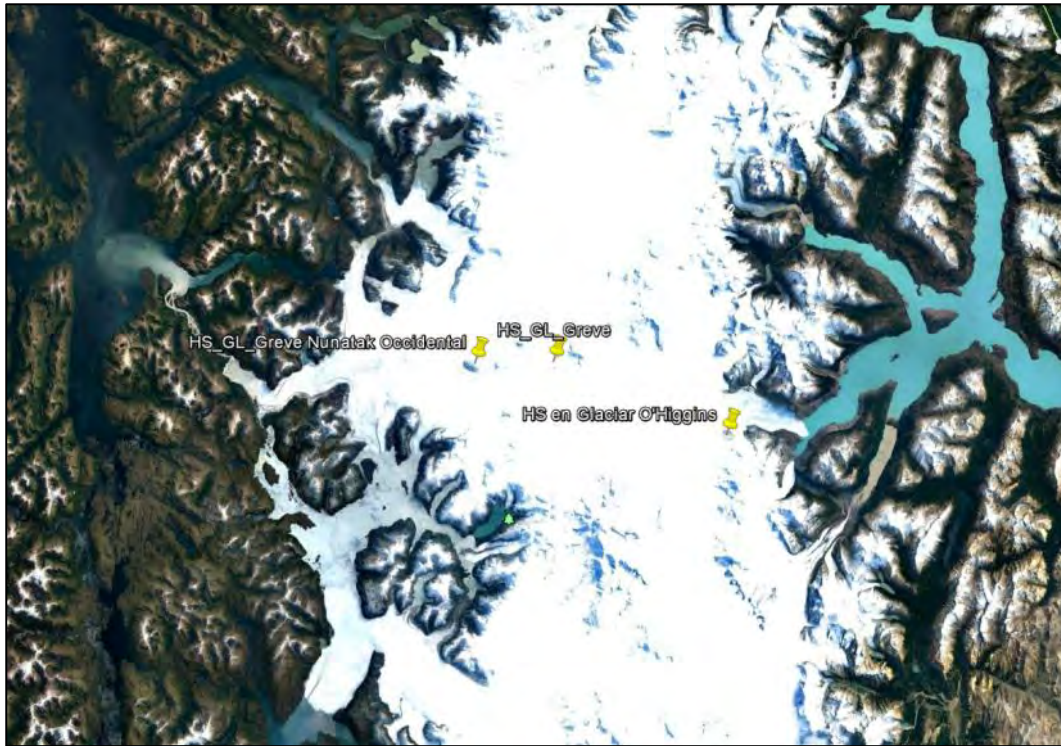


Figura 65. Ubicación de los refugios instalados en el *plateau* de Campo de Hielo Sur.



Figura 66. Refugio Glaciar Greve, instalado en Nunatak Occidental.

Los refugios constan de una base metálica de tres módulos ensamblados en base a perfiles rectangulares (**Figura 67**). Poseen aislación de poliestireno o poliuretano expandido de densidad media, con piso de madera contrachapada, impermeabilizado de 6 mm, y recubierto con una capa de goma tipo toperol con superficie antideslizante de 3 mm. Esta base cuenta con un sistema de soporte ajustable metálico a las diferencias de nivel existentes en el terreno, que sobresalen de la base para entregar mayor estabilidad en base a perfiles tubulares cuadrados de 50x50 y 40x40 mm, ambos de 3 mm de espesor. Además, posee tornillos niveladores galvanizados (tipo andamio) para ajuste más preciso.



Figura 67. Instalación de refugios en Campo de Hielo Sur.

Sobre la base armada se ensamblan paramentos curvos contruidos en poliéster reforzado con material tejido de fibra de vidrio color naranja internacional especificado con protección anti radiación Ultra Violeta (UV). Cada paramento contempla una ventana redonda de 30 cm, cónica, con 2 láminas paralelas de acrílico transparente (**Figura 68**).

Las uniones de los paramentos llevan sellos de silicona, entre la junta de los paramentos, lo que permite absorber posibles dilataciones. Cada paramento y el complejo de base, tendrán una aislación de 10 cm de espesor

La ubicación de los refugios instalados, tanto en Campo de Hielo Sur como Campo de Hielo Norte, coincide con la ubicación de Estaciones Meteorológicas Automáticas Fijas (EMAF), permitiendo optimizar las labores de monitoreo durante campañas de terreno extensas (**Figura 68**).



Figura 68. Instalación de refugios en Campo de Hielo Sur.

10.AGRADECIMIENTOS

La construcción de la Red Glacio-meteorológica permitirá contar con una Línea Base Glaciológica de estándar internacional, además de proporcionar información meteorológica de alta montaña, inédita en nuestro país. Su creación fue posible gracias a esfuerzos mancomunados de técnicos y profesionales, tanto de la Unidad de Glaciología y Nieves como de las Direcciones Regionales.

Para construir esta red, el equipo debió participar en innumerables campañas de terreno, lejos de familiares y amigos, soportando el clima hostil de la montaña, pero siempre con entusiasmo, esfuerzo y, por sobre todo, pasión.

Agradecemos a Armando Peña, que diseñó las estructuras principales de las estaciones meteorológicas de 2 m de altura; a Gilberto Cortés, que diseñó las estaciones móviles y el sistema de poleas de la estación fluviométrica del río Peulla; a Agustín Donicke, que fue un apoyo constante en campañas de monitoreo complejas, siempre dispuesto a trabajar y a alentar al grupo; a Antonio Vergara, que mantuvo alta la moral del equipo tanto en oficina como en terreno; a Pablo Cifras, que estuvo siempre dispuesto a cooperar con entusiasmo en la naturaleza hostil de Los Andes Secos.

En general, agradecemos a los funcionarios de las Direcciones Regionales de Aysén y Magallanes, a los profesionales que ya no pertenecen a la Unidad de Glaciología y Nieves, y a los conductores de la DGA, que cooperaron en los interminables porteos de equipamiento a Los Andes Centrales.

Esperamos que la red siga creciendo, en virtud de una gestión adecuada de los recursos hídricos, nuestras montañas y sus ecosistemas particulares.

11.BIBLIOGRAFÍA

Bahr, D. y Radić, V. (2012): Significant contribution to total mass from very small glaciers. *Cryosphere*, **6**, 763–770 (doi: 10.5194/tc-6-763-2012).

Barcaza, G., Nussbaumer, S., Tapia, G., Valdés, J., García, J.L., Videla, Y., Albornoz, A., Arias, V. (2017): Glacier inventory and recent glacier variations in the Andes of Chile, South America. *Annals of Glaciology*, **58** (75), 166 – 180.

Box, J., P. Anderson and M. R. van den Broeke. 2004. Lessons to be learned. In: Reijmer, C., editor, *Automatic weather stations on glaciers*, Workshop proceedings, pages 9–28. Institute for Marine and Atmospheric Research Utrecht (IMAU).

Escher-Vetter H. and Reinwarth O. (1994): Two decades of runoff measurements (1973 to 1993) at the Pegelstation Vernagtbach/Oetztal Alps. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie*, **30**, 53-98.

Falvey, M. y Garreaud, R. (2009): Regional cooling in a warming world: recent temperature trends in the southeast Pacific and along the west coast of subtropical South America (1979–2006): *Journal of Geophysical Research*, **114**, D04102 (doi: 10.1029/2008JD010519).

Fountain, A., Krimmel, R. y Trabant, D. (1997). *A strategy for monitoring glaciers*. U.S. Geological Survey circular, 1132.

Fukami, H. y Naruse, R. (1987): Ablation of ice and heat balance of Soler Glacier, Patagonia. *Bulletin of Glaciological Research*, **4**, 37–42.

Garrett, T.J. y Yuter, S.E. (2014): Observed influence of riming, temperature, and turbulence on the fallspeed of solid precipitation, *Geophysical Research Letters*, **41**, (18), 6515–6522.

Goodison, B.E., Louie, P.Y.T. y Yang, D. (1998): *WMO Solid precipitation measurements intercomparison*, Final Report, WMO/TD-No. 872.

Grinsted A (2013) An estimate of global glacier volume. *Cryosphere*, **7**, 141–151.

Hock, R. (1999): A distributed temperature-index ice- and snowmelt model including potential direct solar radiation. *Journal of Glaciology*, **45** (149), 101–111.

IGOS/Integrated Global Observing Strategy (2007): A cryosphere theme report for the IGOS partnership. WMO/TD-No1405.

Kaser, G. (2002): Glacier Mass Balance and Climate in the South American Andes. In: Casassa G., Sepúlveda F.V., Sinclair R.M. (eds) *The Patagonian Icefields*. Series of the Centro de Estudios Científicos. Springer, Boston, MA

Marzeion B, Jarosch AH and Hofer M (2012) Past and future sea- level change from the surface mass balance of glaciers. *Cryosphere*, 6, 1295–1322

Nakamura, R. y Mahrt, L. (2005): Air Temperature Measurement Errors in Naturally Ventilated Radiation Shields, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, **22**, 1046 - 1058.

Oerlemans J. and Reichert BK. (2000): Relating glacier mass balance to meteorological data by using a seasonal sensitivity characteristic. *Journal of Glaciology*, **46**(152), 1–6 (doi: 10.3189/172756500781833269).

Ostrem G. (1973): The transient snowline and glacier mass balance in southern British Columbia and Alberta, Canada. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, **55**, 93-106.

Rasmussen, L.A. (2009): South Cascade Glacier mass balance, 1935–2006. *Annals of Glaciology*, **50**, 215 – 220.

Rasmussen, R., Baker, B., Kochendorfer, J., Meyers, T., Landolt, S., Fischer, A., Black, J., Thériault, J.M., Kucera, P., Gochis, D., Smith, C., Nitu, R., Hall, M., Ikeda, K., y Gutmann, E. (2012): How well are we measuring snow? The NOAA/FAA/NCAR Winter Precipitation Test Bed. *American Meteorological Society*, **93**, 811 – 829. (doi:10.1175/BAMS-D-11-00052.1).

Tangborn W., Krimmel RM., Meier MF. (1975): A comparison of glacier mass balance by glaciological, hydrological and mapping methods, South Cascade Glacier, Washington. *Snow and Ice – Symposium – Neiges et Glaces*. IAHS-AISH Publ. No. 104, 1975.

Tian, X., Dai, A., Yang, D. y Xie, Z. (2007): Effects of precipitation-bias corrections on surface hydrology over northern latitudes. *Journal of Geophysical Research*, 112, D14101, doi:10.1029/2007JD008420.

Vuille, M., E. Franquist, R. Garreaud, W. S. Lavado Casimiro y B. Cáceres (2015): Impact of the global warming hiatus on Andean temperature, *Journal of Geophysical Research Atmosphere*, 120, doi:10.1002/2015JD023126.

Warren, C. y Sugden, D. (1993): The Patagonian icefields: a glaciological review. *Arct. Alp. Res.*, **25**(4), 316–331.

Warren, C. y Aniya, M. (1999): The calving glaciers of Southern South America. *Global and Planetary Change*, **22**, 59–77 (doi. org/ 10.1016/S0921-8181(99)00026-0).

World Meteorological organization (WMO): *Guide to meteorological instruments and methods of observation*, WMO-No.8, Seventh edition (2008).

Yang, D., Kane, Z., Zhang, D., Legates, y B. Goodison, B.: Bias corrections of long-term (1973–2004) daily precipitation data over the northern regions, *Geophysical Research Letters*, 32 (19), Article ID L19501, 2005.

ANEXO 1: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS SENSORES

Instrumentación

Se presentan las características técnicas que debe cumplir la RGM tanto de estaciones fijas como portátiles a instalar sobre los glaciares. Los equipos deben tener el mayor estándar de precisión disponible, idealmente aquellos tipo research-grade, de modo garantizar mediciones de calidad sin errores instrumentales.

Temperatura y Humedad relativa del Aire

Las estaciones serán equipadas con dos sensores de temperatura del aire, uno pasivo, sin ventilación mecánica de temperatura del aire y humedad relativa, y otro activo o aspirado, de temperatura y humedad relativa, con el cual prevenir distorsiones de la medición en condiciones de calor extremo. Las características mínimas de los sensores son las siguientes:

El Sensor debe tener un rango de medición entre -40 y 50 °C para la Temperatura, y entre 0 y 100 % para la Humedad relativa del aire, ambos con precisión mejor que $\leq \pm 0.3$ °C para temperatura y $\leq \pm 3\%$ para humedad.

Precipitación

El sensor de precipitación corresponde a un pluviómetro de balansín para operar a temperatura de operación de 0 a 60 °C, con rango de medición de 0 a 50 mm/hr; precisión $\leq \pm 3\%$ en rango exigido. Además, a cada pluviómetro se agregará una pantalla protectora de viento, consistente en hojas metálicas que cuelguen separadas una de otra por un espaciador y se muevan libremente mientras el viento pase entre ellas, todas dispuestas en forma de círculo alrededor del instrumento, de diámetro mayor a 1.2 m.

Velocidad y Dirección del Viento

Se utilizará un sensor mecánico con ambos sensores contenidos en el mismo módulo, con carcasa externa resistente al hielo y piezas anodizadas. Debe medir en el rango de 0 a 100 m/seg; y desde los 0 a 360° , con precisión de $\pm 0,3$ m/s ó 1% de la lectura para la velocidad; y $\pm 5^\circ$ para la dirección del viento, debe operar en el rango de temperatura entre -20°C y 50°C .

Presión Atmosférica

En cada estación se instalará un Barómetro, de rango de medición entre 500 y 1100 milibares (mb), y precisión de ± 1 mB entre -20 a 45 °C, a una temperatura de operación entre -15 y 50°C .

Piranómetro

Se medirá la radiación solar incidente de onda corta con un Piranómetro, de rango espectral entre 310 a 2800 nm, de sensibilidad de 5 a 20 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$; temperatura dependiente de la sensibilidad de $\pm 5\%$ (-10°C a $+40^\circ\text{C}$), temperatura de operación -40°C a 50°C .

Pirgeómetro

La radiación solar de onda larga incidente se medirá con un Pirgeómetro, de rango espectral entre 4500 y 42000 nm, y sensibilidad de 5 a 15 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$, con temperatura dependiente de la sensibilidad <5% (-10°C a 40°C), y temperatura de operación entre -40°C y 50°C.

Radiación Solar Neta

El radiómetro neto será implementado en estaciones meteorológicas móviles que serán instaladas sobre glaciares piloto. La radiación neta se calcula en base a radiación solar de onda corta incidente y reflejada; y radiación de onda larga incidente y reflejada.

El radiómetro a utilizar debe tener un rango espectral de 305 a 2800 nm para el componente de radiación solar de onda corta; y de 4,5 a 42 μm para el componente de radiación solar de onda larga; y una sensibilidad de 10 a 20 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$ para componente de radiación solar de onda corta, y de 5 a 15 $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$ para el componente de radiación solar de onda larga. El rango de operación entre -40 °C a 50 °C, el factor de temperatura dependiente de la sensibilidad < 4% (-10°C a 40°C).

Medidor de Distancia Nieve/Hielo

Se utilizará un medidor de distancia tipo sónico, el cual se utilizará para medir derretimiento de hielo y/o acumulación de nieve en estaciones fijas ó portátiles. El sensor debe tener un rango de medición entre 0.5 y 6 m, con una precisión mayor o igual a 0.5% de la distancia al objetivo, considerando temperatura de operación de -30 a 50 °C.

ANEXO 2: FICHAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS FIJAS

ANEXO 3: PLANOS ESTACIÓN METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA FIJA

ANEXO 4: PLANOS SISTEMA DOUBLE FENCE INTERCOMPARISON REFERENCE

ANEXO 5: PLANOS ESTACIONES FLUVIOMÉTRICAS MONITOREO DE DESHIELO

ANEXO 6: PROGRAMA DE MONITOREO UNIDAD DE GLACIOLOGÍA Y NIEVES

Zona Glaciológica	Región	Cuenca	Glaciar	Monitoreo EMAF en periferia glaciar para medición variables esenciales del clima y acumulación nival (inicio registro: MM/AA)	Monitoreo EMAM en periodo estival (inicio registro: MM/AA)	Estación fluviométrica para monitoreo de caudal de deshielo (inicio registro: MM/AA)	Medición de flujo y ablación con crucetas (inicio registro: MM/AA)	Radar RES para estimación de volumen de hielo (mediciones: AA)	LIDAR Para balance de masa geodésico (mediciones: AA)
Norte	Atacama	Copiapó	Del Potro Maranceles Tronquitos	(**)	02/17	(**)	(**)		15
	Coquimbo	Elqui	Tapado	01/17	11/13	MM/17	04/17		15 15, 17
Centro	Valparaíso	Aconcagua	Monos del Agua	(*)					12,15
			Juncal Norte	(**)					11,15
	Metropolitana	Maipo	Río Blanco						15
			La Paloma	01/14		01/14			08,12,15
			Del Rincón	01/14		01/14			12,15
			Esmeralda						12,15
			Plomo						12,15
			Olivares Alfa	(**)		(**)			11,15
			Olivares Beta	05/14		(**)			11,15
			Olivares Gamma	05/14		(**)			11,15
			Juncal Sur	(**)		(**)			11,15
			Tupungatito						15
			Echaurren Norte	11/14	11/13		09/75		09,15
			Bello	12/15	11/13	(**)	03/14		12,15,18
			Yeso	12/15	11/13	(**)	03/14		12,15
			Yeso 1						12,15
			Yeso 2						12,15
Sur	O'Higgins	Cachapoal	Pirámide	12/15	11/13	(**)	03/14		12,15
			Mesón Alto						15
			Marmolejo						15
			San Francisco						09,15
			Cortaderal	10/11 04/18	10/13	02/14	03/14		11,15
			Palomo						11,12,15
			Cipreses	11/16					11,15
			Universidad	06/11			(**)		11,15
			Tinguiririca 1						12,15
			Tinguiririca 3						12,15
			Tinguiririca 4						12,15
			Peteroa						15
	Los Ríos	Valdivia	Sierra Velluda						15
			Callaqui						15
			Llaima						15
			Sollipulli						15
	Los Lagos	Mauñil	Villarrica						15
			Mocho-Choshuenco	(**)		(**)			15
			Osorno						15
			Casa Pangué	(**)		(**)			15
Austral	Aysén	Baker	Tronador Norte	(**)		(**)			15
			Exploradores		12/12	11/14	02/16		17
			San Rafael *	11/09					
			Nef	MM/11					
			Colonia	MM/12		10/15			
			Cachet	MM/09					
			Jorge Montt *	06/14					
			Témpanos *	12/09					(**)
			Occidental *						
			Greve *						
	Magallanes	Serrano	O'Higgins	01/09					17
			García *	05/16					18
			Amalia *	05/15					18
			Tyndall	02/11	12/12	07/11	11/14		17

(*) Glaciares con descarga directa al mar.

(**) Puesta en marcha en primavera 2018.