



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

CONFIGURACIÓN Y DESPLIEGUE DE UN SISTEMA DE DETECCIÓN DE
BÓLIDOS: LA RED FRIPON EN CHILE

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL ELÉCTRICO

FELIPE ANDRÉS GUTIÉRREZ ROJAS

PROFESOR GUÍA:
RENÉ MÉNDEZ BUSSARD

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
MARCOS ORCHARD CONCHA
JORGE SILVA SÁNCHEZ

Este trabajo ha sido parcialmente financiado por FONDECYT/ANID proyecto No. 1240049
Fondo GEMINI/ANID proyecto No. 3223 AS0002,
Vicerrectoría de Investigación y Desarrollo (VID) de la Universidad de Chile No. ENL02/23
Laboratorio Franco-Chileno de Astronomía (FCLA) y FRIPON-Andino.

SANTIAGO DE CHILE
2024

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL ELÉCTRICO
POR: FELIPE ANDRÉS GUTIÉRREZ ROJAS
FECHA: 2024
PROF. GUÍA: RENÉ MÉNDEZ BUSSARD

CONFIGURACIÓN Y DESPLIEGUE DE UN SISTEMA DE DETECCIÓN DE BÓLIDOS: LA RED FRIPON EN CHILE

En el contexto del estudio del sistema solar y el origen de la vida, los meteoritos son mensajeros que contienen huellas prístinas en su composición, a través de las cuales nos acercamos a responder las grandes interrogantes sobre la historia de nuestro entorno y cómo se dio lugar a la existencia de seres vivos en la Tierra. Sin embargo, las condiciones terrestres contaminan estos fragmentos rocosos con todo tipo de elementos, por lo que, para evitar la degradación de la información valiosa que contienen, es primordial recuperarlos a la brevedad.

La mayoría de las veces, la caída de meteoritos (fenómeno conocido como bólido) pasa desapercibida y podrían pasar millones de años hasta que los fragmentos restantes sean encontrados. Por esta razón, es importante un sistema de detección que permita localizarlos y recuperarlos.

El proyecto FRIPON es una red automatizada para la detección y caracterización de bólidos mediante cámaras que observan el cielo día y noche. Este proyecto inició en Francia en 2016 con más de cien estaciones de detección y se ha extendido con mucho éxito a Europa y Canadá con cien estaciones más. Sin embargo, una cobertura limitada no permite una visión exhaustiva del fenómeno y reduce la capacidad de detección y recolección de fragmentos.

La iniciativa de configuración y extensión de la red FRIPON en Chile, ejecutada a través de este proyecto de título, responde a la necesidad de aumentar la cantidad de datos recolectados, así como de alcanzar zonas que faciliten la recuperación de meteoritos. En ese sentido, Chile ha sido elegido como un candidato ideal. Por lo tanto, este proyecto consiste más bien en implementación en lugar de análisis de factibilidad.

Se tiene, por lo tanto, como objetivo, establecer en Chile una nueva región de detección de bólidos para la red FRIPON, buscando además abordar los problemas de compatibilidad por disponibilidad, obsolescencia y actualización que sufren los componentes de las estaciones.

Para llevar a cabo esto, se adquirieron los componentes necesarios para formar una estación FRIPON. Se realizó el ciclo de configuración de la computadora, el switch y la cámara, seguido del viaje de instalación, y se finalizó con la verificación de funcionamiento y estabilidad. Todo en una exploración de nuevos procedimientos y soluciones al enfrentarse a desafíos de configuración de equipos no probados anteriormente e instalación en lugares con condiciones desfavorables.

Con esto, se desplegaron ocho estaciones de detección a lo largo de Chile y una en Mendoza, Argentina, formando la primera red funcional en esta región del mundo. Los resultados se validan a través de los constantes reportes de detección y eventos importantes hasta el momento, y se proyecta añadir más estaciones en Chile, Argentina, Bolivia y Perú, formando así la nueva gran red FRIPON Andino.

A a mi Madre, Padre y Hermanos

Agradecimientos

Agradezco profundamente a todas aquellas personas que estuvieron siempre a mi lado, incluso cuando les fallé. Gracias por el inagotable apoyo y muestras de cariño, han sido excepcionales, y sin duda, contribuyen con sus grandes corazones a luchar contra la marea de las adversidades en busca de hacer de este, un mundo mejor, donde siempre gane la bondad, la humildad y el amor por el prójimo.

Gracias Madre, Padre y hermanos, son las personas más importantes de mi vida, los amo con todas mis fuerzas, los elegiría infinitas veces, me siento completamente bendecido de tenerlos, al mirar el mundo actual me doy cuenta que tuve el más exclusivo privilegio, y dondequiera que vaya, los llevo por siempre en mi corazón, porque le dan todo el valor a mi ser y mi alma, por sobre cualquier cosa que exista y vaya a existir.

Finalmente, agradezco a todos quienes siempre buscan el bienestar del resto, pues es la única verdadera religión, jamás dejen que la luz de la benevolencia se apague, porque aquel día todo terminará.

Tabla de Contenido

Tabla de Contenido	vii
Índice de Ilustraciones	ix
Introducción	1
0.1. Identificación del Problema	1
0.2. Formulación del Problema	3
0.3. Objetivos del trabajo de título	3
0.3.1. Objetivo general	3
0.3.2. Objetivos específicos	4
1. Revisión de la Literatura	5
1.1. Marco Teórico	5
1.1.1. Detección de bólidos	5
1.1.2. Modelos físicos sobre la dinámica	5
1.1.3. Red de detectores de bólidos	6
1.2. Estado del Arte	7
1.2.1. Sobre las estaciones de detección de bólidos	7
1.2.2. Proyectos Chacana y All-7-Sky	8
2. Materiales y Métodos	9
2.1. Metodología	9
2.1.1. Análisis y técnicas para el desarrollo del proyecto	10
2.2. Materiales	11
2.2.1. La estación FRIPON	11
2.2.2. Software de FRIPON	12
2.2.3. Software de detección de bólidos	12
2.2.4. Computador	13
2.2.5. Switch	14
2.2.6. Cámara de detección	15
2.2.7. Conexión entre componentes	16
2.2.8. Ensamblaje	16
2.2.9. Estructura de soporte	17
2.2.10. Comunicación y envío de datos	19
2.2.11. Software de trabajo en computador personal	20
2.2.12. Plataformas de gestión y monitoreo de estaciones	21

2.3.	Procedimiento	23
2.3.1.	Planificación y creación de una nueva estación	23
2.3.2.	Preparación de Equipos y Componentes	24
2.3.3.	Configuración de Parámetros y LDAP	24
2.3.4.	Instalación del Sistema Operativo y Software	25
2.3.5.	Preparación y configuración del Switch	26
2.3.6.	Configuración de la cámara all-sky	27
2.3.7.	Verificaciones finales	27
2.3.8.	Embalaje y Preparación para el Transporte	27
2.3.9.	Instalación en el Lugar Final	28
2.3.10.	Puesta en Marcha y verificación Final	28
2.3.11.	Monitoreo y Seguimiento	29
2.3.12.	Documentación y Reporte	29
2.4.	Ejecución del proyecto de configuración y despliegue de estaciones FRIPON en Chile y países circundantes	29
2.4.1.	Estación CLCO04 Observatorio El Sauce	29
2.4.2.	Estación CLRM01 Observatorio Cerro Calán	30
2.4.3.	Estación CLAN06 Calama	30
2.4.4.	Estación CLAT01 Laguna Santa Rosa	31
2.4.5.	Estación CLAT02 Tierra Amarilla	32
2.4.6.	Estación CLAT03 Inca de Oro	32
2.4.7.	Apoyo en instalaciones	33
3.	Resultados	36
3.1.	Nueva región de detección en la red FRIPON	36
3.2.	Detecciones de bólidos hasta la fecha	37
3.3.	Problemas de software y hardware	38
3.4.	Publicación del proyecto como artículo científico y presentación en conferencia internacional de meteoros	39
4.	Conclusión y Futuro	41
	Bibliografía	44

Índice de Ilustraciones

1.1.	Boceto que muestra el proceso de detección de bólidos, la necesidad de dos o más estaciones y la diferencia entre meteoroides, meteoros y meteoritos. [5] . . .	7
1.2.	Despliegue de la red FRIPON en el mundo. [5]	8
2.1.	Modelo de proceso simplificado en la investigación astronómica.	9
2.2.	Diagrama de los componentes de una estación FRIPON.	12
2.3.	Computador de escritorio (izquierda) y NUC (derecha).	13
2.4.	Switch modelo TP-Link TL-SG-2210P v1 utilizado en las estaciones FRIPON de Chile	14
2.5.	Estructura interna de una cámara FRIPON [5].	15
2.6.	Diagrama de conexión de componentes de la estación FRIPON.	16
2.7.	Ensamblaje metálico de soporte para la cámara (estación Calama).	17
2.8.	Cámara fijada en un asta (estación de Tierra Amarilla).	18
2.9.	Cámara fijada sobre una superficie (estación de Calama).	18
2.10.	Demostración del software Pylon Viewer para configuración de las cámaras FRIPON.	21
2.11.	Plataforma LDAP con el registro de algunas estaciones de la red FRIPON en Chile.	22
2.12.	Ejemplo del estado de algunos parámetros de las estaciones FRIPON en la plataforma ICINGA.	22
2.13.	Estadísticas del conjunto de estaciones en la plataforma Ganglia.	23
2.14.	Interfaz de instalación de Debian.	25
2.15.	Instalaciones del Observatorio El Sauce, Región de Coquimbo.	30
2.16.	Cámara FRIPON perteneciente a la estación instalada en Cerro Calán, región metropolitana.	31
2.17.	Colegio Chuquicamata, Calama.	32
2.18.	Instalación de una cámara FRIPON en uno de los techos del colegio Chuquicamata.	32
2.19.	Estante con el switch y computador de la estación Calama.	33
2.20.	Laguna Santa Rosa, cuenca endorreica del salar Maricunga.	33
2.21.	Cámara de la estación Laguna Santa Rosa.	34
2.22.	Instalación de la cámara FRIPON de la estación Tierra Amarilla.	35
2.23.	Instalación de cámara FRIPON perteneciente a la estación en Inca de Oro.	35
3.1.	Mapa de la zona norte de Chile y Argentina, con las estaciones instaladas y proyectadas. [1]	37

3.2. Mapa de la zona centro de Chile y Argentina, con las estaciones instaladas y proyectadas. [1]	38
3.3. Mapa de la patagonia chilena con las dos estaciones más australes de la red.	39
3.4. Trayectoria y ubicación final estimada de bólido detectado el 11 de Julio de 2024.	40

Introducción

0.1. Identificación del Problema

El primer concepto a considerar para entender el origen del problema a tratar, que es el que da sentido y propósito al proyecto, son los **bóolidos**, los cuales son fenómenos luminosos prominentes producidos por el roce de con la atmósfera de meteoroides (rocas espaciales) de tamaño contundente provenientes desde el espacio exterior a velocidades del orden de decenas de kilómetros por segundo. Los datos obtenidos tienen la finalidad de ser usados para calcular, mediante algoritmos y modelos físicos, la posible ubicación del o los fragmentos de la roca que sobrevivió a la ablación por el roce atmosférico, estos fragmentos se conocen como meteoritos.

Los meteoritos tienen una gran importancia en la astronomía y las ciencias por varias razones:

- **Ventana al pasado:** Los meteoritos son remanentes de la formación temprana del sistema solar, lo que los convierte en fósiles cósmicos. Al estudiar su composición y estructura, los científicos pueden obtener información sobre las condiciones que prevalecían en el sistema solar hace miles de millones de años. Esto es fundamental para comprender cómo se formaron los planetas y otros cuerpos celestes.
- **Composición química:** Los meteoritos pueden ser ricos en minerales y compuestos químicos que no se encuentran en abundancia en la Tierra. Estudiar su composición química puede proporcionar información valiosa sobre los elementos y compuestos presentes en el sistema solar, lo que a su vez puede tener implicaciones para la química y la geología planetaria.
- **Orígenes de la vida:** Algunos científicos creen que los meteoritos podrían haber transportado compuestos orgánicos o incluso microorganismos desde otros lugares del sistema solar o incluso de otros sistemas estelares. Estudiar los meteoritos puede ayudar a investigar la posibilidad de que la vida se haya originado o dispersado a través de impactos de meteoritos.
- **Identificación de asteroides y cometas:** El estudio de los meteoritos también ha permitido a los astrónomos relacionar ciertos tipos de meteoritos con asteroides y cometas específicos. Esto es importante para comprender la composición de estos objetos y sus órbitas, lo que a su vez es esencial para evaluar el riesgo de impacto de asteroides en la Tierra y para futuras misiones de exploración espacial.

Para que todo lo anterior sea posible, es necesario rescatar los meteoritos en el estado más

puro posible. Sin embargo, la contaminación de los meteoritos por las condiciones terrestres es un problema importante en la investigación científica. Cuando un meteorito impacta en la Tierra, está sujeto a una serie de procesos y factores que pueden alterar su composición y estructura originales. Algunos de los problemas que supone esta contaminación incluyen:

- Oxidación: Los meteoritos a menudo contienen metales y minerales que son sensibles a la oxidación cuando entran en contacto con la atmósfera terrestre. Esto puede alterar la composición química del meteorito y dificultar la identificación de los minerales y compuestos originales.
- Contaminación biológica: La Tierra está llena de microorganismos, y los meteoritos que permanecen en la superficie terrestre durante un período prolongado pueden ser colonizados por bacterias y otros microbios. Esto puede introducir material biológico en el meteorito, lo que complica su estudio y dificulta la determinación de su origen extraterrestre.
- Contaminación química: La interacción con la Tierra puede llevar a la incorporación de elementos químicos terrestres en el meteorito. Esto puede hacer que sea difícil distinguir entre los elementos originales del meteorito y los que se han agregado a través de la contaminación.
- Intemperismo: La exposición a las condiciones meteorológicas terrestres, como la lluvia, la humedad y la temperatura, puede desgastar la superficie del meteorito y alterar su estructura. Esto puede dificultar la preservación de las características físicas originales del meteorito.

Como búsqueda de solución al problema anterior y para recuperar los meteoritos en el estado más puro posible, es que nace el proyecto FRIPON (Fireball Recovery and InterPlanetary Observation Network) una iniciativa internacional de origen francés que tiene como objetivo la detección y recuperación de meteoritos frescos y prácticamente puros, lo que convierte en un esfuerzo fundamental en la investigación de meteoritos. FRIPON se ha centrado en el desarrollo de una red de cámaras y estaciones de observación distribuidas en diferentes ubicaciones para monitorear la entrada de meteoroides en la atmósfera terrestre y rastrear su trayectoria [2].

No obstante, existe un problema en el despliegue de esta red, y es que debido a que las redes completas sólo están desplegadas en el hemisferio norte (hay estaciones en el otro hemisferio pero son individuales y no conforman una región de detección), significa que la red FRIPON tiene una cobertura geográfica desigual, dejando regiones del hemisferio sur con una escasa o nula capacidad de detección. Esto crea un sesgo en la recopilación de datos y la recuperación de meteoritos, ya que no se monitorean ni recuperan meteoritos con la misma eficiencia en todo el mundo.

La falta de datos sobre la entrada de meteoroides en la atmósfera en el hemisferio sur puede dificultar la comprensión completa de la distribución y características de los meteoroides en todo el planeta. Esto puede llevar a una comprensión sesgada de la población de meteoroides y su impacto potencial en diferentes regiones.

La recuperación de meteoritos frescos es valiosa para la investigación científica, y al centrar-

se principalmente en el hemisferio norte, se pueden perder oportunidades importantes para recolectar meteoritos en el hemisferio sur. Esto podría limitar la disponibilidad de meteoritos prácticamente puros para el estudio.

Este es el problema principal sobre el cual nace y se basa la mayoría del proyecto de extensión de la red FRIPON a Chile, y justifica el tema del trabajo a título que se está llevando a cabo.

0.2. Formulación del Problema

El problema que justifica el proyecto se relaciona con la investigación científica sobre meteoritos y su importancia en la astronomía y las ciencias. Los meteoritos son fuentes valiosas de información sobre la formación temprana del sistema solar, la composición química del espacio, los posibles orígenes de la vida y la identificación de asteroides y cometas. Sin embargo, la contaminación terrestre de los meteoritos compromete su integridad y dificulta su estudio. La contaminación incluye la oxidación de minerales, la colonización por microorganismos, la incorporación de elementos químicos terrestres y el deterioro causado por el clima.

El proyecto FRIPON (Fireball Recovery and InterPlanetary Observation Network) se ha desarrollado para abordar este problema al detectar y recuperar meteoritos frescos y prácticamente puros. Sin embargo, existe un desequilibrio en la cobertura geográfica de la red FRIPON, ya que está principalmente desplegada en el hemisferio norte, dejando al hemisferio sur con una capacidad de detección limitada o nula. Esto crea un sesgo en la recopilación de datos y la recuperación de meteoritos, lo que afecta la comprensión de la población de meteoroides en todo el planeta y limita la disponibilidad de meteoritos para la investigación en el hemisferio sur.

Por lo tanto, el problema central que justifica el proyecto de extensión de la red FRIPON a Chile es la desigualdad en la cobertura geográfica de la red, que impide la detección y recuperación eficiente de meteoritos en el hemisferio sur, lo que a su vez limita el acceso a meteoritos prácticamente puros y restringe su comprensión global.

0.3. Objetivos del trabajo de título

0.3.1. Objetivo general

Se busca llevar a cabo el despliegue de nueve estaciones de detección de bólidos para la red FRIPON a lo largo de Chile, además de una estación en Argentina.

Para lo anterior, se busca además, determinar procedimientos generales para configurar cada componente de la estación, en un contexto inexplorado de disponibilidad en el mercado, logística, versiones, obsolescencia, actualizaciones e incompatibilidades.

Además, como consecuencia de los procedimientos utilizados y adaptados al contexto local, se busca que este proyecto de título sirva como guía para futuras misiones de expansión de

la red en cualquier parte del mundo.

0.3.2. Objetivos específicos

De acuerdo con los objetivos anteriores, se establecen los siguientes objetivos específicos, los cuales, exceptuando la búsqueda de procedimientos, pueden no necesariamente ejecutarse en el orden mostrado:

- Establecer nuevos procedimientos de configuración en instalación que permitan ensamblar estaciones operativas para la red FRIPON desde Chile
- En una primera etapa, preparar y ejecutar misiones de instalación en el norte grande de Chile, específicamente en Calama, Inca de Oro, Laguna Santa Rosa y Tierra Amarilla.
- En una segunda etapa, preparar y ejecutar misiones de instalación en Santiago y Observatorio El Sauce. En una tercera etapa, preparar y ejecutar misiones de configuración para las estaciones de Punta Arenas, Puerto Williams y Mendoza.
- Recopilar cada procedimiento, antecedentes de las misiones de instalación, formas de resolución de fallas y características de los dispositivos utilizados con el fin de formular la memoria de título a modo de guía para futuros proyectos de expansión de la red FRIPON a otros lugares del mundo.

Capítulo 1

Revisión de la Literatura

1.1. Marco Teórico

1.1.1. Detección de bólidos

La detección de bólidos se lleva a cabo mediante cámaras con lentes ojo de pez, que son dispositivos diseñados para monitorear el cielo nocturno en busca de objetos que entren en la atmósfera de la Tierra y generen destellos luminosos. Estas cámaras tienen la capacidad de capturar una vista completa del cielo visible en una sola imagen gracias a sus lentes de gran angular, lo que las hace ideales para detectar eventos astronómicos rápidos como los bólidos.

Una característica esencial de estas cámaras es su sensibilidad a la luz, ya que están diseñadas para capturar incluso los objetos astronómicos más tenues. Esto es importante para fenómenos poco brillantes como meteoros, aunque para bólidos se ajusta la ganancia para evitar la saturación de la imagen, dado su gran brillo. Para lograr una cobertura efectiva del cielo, estas cámaras a menudo graban de manera continua durante toda la noche, lo que permite la captura de eventos inesperados como bólidos que pueden ocurrir en cualquier momento.

El procesamiento de imágenes es una parte fundamental del proceso de detección de bólidos. Después de capturar las imágenes, se utiliza software especializado para identificar destellos luminosos en las imágenes y determinar su posición en el cielo. Además, muchas redes de detección de bólidos utilizan múltiples cámaras ubicadas en diferentes lugares geográficos para aumentar la cobertura del cielo. Esto permite una mejor triangulación y determinación de la trayectoria de un bólido, lo que es crucial para estimar su órbita y origen [4].

1.1.2. Modelos físicos sobre la dinámica

Para calcular la posición de caída de los meteoritos utilizando datos de cámaras y realizar estimaciones precisas de su trayectoria y punto de impacto, se aplican varios modelos físicos y matemáticos.

Estos modelos tienen en cuenta la física fundamental de los objetos en movimiento en la atmósfera. En un nivel básico, se puede modelar la trayectoria de un meteorito en la atmósfera

utilizando las ecuaciones de movimiento de un proyectil, que consideran la gravedad, la resistencia del aire y la velocidad inicial del meteorito. La velocidad y la dirección del meteorito son datos clave que se obtienen de las observaciones de las cámaras.

Además, se utilizan modelos de resistencia del aire que tienen en cuenta la forma y la densidad del meteorito, así como su velocidad y la densidad del aire en diferentes altitudes de la atmósfera. Estos modelos ayudan a estimar la aceleración debida a la resistencia del aire y cómo afecta la trayectoria del meteorito. La ablación, que es la pérdida de material debido a la fricción con la atmósfera, y la radiación térmica también se consideran en estos modelos.

La distribución de masas del meteorito y su cambio durante la entrada atmosférica también se tienen en cuenta. Para realizar estimaciones precisas de la posición de caída, se recurre a métodos de simulación de Monte Carlo. Estos métodos generan múltiples trayectorias posibles del meteorito teniendo en cuenta las incertidumbres en los datos y los parámetros del modelo. Así, es posible obtener una distribución de posibles puntos de impacto y estimar la probabilidad de que el meteorito caiga en una ubicación particular. En resumen, estos modelos y técnicas permiten calcular la posición de caída de los meteoritos teniendo en cuenta las complejidades de su entrada en la atmósfera y su desintegración. La combinación de datos de cámaras con modelos físicos sofisticados es esencial para la investigación de meteoritos y la estimación de puntos de impacto potenciales en la Tierra [3].

1.1.3. Red de detectores de bólidos

Las redes de estaciones de detección de bólidos son sistemas distribuidos que utilizan múltiples cámaras ubicadas en diferentes lugares geográficos para aumentar la cobertura del cielo y mejorar la capacidad de detectar y rastrear bólidos. Estas redes desempeñan un papel crucial en la detección y estudio de bólidos y meteoros, proporcionando datos valiosos sobre su frecuencia, trayectoria, composición y otros parámetros importantes.

La necesidad de utilizar dos o más cámaras que detecten un bólido simultáneamente radica en la triangulación, un principio fundamental en la detección y el seguimiento de objetos en el cielo. Una sola cámara puede detectar un bólido, pero no puede proporcionar información precisa sobre su trayectoria o su ubicación en el cielo. Para determinar la posición y la trayectoria de un bólido con mayor precisión, se requieren múltiples puntos de observación, lo que se logra mediante la triangulación.

Al tener múltiples puntos de vista, es posible calcular la posición tridimensional del bólido en el espacio, en lugar de simplemente su posición en el campo de visión de una cámara.

La presencia de múltiples puntos de observación permite calcular la trayectoria del bólido con mayor precisión. Esto incluye la velocidad, la altitud y la dirección del bólido, lo que proporciona información valiosa sobre su órbita y su origen. La redundancia de los datos (3

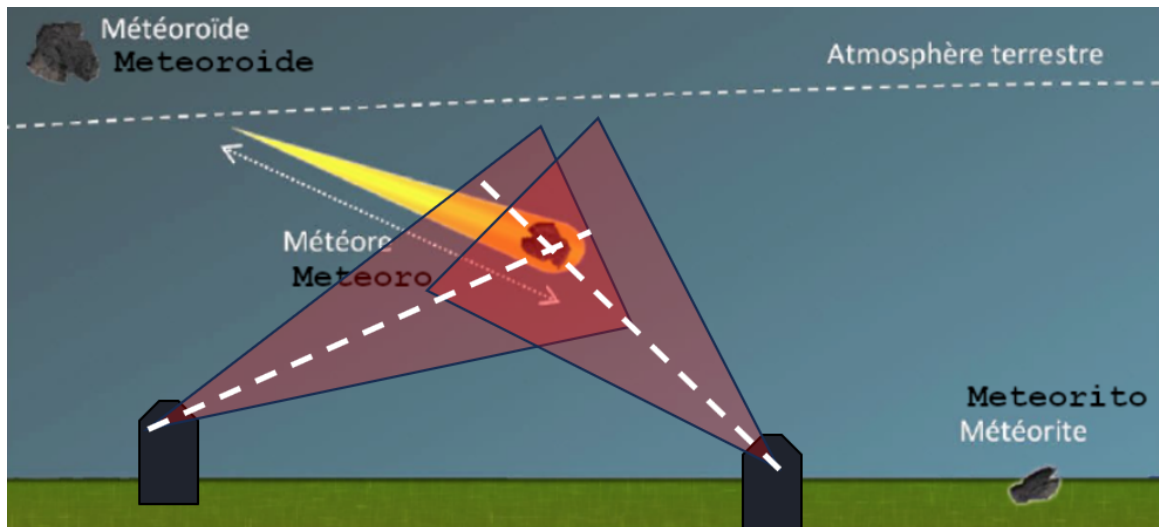


Figura 1.1: Boceto que muestra el proceso de detección de bólidos, la necesidad de dos o más estaciones y la diferencia entre meteoróide, meteoro y meteorito. [5]

o más cámaras) permiten también de llevar a cabo una mejor sincronización de los tiempos de las diferentes cámaras.

1.2. Estado del Arte

1.2.1. Sobre las estaciones de detección de bólidos

Actualmente existen varias iniciativas de investigación de meteoritos que se basan en redes de detección de bólidos.

Ninguna de ellas implementadas o extendidas en Chile. A saber, se tienen las siguientes:

- **American Meteor Society (AMS):** La AMS opera una red de estaciones de detección de bólidos en los Estados Unidos y en otros lugares del mundo. Utilizan cámaras y otros instrumentos para recopilar datos sobre eventos astronómicos como bólidos y meteoros. Además de la detección, la AMS trabaja en la educación y concienciación pública sobre estos fenómenos.
- **NASA All Sky Fireball Network:** La NASA opera una red de cámaras en los Estados Unidos para la detección de bólidos y meteoros. El objetivo de esta red es proporcionar datos precisos para el estudio de objetos cercanos a la Tierra y mejorar la comprensión de los impactos potenciales de asteroides.
- **FRIPON (Fireball Recovery and InterPlanetary Observation Network):** Esta red de detección de bólidos se encuentra en Europa y está diseñada para rastrear y estudiar bólidos en el cielo nocturno. FRIPON utiliza una red de cámaras ubicadas en diferentes países europeos para recopilar datos y estimar la órbita de los meteoroides.
- **Canadian Automated Meteor Observatory (CAMO):** CAMO opera una red de cámaras en Canadá y ha colaborado con otras organizaciones en todo el mundo para la detección y estudio de bólidos. Sus cámaras han capturado eventos espectaculares y proporcionan información importante sobre la actividad de meteoroides.

- **Global Meteor Network (GMN):** GMN es una red global de estaciones de detección de bólidos que consta de múltiples cámaras ubicadas en diferentes partes del mundo. El objetivo de GMN es rastrear y estudiar meteoroides en todo el planeta para comprender mejor su origen y comportamiento.

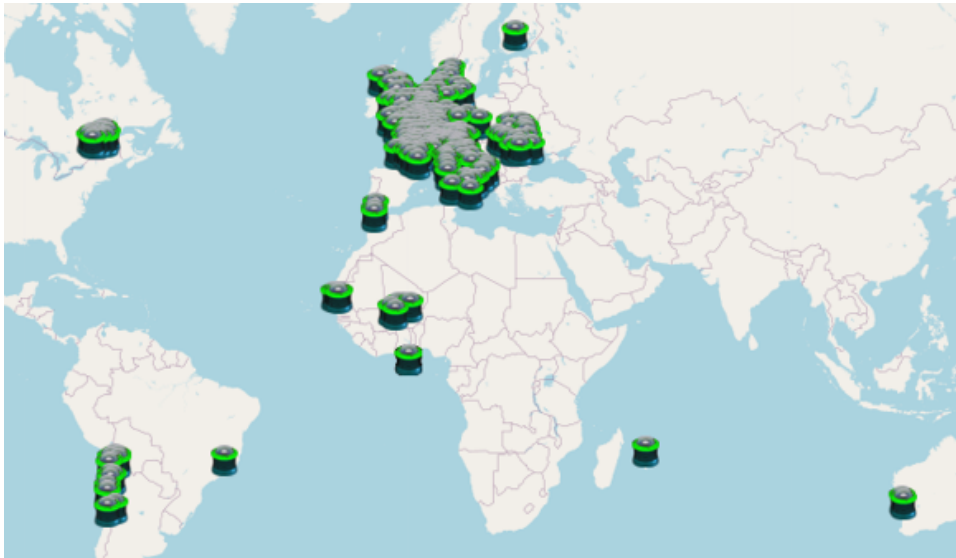


Figura 1.2: Despliegue de la red FRIPON en el mundo. [5]

La red FRIPON, por ejemplo, que es una de las más extendidas en el mundo, no contempla redes grandes en el hemisferio sur, como se ve en la figura 1.2, aquellas sólo son individuales. Es despliegue que se ve en Chile es precisamente por causa de la ejecución del proyecto en cuestión del trabajo de título.

1.2.2. Proyectos Chacana y All-7-Sky

Actualmente, en Chile, los dos principales proyectos de redes de detección de bólidos son el proyecto Chacana y el All-7-Sky.

El proyecto Chacana es una iniciativa chilena para constituir una red con conocimientos y recursos locales, está ideada por el Centro de Astroingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Sin embargo, esta red sólo tiene un par de cámaras que no constituyen una red completa y está aún en fase experimental.

Por otra parte, el proyecto All-7-Sky es de origen estadounidense, y se basa en una cúpula que contiene 7 cámaras de campo plano que cubren la mayoría del cielo.

Si bien este proyecto no es experimental, sino que tiene un exitoso funcionamiento donde está desplegado, no se encuentra en masa en Chile, contando con pocas unidades para un estudio experimental del funcionamiento y la viabilidad de instalar más de estas.

En definitiva, en Chile no hay ninguna red de estaciones de detección de bólidos que se encuentre desplegada masivamente, ninguna constituye una región completa de detección y por lo tanto no cumplen el propósito fundamental de recuperar meteoritos una vez detectados.

Capítulo 2

Materiales y Métodos

2.1. Metodología

El modelo de proceso que da origen a la metodología, y coincide con las directrices fundamentales del proyecto, así como la naturaleza a la que pertenece, es el que se muestra en la figura 2.1.

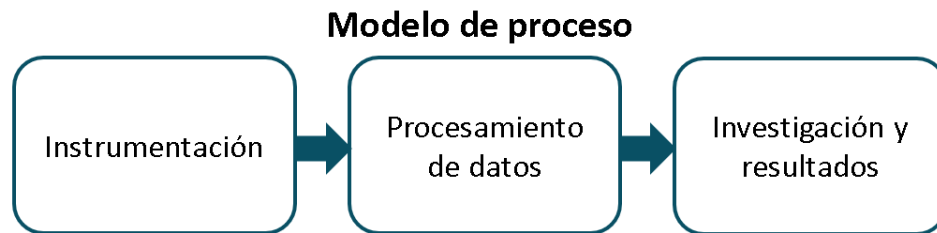


Figura 2.1: Modelo de proceso simplificado en la investigación astronómica.

El modelo de proceso que involucra instrumentación, procesamiento de datos y la interpretación para la investigación es fundamental en la comprensión de fenómenos celestes como la detección de bólidos, como en el proyecto de la red FRIPON, a lo largo de toda la cadena de procesos que se ha ido desarrollando a lo largo de toda la historia de las ciencias y la astronomía.

El contexto de Investigación y Desarrollo en la metodología para llevar a cabo el proyecto de instalación de cámaras de detección de bólidos es fundamental para impulsar la innovación, la mejora continua y la generación de conocimiento en este campo específico de la astronomía.

Se busca no solo implementar tecnologías existentes, sino también explorar nuevas posibilidades, desarrollar mejoras significativas y avanzar en la comprensión científica. Este enfoque implica una mentalidad de investigación activa y experimentación.

Considerando la naturaleza del proyecto, es la razón por la que el enfoque metodológico elegido es el mostrado anteriormente, de carácter cuantitativo y experimental.

Un enfoque metodológico de este tipo para el proyecto de instalación de cámaras de detección de bólidos de la red FRIPON en Chile implica la aplicación de principios científicos y análisis cuantitativos para investigar y comprender fenómenos astronómicos.

Este enfoque metodológico se basa en la que es usada en la totalidad de los proyectos relacionados con la red FRIPON, entre los que se encuentran los trabajos de los principales investigadores de la red FRIPON (véase Referencias).

En un proyecto de implementación de cámaras de detección de bólidos como parte de la red FRIPON, existen diversos riesgos y restricciones de recursos y tiempo que pueden afectar:

- Riesgos ambientales y de ubicación: la elección de ubicaciones estratégicas para las cámaras puede enfrentar desafíos como condiciones climáticas extremas, obstrucciones naturales (como árboles o edificios), o restricciones de acceso que pueden limitar la eficacia de la detección.
- Restricciones de recursos financieros: la adquisición de equipos especializados, el mantenimiento de las cámaras, los costos de infraestructura y el personal capacitado pueden representar desafíos financieros significativos. Limitaciones presupuestarias podrían afectar la escala del proyecto o la calidad de los equipos instalados.
- Restricciones de tiempo: los plazos establecidos para la implementación pueden ser ajustados, aunque depende fundamentalmente de los plazos exigidos por el directorio del proyecto.

2.1.1. Análisis y técnicas para el desarrollo del proyecto

Considerando un proyecto donde se busca poner a disposición de la investigación científica, es definitivamente importante cumplir con los requerimientos exigidos que estén al nivel. Por esta razón, es que se ejecuta el proyecto desde las bases de las siguientes técnicas:

- Preparación e implementación de tecnología de investigación: consiste en una planificación estratégica del conjunto de procedimientos y elementos necesarios para llevar a cabo la preparación y posterior implementación de tecnología en general, comenzando por definir las directrices y adquiriendo todo lo necesario (insumos, equipos, capital humano, recursos, etc.) hasta ejecutando la implementación y una posterior evaluación de desempeño.

La etapa de implementación en sí misma implica la ejecución cuidadosa de los planes elaborados, poniendo en marcha los procedimientos y utilizando los recursos adquiridos de manera óptima. Durante este proceso, se monitorea de cerca cada fase para asegurarse de que se cumplan los objetivos establecidos y se ajusta según sea necesario para abordar desafíos imprevistos.

- Estadísticas y análisis de desempeño: la retroalimentación es fundamental y obligatoria si se desea conseguir el máximo provecho del proyecto, ya que al definir métricas de evaluación sobre el desempeño de las implementaciones, es posible obtener una diver-

alidad de indicadores especialmente diseñados para conocer la efectividad del proyecto.

Las estadísticas y el análisis de desempeño ofrecen una visión detallada de cómo se desarrolla el proyecto en relación con sus objetivos iniciales. Al recopilar datos relevantes, se puede trazar un mapa preciso del progreso, identificar áreas de mejora y reconocer los puntos fuertes. Esto no solo permite medir el éxito actual, sino que también proporciona información valiosa para decisiones futuras.

Por otra parte, se considera adicionalmente la tasa de detección de cada estación, es decir, falsas alarmas, no detecciones y las detecciones efectivas.

Se examinan aspectos clave como la calidad de las imágenes capturadas, la precisión en la detección de bólidos, la cobertura geográfica y cualquier otro parámetro relevante,

A partir de estos datos, se identifican áreas donde se pueden realizar mejoras. Esto puede incluir ajustes en la configuración de las cámaras, optimización de la ubicación de los dispositivos para maximizar su eficacia, o incluso actualización de software para mejorar la precisión y velocidad en la detección.

2.2. Materiales

2.2.1. La estación FRIPON

La unidad básica de obtención de datos e información científica de interés para el proyecto FRIPON es la estación de detección, ya que aquellos equipos son los ojos que miran al cielo sin pausas con el fin de detectar y registrar la entrada de meteoroides en la atmósfera terrestre. Estas estaciones funcionan de manera autónoma, formando una red global que sondea el cielo a la espera de detectar fenómenos de interés, esencialmente bólidos.

Cada estación está estratégicamente ubicada para maximizar la cobertura del cielo, utilizando cámaras cuyos lentes ojo de pez cubren la totalidad de la cúpula celeste y computadores dedicados para detectar, procesar y enviar datos significativos.

La información recopilada no solo identifica la presencia de bólidos, sino que también permite determinar su trayectoria, velocidad y otros parámetros importantes, con los que es posible llevar a cabo tareas tan importantes como recuperar fragmentos de meteoritos que hayan sobrevivido a la entrada atmosférica o también estimar la órbita del antes meteoroides, así dando con su origen [3].

Para llevar exitosamente a cabo su función como unidad de detección, procesamiento y envío de datos, las estaciones FRIPON se componen de tres elementos esenciales. Un computador, un switch y una cámara (figura 2.2).

Tanto el computador como el switch requieren conexión eléctrica desde un toma corrientes. Mientras que la cámara recibe energía mediante un cable ethernet PoE (Energía en Ethernet). El switch es el componente que conecta el computador con la cámara y envía los datos mediante conexión LAN a la central de almacenamiento y procesamiento en los servidores ubicados en Marsella, Francia.

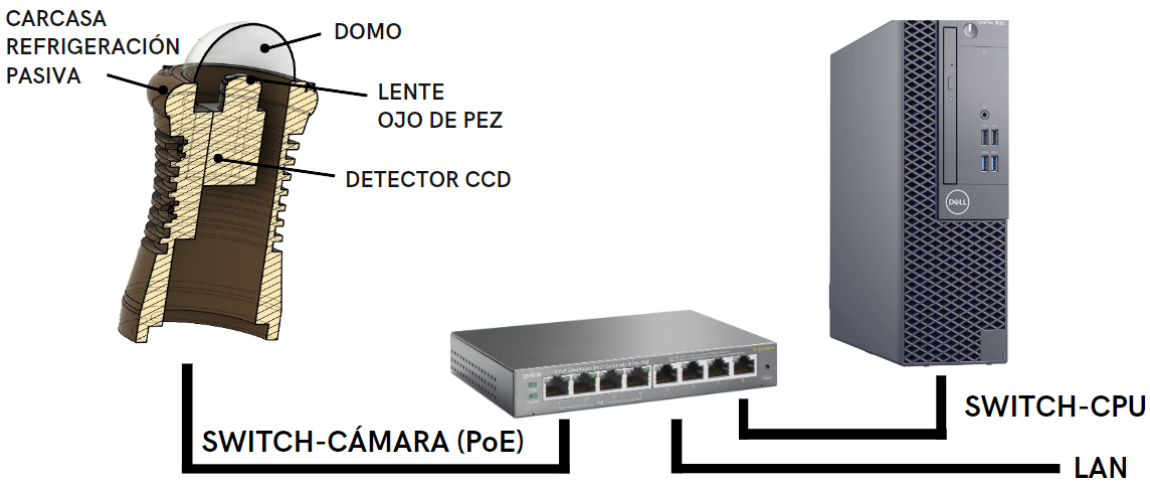


Figura 2.2: Diagrama de los componentes de una estación FRIPON.

2.2.2. Software de FRIPON

Cada componente de una estación FRIPON ejecuta su función correctamente y en el momento en que se necesita a través del software desarrollado y mantenido por el equipo de la red, el cual se encarga de gestionar y ejecutar todas las funciones principales de una estación, con el fin de enviar datos de interés al centro de almacenamiento en Marsella, Francia.

Al momento de realizar un nuevo procedimiento de configuración de estaciones, se comienza por instalar el sistema operativo Debian en el computador, y en las opciones de instalación de este, se introduce el enlace de descarga del software diseñado para efectuar las funciones de detección, procesamiento y envío de datos. La mayor parte del software es común para todas las estaciones, mientras que cada enlace de instalación es único según el código de estación, ya que cada una es distinta y sus parámetros son diferentes, por ejemplo, por ubicación geográfica, hospedador, características de los equipos instalados, etc.

El sistema operativo Debian se instala sin un entorno gráfico, ya que solo se necesita el terminal para introducir comandos. La ventaja de Debian es que tiene los requerimientos necesarios para soportar las rutinas diseñadas para la operación de la estación y además es gratis y de código abierto.

Al momento de crear una estación FRIPON y registrarla, se genera automáticamente el código completo para ser instalado. En el momento del primer arranque, la nueva estación se conecta a una VPN, y luego de una configuración remota automática, la estación está visible y conectada con la red.

2.2.3. Software de detección de bólidos

Freeture es un software libre de detección de meteoros de código abierto (bajo la licencia GPL v3) con el cual se monitorea el cielo a través de cámaras para detectar y registrar bólidos.

Es portátil y multiplataforma (Linux, Windows). Fue, en principio, desarrollado para el proyecto FRIPON, aunque el software puede ser utilizado en cualquier estación equipada con una cámara GigE.

Entre sus características principales, se tiene:

- Soporte para cámaras GigE (ha sido probado con las cámaras Basler acA1300-30gm y DMK 23G445)
- Soporte para cámaras USB2.0
- Cálculo de efemérides del Sol
- Modos de detección de meteoros nocturnos y diurnos (experimental)
- Posibilidad de realizar adquisiciones de exposiciones largas
- Posibilidad de apilar fotogramas para mantener un registro de imágenes pasadas

FreeTure envía un correo electrónico cada vez que se detecta un evento. En la red FRIPON, se envía a un servidor central, y los datos locales apilados se transfieren automáticamente a la instalación de almacenamiento central cuando es necesario. Las imágenes se disponen en el repositorio de datos de FRIPON.

2.2.4. Computador

El computador es un componente esencial en una estación FRIPON, ya que se encarga de múltiples funciones críticas que aseguran el correcto funcionamiento.

El computador recibe las imágenes capturadas por la cámara y las procesa. Utiliza el software previamente instalado para detectar eventos de interés como meteoros y bólidos.

Una vez procesadas, las imágenes y los datos asociados se almacenan localmente en el computador. El almacenamiento incluye archivos en formato FITS, el cual es común en astronomía como formato para datos de imágenes. La capacidad de almacenamiento del computador para datos es de 1 Tb y permite mantener un respaldo y registro constante.



Figura 2.3: Computador de escritorio (izquierda) y NUC (derecha).

El computador coordina todas las tareas operativas de la estación, como la captura de imágenes hasta el procesamiento y la transmisión de datos. Gestiona el funcionamiento de la cámara, para que las imágenes se tomen en los intervalos correctos y que se realicen las exposiciones necesarias.

La presencia de un computador en la estación FRIPON añade una capa adicional de seguridad y redundancia. En caso de fallos en la comunicación con el servidor central, el computador puede almacenar temporalmente los datos hasta que se restablezca la conexión. Esto asegura que ninguna información valiosa se pierda debido a interrupciones temporales en la red.

El computador se utiliza en dos formatos para las estaciones FRIPON. Antiguamente se utilizaba un NUC (Next Unit of Computing) que consiste en un computador de tamaño pequeño y compacto, con capacidades de ahorro de energía y batería interna en algunos casos (figura 2.3). Sin embargo, el modelo requerido fue descontinuado por el fabricante, lo que redujo su disponibilidad y obligó al proyecto a recurrir a los computadores de escritorio, de mayor tamaño y consumo, aunque con la ventaja de poseer mayor variedad, capacidad para modificar componentes internos y oferta en el mercado.

La red chilena utilizó dos modelos de computador, el Asus Prime H510M-E y modelos de NUC que fueron dados de baja desde otras estaciones renovadas o desinstaladas.

2.2.5. Switch

El switch de red tiene una importante función en una estación FRIPON, ya que actúa como el centro de comunicaciones que conecta la cámara con el computador y ambos con la red externa.



Figura 2.4: Switch modelo TP-Link TL-SG-2210P v1 utilizado en las estaciones FRIPON de Chile

El switch utilizado para las estaciones FRIPON es el modelo TP-Link TL-SG-2210P v1 (ver figura 2.4). Este se ha seleccionado tomando en cuenta su disponibilidad y compatibilidad con los archivos de configuración (formato `cfg`) con el que se programan.

Este switch admite 8 puertos PoE con una potencia total de 53 [W] y características de administración de energía, su tecnología de eficiencia energética que permite ahorrar hasta un 50 % del consumo.

2.2.6. Cámara de detección

Sin duda, la cámara es el elemento más importante para una estación de detección FRIPON, ya que es la fuente de entrada de datos con los que se llevan a cabo las detecciones y la obtención de información científica.

Las cámaras FRIPON se componen de un sensor CCD con lente ojo de pez, y una carcasa que lo protege y le provee refrigeración.



Figura 2.5: Estructura interna de una cámara FRIPON [5].

Entre las características principales, se tiene:

- Chip CCD: Sony ICX445 con 1296×964 píxeles y un tamaño de píxel de $3.75 \times 3.75 \mu m$.
- Lente de Cámara: Lente ojo de pez F/2 con una longitud focal de 1.25 mm.
- Escala de Píxel: 10 minutos de arco.
- Diseño de la Red:
 - Observación de bolas de fuego a altitudes entre 100 y 40 km.
 - Distancia media de 80 km entre cámaras para una triangulación óptima.
- Precisión Astrométrica: 1 minuto de arco (equivalente a 30 m a una distancia de 100 km).
- Precisión en la Trayectoria:
 - 20 m para la posición.
 - 100 m/s para la velocidad.
- Carcasa Especial:

- Sellada con una cúpula transparente para registrar imágenes de todo el cielo.
- Equipadas con un radiador pasivo para liberar el calor producido por la electrónica.
- Control de la Cámara:
 - Almacenamiento temporal de datos en el computador.
- Alimentación y Gestión Remota:
 - Uso de un único cable de alimentación sobre Ethernet (PoE) para transferencia de datos y alimentación.
 - Gestión remota a través de un switch TPLINK (TL-SG22110P o 1500G-10PS).
- Facilidad de Instalación:
 - Instalación y operación remota facilitadas.
 - Uso de cables de hasta 100 metros de longitud entre la cámara y el computador.

2.2.7. Conexión entre componentes

El switch es el elemento de hardware que conecta la cámara con el computador y comunica a la estación con la red, por lo que se ha establecido un orden en que se deben conectar los componentes.



Figura 2.6: Diagrama de conexión de componentes de la estación FRIPON.

Tal como se tiene en el diagrama de la figura 2.6, el switch dispone de puertos asignados. En este caso, el puerto 1 establece la conexión switch-computador, mientras que el puerto 3 o 4 pueden ser usados para la cámara. El puerto 8 es el puerto utilizado para la conexión a la red mediante LAN.

2.2.8. Ensamblaje

El ensamblaje de metal para unir una cámara FRIPON a un asta o a una superficie sólida es una pieza muy importante que garantiza la estabilidad, seguridad y flexibilidad de

la instalación. Este ensamblaje está diseñado para soportar condiciones ambientales de cada lugar y proporcionar una fijación precisa y segura.

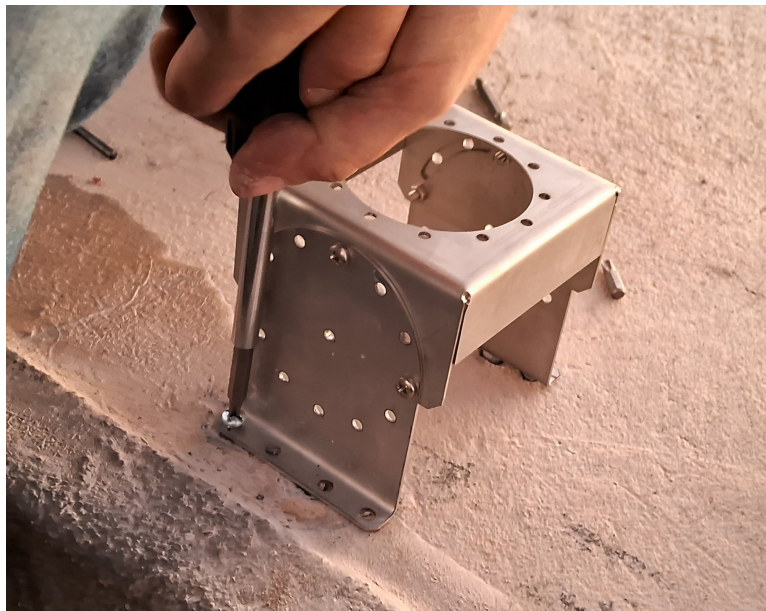


Figura 2.7: Ensamblaje metálico de soporte para la cámara (estación Calama).

Aquel ensamblaje está hecho de acero galvanizado cortado con láser, su forma y grosor es suficientemente rígido y resistente como para soportar el peso de la cámara y las condiciones ambientales que podrían provocar vibraciones y perturbaciones (figura 2.7).

El ensamblaje puede adaptarse según la estructura que la soportará mediante múltiples agujeros de ajuste, a través de los cuales se fijan pernos. Todos estos componentes pueden resistir la corrosión.

Antes de la instalación, se evalúa el sitio para determinar si se utilizará un asta rígido o una superficie sólida, y ajustar el ensamblaje según aquello.

Una vez instalado el ensamblaje de soporte, se realizan pruebas de estabilidad.

2.2.9. Estructura de soporte

Uno de los componentes estructurales más importantes para una cámara FRIPON en la estructura de soporte, ya que de esta dependerá la estabilidad y robustez ante las perturbaciones externas. La estructura de soporte debe ser robusta y capaz de resistir condiciones ambientales adversas, como vientos fuertes, lluvias y cambios de temperatura. Una base estable asegura que la cámara permanezca fija y evita cualquier movimiento que pueda afectar la calidad de las imágenes capturadas.

La estructura de soporte debe estar diseñada para minimizar las vibraciones que puedan ser inducidas por el entorno. Para esto, se busca el uso de materiales resistentes y rígidos, como tubos de metal y pilares de cemento. Todo a su vez, reforzado en las uniones y en las bases.



Figura 2.8: Cámara fijada en un asta (estación de Tierra Amarilla).

El ensamblaje permite realizar al menos dos formas de fijación a la estructura de soporte. A través de un asta rígido (2.8) o fijado directamente sobre una superficie sólida y robusta (2.9).



Figura 2.9: Cámara fijada sobre una superficie (estación de Calama).

Cada una tiene ventajas y desventajas, las cuales se mencionan a continuación:

Fijación de la Cámara a un Asta Rígido

- **Altura ajustable:** Permite elevar la cámara por encima de obstrucciones como árboles, edificios, cables o postes, asegurando una vista despejada del cielo.
- **Mejor cobertura:** Al aumentar la altura, se puede lograr una mayor cobertura del cielo..
- **Menor interferencia:** Al estar más elevada, la cámara puede estar menos expuesta a interferencias cercanas, como luces artificiales o movimientos de personas y vehículos.

- Flexibilidad de posicionamiento: Un asta rígido permite un posicionamiento más flexible en terrenos difíciles o irregulares donde una superficie plana puede no estar disponible.
- Mayor exposición al viento: Una cámara montada en un asta puede ser más susceptible a las vibraciones y movimientos inducidos por el viento, lo que puede afectar la estabilidad y la calidad de las imágenes.
- Mantenimiento más difícil: El acceso a la cámara para tareas de mantenimiento y ajustes puede ser más complicado y requerir equipo adicional, como escaleras o elevadores.
- Mayor costo de instalación: La instalación de un asta rígido puede ser más costosa y requerir más tiempo, especialmente si se necesita anclaje y refuerzo adicional para asegurar la estabilidad.

Fijación de la Cámara Directamente sobre una Superficie Sólida

- Estabilidad mejorada: Una cámara fijada directamente sobre una superficie sólida (como un techo o una plataforma construida) puede ser más estable y menos susceptible a vibraciones y movimientos, proporcionando imágenes más nítidas.
- Fácil acceso para mantenimiento: La cámara es más accesible para mantenimiento y ajustes, facilitando las tareas de limpieza, calibración y reparación.
- Menor exposición a elementos climáticos: Al estar más cerca del suelo o protegida por la estructura sobre la que está montada, la cámara puede estar mejor resguardada contra el viento y otras condiciones climáticas adversas.
- Costo de instalación menor: La instalación puede ser más simple y menos costosa, ya que no requiere estructuras adicionales como astas o postes.
- Cobertura limitada: La altura limitada puede restringir la cobertura del cielo, especialmente si hay obstrucciones cercanas que bloquean la vista.
- Mayor interferencia: Al estar más cerca del suelo, la cámara puede estar más expuesta a interferencias como luces artificiales, movimiento de personas o vehículos, y otras actividades cercanas.
- Menor flexibilidad en el posicionamiento: Puede ser más difícil encontrar una superficie sólida adecuada en todos los entornos, limitando las opciones de ubicación de la cámara.

2.2.10. Comunicación y envío de datos

Las estaciones de detección pertenecen al proyecto científico FRIPON y, por ende, son responsables de toda la red mundial de cámaras, las cuales son monitoreadas y controladas remotamente a través del servicio informático Pythéas (SIP, Universidad de Aix-Marseille, Francia). En la ciudad de Marsella es donde se almacenan y procesan los datos [5].

El procesamiento consiste en la reducción fotométrica y astrométrica de los datos recolectados de forma mensual, además de procesar diariamente las múltiples detecciones que entregan las cámaras de acuerdo con la constante ocurrencia de fenómenos de caída de fragmentos rocosos desde el espacio exterior.

Los datos provenientes de las estaciones son almacenados en dos formatos (con dos bases de datos): los datos brutos y los de nivel superior, es decir, con información relevante como

trayectorias y órbitas calculadas.

Esta información se pone a disposición, sin restricción alguna, para todos los investigadores de la red. Adicionalmente, es posible solicitar el envío de datos a través de un canal de reducción diferente con tal de procesarlos de formas alternativas según las necesidades de los investigadores.

Las estaciones, para poder enviar sus datos al centro de almacenamiento, se valen de una conexión encriptada y segura, con lo que se tiene un envío de información confiable gracias a una VPN. De manera automática, una vez que el software de detección y procesamiento de alguna estación detecta un evento significativo, entonces determina la transmisión a través de una conexión LAN.

El hospedador de la estación es quien provee sus servicios vitales, como el internet, electricidad, seguridad y mantención, y por ende, la conexión a la red depende de la disponibilidad de aquel lugar. Esto es revisado y evaluado por el equipo técnico del país correspondiente, para determinar si la banda ancha y estabilidad es suficiente como para permitir una conexión razonable a la red.

Entre los mecanismos automáticos de la red, se encuentra la generación automática de reportes sobre eventos de interés. Con las rutinas de reducción, procesamiento y cálculo cuyas entrada son los datos brutos provenientes de las estaciones, se obtiene importante información del fenómeno detectado.

Con lo anterior, se formula un reporte que es enviado de manera automática al correo electrónico de investigadores y personal técnico interesado en indagar sobre la importancia científica del evento. Con esto, se pueden reunir mayores antecedentes ingresando a la base de datos del proyecto.

2.2.11. Software de trabajo en computador personal

Algunas plataformas son desarrolladas por el equipo de FRIPON para llevar a cabo tareas necesarias para gestionar e instalar nuevas estaciones, así como para procesar datos.

Sin embargo, la configuración de algunos equipos de hardware es más sencilla o alternativa en los programas desarrollados por los fabricantes.

Este es el caso del programa que permite probar y configurar parámetros de la cámara. La red FRIPON, como se ha mencionado en la sección 2.2.5, utiliza dos modelos de cámara de dos fabricantes distintos, DMK y Basler.

En el caso de DMK, la configuración se realiza mediante acceso remoto con SSH, con la cuenta asignada para modificar parámetros sobre los componentes de la estación.

En cambio, una manera más sencilla de cambiar la dirección IP de la cámara Basler es mediante su programa especialmente diseñado para utilizar su familia de cámaras. Dicho software es Pylon Viewer (figura 2.10), el cual permite realizar pruebas y modificaciones, ajustando parámetros técnicos y de conexión.

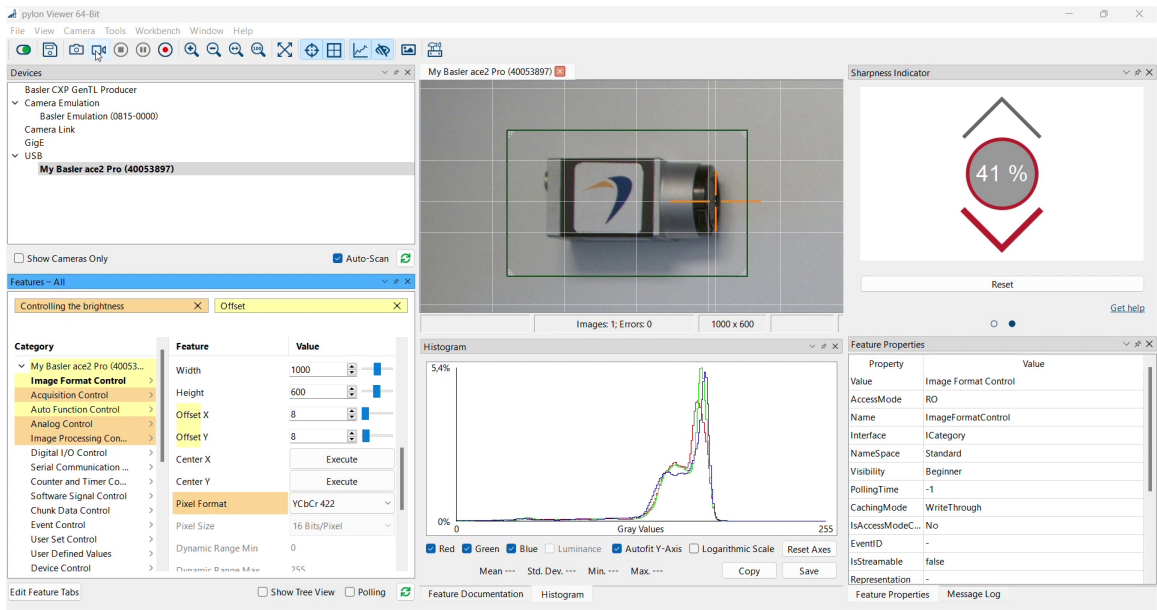


Figura 2.10: Demostración del software Pylon Viewer para configuración de las cámaras FRIPON.

2.2.12. Plataformas de gestión y monitoreo de estaciones

El equipo FRIPON se encargó de desarrollar un conjunto de plataformas sobre las cuales llevar a cabo distintas actividades rutinarias, entre las cuales se tiene el registro de nuevas estaciones, la configuración de sus parámetros, monitoreo de estado y estadísticas. Con esto, se mantiene un constante control sobre la red, con alertas en caso de fallos y diagnóstico.

Cuando se decide ejecutar el proyecto de instalación de una nueva estación, se debe registrar su creación en la plataforma en línea LDAP, cuya principal misión es contener el registro de los parámetros fundamentales de una estación, que serán necesarios para configurarla e instalarla, y posteriormente ejercer monitoreo y mantenimiento, ya que contiene el registro del personal a cargo.

Tal como se indica en la información introductoria de la página web LDAP, La base de datos LDAP permite al equipo técnico del proyecto FRIPON ponerse en contacto con las personas a cargo de una estación. Para cada una de ellas, permite sobre todo disponer de una visión sintética de las estaciones y de sus parámetros.

Todos los servicios de FRIPON requieren autenticación, por lo que se asigna una cuenta de acceso para cada integrante, tanto a investigadores como equipo técnico.

Como datos importantes sobre las estaciones en esta plataforma (ver figura 2.11), se tiene el código único de identificación, la localidad donde se aloja, estatus, y los detalles principales del hardware que la conforma, como el modelo de cámara, switch y computador, además de direcciones IP para las comunicaciones entre los componentes y con la central.

Otro importante servicio es ICINGA, consiste en una herramienta de código abierto pa-

Stations	Country	City	City real	Camera	Switch	IP VPN	Status	Private IP	Status IP
CLAN01	Chile	Paranal	Cerro Paranal - ESO	DMK 23G445	T1500G-10PS	10.8.100.2	Production	172.16.0.237	DHCP
CLAN02	Chile	Ckoiraima	Ckoiraima Observatory	BASLER TL-1300gm	SG2210P	10.8.3.148	NotOperational		
CLAN03	Chile	SanPedro	San Pedro de Atacama - SPACE	BASLER TL-1300gm	SG2210P	10.8.3.152	NotOperational		
CLAN04	Chile	Peine	Peine	BASLER TL-1300gm	SG2210P	10.8.3.156	NotOperational		
CLAN05	Chile	Baquedano	Baquedano	BASLER TL-1440gm	SG2210P	10.8.3.160	Production	10.17.89.173	DHCP
CLAN06	Chile	Calama	Calama	BASLER T1500G-1300gm	10PS	10.8.3.164	Production	130.1.0.134	DHCP
CLAT01	Chile	LagunaSantaRosa	Laguna Santa Rosa	BASLER T1500G-1300gm	10PS	10.8.5.42	Production	192.168.42.4	DHCP

Figura 2.11: Plataforma LDAP con el registro de algunas estaciones de la red FRIPON en Chile.

ra monitoreo de sistemas y redes. Permite supervisar la disponibilidad y el rendimiento de sistemas informáticos, redes y servicios de manera efectiva. Es utilizada por muchas organizaciones y proyectos para asegurar que sus infraestructuras tecnológicas funcionen de manera óptima y para detectar fallos.

Severity	Time	Problem	Host
CRITICAL	Jul 17 20:29	ping_camera on PuertoWilliams (CLMA02)	10.254.99.100
CRITICAL	Jul 17 20:29	check_aravis on PuertoWilliams (CLMA02)	
CRITICAL	Jul 17 20:05	freeture on PuertoWilliams (CLMA02)	
CRITICAL	Jul 11	check_snmp_tplink on IncaDeOro (CLAT03)	
CRITICAL	Jul 4	check_snmp_tplink on PuertoWilliams (CLMA02)	
UNKNOWN	Jun 25	check_snmp_tplink on Elsauce (CLCO04)	10.254.99.101:161

Figura 2.12: Ejemplo del estado de algunos parámetros de las estaciones FRIPON en la plataforma ICINGA.

En el caso de la red FRIPON, se ha adoptado esta plataforma con el fin de monitorear en tiempo real el estado de las estaciones. Una vez que se registra una nueva estación en la plataforma ICINGA, se tendrá su estado, y a su vez, cada estación contiene 19 "problemas". Es decir, el estado de 19 procesos que podrían fallar. A grandes rasgos, se tratan de las conexiones entre los componentes de la estación, como el switch con el computador, la cámara

con el switch y la conexión a la red. Así como el funcionamiento del computador, y sus rutinas de procesamiento.

Los problemas que pueden experimentar las estaciones pueden mostrar, dependiendo de la causa, la gravedad del estado (ver figura 2.12), desde que no sea posible determinar el origen del error, hasta que se trate de un problema crítico para el funcionamiento, y en algunos casos, automáticamente detallar la solución que se debe ejecutar.

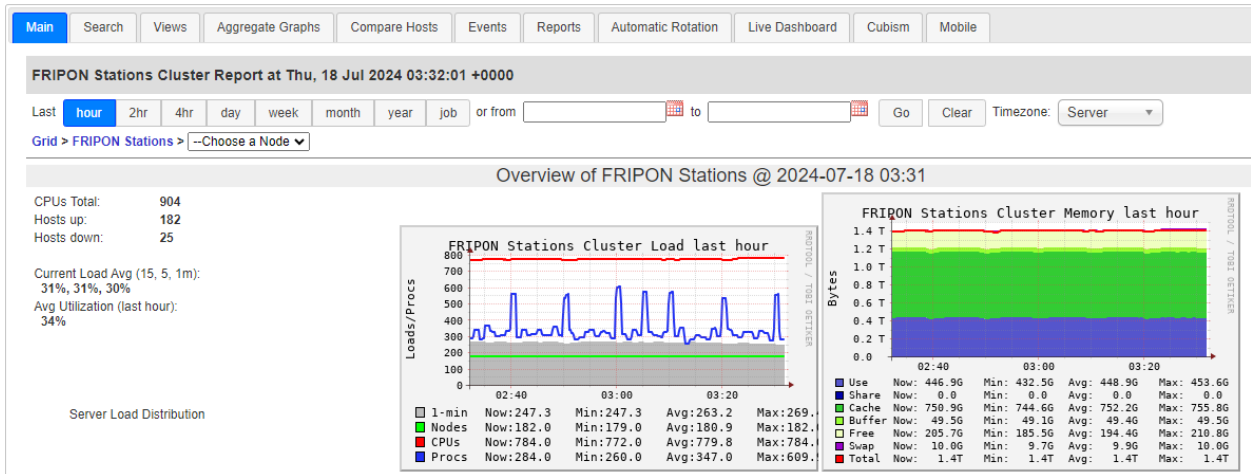


Figura 2.13: Estadísticas del conjunto de estaciones en la plataforma Ganglia.

Otra plataforma es Ganglia, de carácter más bien estadístico. Aquí, es donde se muestran estadísticas generales de todas las estaciones (figura 2.13), como por ejemplo, la actividad de las CPU de los computadores, así como la conexión a internet y la tasa de transferencia de datos en un cierto horizonte de tiempo.

2.3. Procedimiento

2.3.1. Planificación y creación de una nueva estación

Orden de despliegue de una nueva estación

Desde la administración central de FRIPON, compuesta por la directiva y el equipo de científicos y técnicos a cargo, se encomienda el despliegue de una o más estaciones en una cierta región del globo, con el fin de expandir el alcance de la red de detección y aumentar la capacidad de recolección de datos y la probabilidad de detectar y recuperar meteoritos.

Planificación preliminar de la ubicación

Para poder determinar la ubicación, se comienza desde las necesidades de expansión del proyecto, para luego determinar, a lo bruto, una región razonable que pueda contener la estación. Desde estas etapas se comienza la búsqueda de hospedadores para la cámara y se inicia un intercambio comunicacional con el fin de llegar a acuerdos con dueños o administradores de sitios con las condiciones requeridas para albergar una estación FRIPON, esto se conoce coloquialmente en el proyecto como "diplomacia".

Creación y registro de la nueva estación en LDAP, y en la plataforma de monitoreo ICINGA

El equipo técnico central añade una nueva estación en la plataforma de gestión de estaciones LDAP, la que contiene todos los parámetros asociados a la estación, como la ubicación, estado, hospedador, etc. Así como detalles técnicos de los componentes. Adicionalmente, registran la nueva estación en la plataforma de monitoreo de parámetros llamada ICINGA.

Solicitud de activación de la supervisión en ICINGA

Como personal técnico a cargo de la instalación y supervisión de ciertas estaciones, se debe pedir la activación de la supervisión de parámetros para efectuar el monitoreo en ICINGA, donde además, se puede ir revisando el funcionamiento de los componentes, las conexiones y la estabilidad durante el procedimiento de instalación.

2.3.2. Preparación de Equipos y Componentes

Adquisición de Hardware

Desde los proveedores mencionados y según las consideraciones detalladas en la sección 2.3, se adquiere el computador, que, dependiendo de la estación, es de gabinete o NUC, dependiendo principalmente del espacio disponible y la estabilidad o restricciones de energía. Adicionalmente se obtiene la cámara, el switch y el conjunto de ensamblaje y conexión que constituyen una estación FRIPON.

Se reúnen todas las herramientas y dispositivos necesarios para llevar a cabo el proceso de instalación, configuración y ensamblaje de una estación.

Verificación de Componentes

Se verifica que todos los componentes estén presentes y en buen estado antes de comenzar la instalación, es decir, se comprueban los componentes por separado, así como los subcomponentes de cada uno, y su estabilidad a lo largo del proceso y del tiempo.

2.3.3. Configuración de Parámetros y LDAP

Configuración de Parámetros del Software

Antes de llevar a cabo la instalación del sistema operativo junto con el software FRIPON, se ha de verificar que los directorios de los discos SATA y SSD correspondan a aquellos donde debe instalarse las funciones de almacenamiento y el procesamiento de datos respectivamente, esto se hace modificando los parámetros de la estación en la plataforma LDAP, donde se definen las especificaciones y valores importantes sobre la estación. Adicionalmente, se definen otros parámetro importantes, aunque no es necesario que sea de antemano a la instalación (ver sección 2.3).

Configuración en LDAP

Se accede a la plataforma de gestión de estaciones LDAP y se ingresan los parámetros configurados previamente, asegurando que la estación esté correctamente registrada y confi-

gurada en el sistema central.

Preparación de Software

Se descarga la imagen del sistema operativo Debian desde la página oficial, luego se carga en un dispositivo USB mediante el programa Rufus para convertirlo en un disco USB de arranque que contiene los archivos de instalación.

2.3.4. Instalación del Sistema Operativo y Software

Configuración de arranque

Se instala el sistema operativo Debian en el computador de la estación utilizando la imagen descargada, siguiendo el procedimiento estándar de instalación que se detalla a continuación:

- Entrada a BIOS y modificación de opciones de energía: Antes de arrancar el USB con el sistema operativo, se activa la opción en BIOS que permite al computador encenderse automáticamente al haber cortes de energía y posterior restablecimiento. De esta forma, se evita tener que restablecer el computador de forma manual luego de una interrupción del suministro eléctrico.
- Modificación de prioridad de arranque: Se establece al dispositivo USB como prioritario para el arranque, con el fin de comenzar la instalación del sistema operativo y el software FRIPON.
- Arranque: Al arrancar el computador bajo las acciones anteriores, se accede a la interfaz de instalación de Debian, como la que se tiene a modo referencial en la figura 2.14.



Figura 2.14: Interfaz de instalación de Debian.

configuración de instalación de Debian

Una vez en la interfaz de configuración de Debian, se presiona la tecla E sobre la opción "Install", a la cual se accede mediante las flechas en el teclado.

Instalación de Debian y el software FRIPON

En la opción "Install" se escribe el enlace de descarga del software FRIPON asociado a la estación en cuestión, con lo que se lleva a cabo la instalación de Debian junto al software de forma integrada. La instalación procede automáticamente, con un tiempo de instalación de alrededor de 15 minutos. La instalación concluye con el reinicio del equipo y el posterior mensaje "STATION IS UP AND RUNNING", lo cual indica que hubo una instalación exitosa.

Instalación de un archivo máscara de prueba

El archivo máscara, cuya función es eliminar de las imágenes que captura la cámara, todas las regiones obstaculizadas a la visión del cielo, se carga en el directorio BOOT del computador, esto se realiza enviando una máscara de prueba (no corresponde a la estación en cuestión ni es definitiva) mediante correo al técnico encargado que posee las credenciales suficientes para acceder a los directorios del computador de forma remota. La razón por la cual se hace esto es porque la estación no emitirá imágenes ni se comporta como operativa si no posee este archivo, y como aún no se emplaza en su ubicación definitiva, se ha de añadir el archivo de prueba para verificar la operatividad de la estación, y en los últimos pasos, se reemplaza por la máscara adecuada y correspondiente.

Prueba de Funcionamiento y conexión a internet

Se realiza una prueba completa de funcionamiento de la estación, verificando que todos los componentes estén operativos y funcionando correctamente. Se lleva a cabo introduciendo los datos de usuario para acceder al terminal de comandos del computador, desde ahí se verifica la efectividad de la conexión a internet y la correcta ubicación de los directorios de almacenamiento y procesamiento de datos en los discos SATA y SSD, respectivamente. En este momento, la conexión del computador a internet es directamente con el cable Ethernet, sin pasar por el switch.

2.3.5. Preparación y configuración del Switch

Preparación del computador de trabajo

Se configura el computador personal con el cual se trabaja, para poder establecer comunicación con el switch, esto se realiza cambiando la dirección IP y el subnet desde la configuración del adaptador ethernet a través del protocolo de Internet versión 4 (TCP/IPv4). Se utilizan las siguientes direcciones: dirección IP ->192.168.0.2 / subnet 255.255.255.0.

Acceso a la interfaz de configuración

Se accede luego a la interfaz de configuración del switch a través de la url 192.168.0.1. Se carga en dicha interfaz, el nuevo archivo de configuración "sConfigBackup.cfg" proporcionado por el equipo técnico central de FRIPON.

Verificación de éxito

Para verificar el éxito en la instalación del archivo de configuración en el switch, se usa la URL 10.xxx.xx.xxx, con lo que se comprueba al poder acceder a la interfaz de configuración de TP-Link.

2.3.6. Configuración de la cámara all-sky

Dirección IP de la cámara

Para poder conectarse al switch, la cámara debe tener la dirección IP correspondiente. Para esto, se cambia la configuración del adaptador del computador personal de trabajo, tal como se hizo en el paso anterior, con la dirección IP 10.xxx.xxx.xx y subnet 255.255.255.252.

En el software Basler Pylon, se modifican los parámetros de interfaz de red la cámara por:

- IP Address: 10.xxx.xx.xxx
- Network Mask: 255.255.255.252
- Network Gateway: 10.xxx.xx.xxx

Con esto, se puede establecer la comunicación de la cámara con el resto de los componentes de la estación.

2.3.7. Verificaciones finales

Verificación de las conexiones

Al observar las luces indicadoras en el switch, se verifica la comunicación de la cámara y el computador entre ellos y con internet, además del suministro eléctrico mediante PoE.

Verificación del funcionamiento de los componentes y parámetros de forma integrada

Para esto, se utiliza la plataforma ICINGA, con la que se monitorea el estado de cada parámetro y su funcionamiento. Con esto se puede conocer de antemano la efectividad de la configuración e instalación. Sin embargo, se verifica de acuerdo a las condiciones de suministro eléctrico y conexión a internet disponible en la oficina de trabajo en las instalaciones del Observatorio Astronómico Nacional, en el Cerro Calán. Esto significa que se asume y se espera una similitud de condiciones de este tipo en el emplazamiento de instalación del hospedador.

2.3.8. Embalaje y Preparación para el Transporte

Embalaje de Componentes

Una vez verificado el funcionamiento, todos los componentes de la estación se embalan cuidadosamente en cajas resistentes para protegerlos durante el transporte.

Etiquetado y Documentación

Se etiquetan todas las cajas, los componentes, las herramientas y periféricos necesarios con la información relevante y se prepara toda la documentación necesaria para el transporte y la instalación en el lugar final.

2.3.9. Instalación en el Lugar Final

Planificación del viaje de instalación

La planificación considera presupuestos, como el del medio de transporte distante hacia la localidad de emplazamiento, estadía del personal, transporte de cortas distancias en las cercanías del lugar, alimentación, urgencias, componentes o dispositivos que son necesarios de forma imprevista, etc. Luego de esto, se procede a la gestión de compra de pasajes y estadía habiendo acordado la fecha de ejecución de la misión de instalación de acuerdo a la disponibilidad de los miembros del personal encargado. Con todo aquello, se planifica y establece la ruta a seguir para la instalación, es decir, los plazos y tiempos asignados a cada tarea de ensamblaje e instalación de la estación.

Desplazamiento al Lugar de Instalación

Se trasladan todos los componentes embalados al lugar final de instalación, asegurando su transporte seguro y protegido.

Ensamblaje y Conexiones

Una vez en el lugar de instalación, se procede con el ensamblaje de la estación y la conexión de todos los componentes según las especificaciones de la estación. Primero, se ensambla el conjunto de partes de sujeción de la cámara, es decir, se fija la cámara a la pared o asta dependiendo de las condiciones del hospedador. Luego, se ubica el computador con el switch en un lugar seguro y fuera del alcance de cualquier persona excepto del hospedador. Se conecta lo anterior al suministro eléctrico y de internet. La extensión del cable ethernet que va desde la cámara al switch puede recorrer decenas de metros de distancia, por lo que se ubica estratégicamente para optimizar la extensión y su protección ante las condiciones ambientales del lugar, como el agua, los rayos UV del Sol y el polvo. Finalmente se conecta el extremo del cable ethernet de la cámara al switch, teniendo así la conexión de todos los componentes de la estación en sus puertos correspondientes.

2.3.10. Puesta en Marcha y verificación Final

Puesta en Marcha

Una vez verificadas las conexiones, se pone en marcha la estación, para esto, se encienden todos los componentes de la estación y se verifican sus señales de funcionamiento.

Verificación del Funcionamiento

Se lleva a cabo una verificación final del funcionamiento de la estación en su ubicación final, asegurando que todos los parámetros estén operativos y funcionando correctamente. Se

verifica el funcionamiento de cada parámetro de la estación en Icinga.

Espera de la obtención de la primera imagen o "primera luz"

Con todos los parámetros funcionando, se espera para la obtención de una imagen que la estación emite automáticamente cada 10 minutos a modo de comprobación de funcionamiento siempre y cuando la estación esté totalmente operativa. La obtención actualizada de esta imagen demuestra el éxito en el procedimiento de instalación y operatividad de la estación.

2.3.11. Monitoreo y Seguimiento

Monitoreo en Tiempo Real

Se utiliza la plataforma de monitoreo Icinga para realizar un seguimiento en tiempo real del estado de cada parámetro de la estación, asegurando su correcto funcionamiento y detectando cualquier problema que pueda surgir.

Seguimiento Post-Instalación

Se realiza un seguimiento continuo de la estación después de la instalación, asegurando su funcionamiento óptimo y abordando cualquier problema que pueda surgir de manera oportuna.

2.3.12. Documentación y Reporte

Documentación de Instalación

Se registra en un informe detallado, todo lo relacionado con el proceso de instalación, documentando todos los pasos realizados y cualquier problema encontrado durante el proceso.

Reporte al Equipo de Gestión

Se realiza un intercambio comunicacional entre el personal técnico local de instalación y el equipo central de FRIPON, proporcionando detalles sobre la instalación y el funcionamiento de la estación, así como cualquier recomendación para mejoras futuras.

2.4. Ejecución del proyecto de configuración y despliegue de estaciones FRIPON en Chile y países circundantes

2.4.1. Estación CLCO04 Observatorio El Sauce

La estación ubicada en el observatorio El Sauce, en la región de Coquimbo, fue la segunda misión de configuración e instalación ejecutada por el proyecto FRIPON-Chile detrás de la estación ubicada en las instalaciones del observatorio VLT en el cerro Paranal, región de Antofagasta. Sin embargo, se trató de la primera instalación realizada por el equipo técnico del Laboratorio Franco-Chileno de astronomía de la Universidad de Chile.

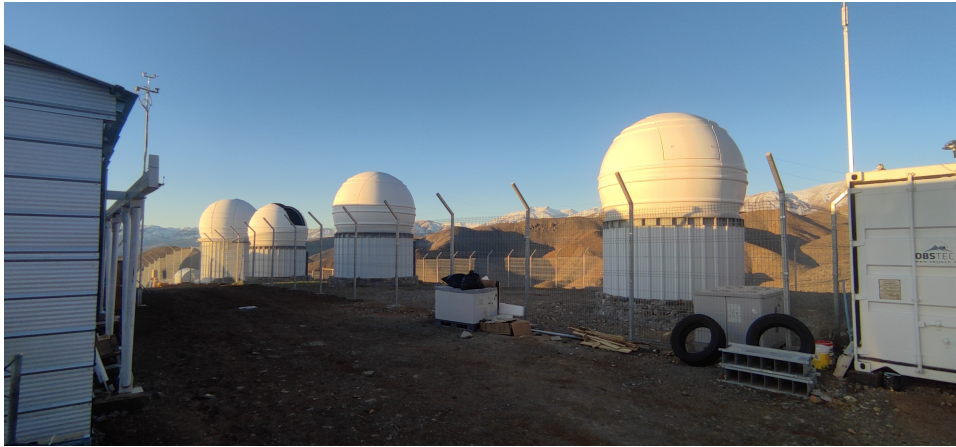


Figura 2.15: Instalaciones del Observatorio El Sauce, Región de Coquimbo.

En esta misión de instalación, llevada a cabo el 9 de agosto de 2022, supuso una experiencia piloto para las futuras misiones de instalación, y permitió determinar varias de las consideraciones que se han de tener para llevar a cabo un procedimiento exitoso.

Esta estación fue ubicada junto a otros experimentos científicos similares sobre un contenedor, y en el interior de este, los equipos protegidos del exterior.

Este lugar se caracteriza por ser un sitio de hospedaje de telescopios e instrumentos operados de forma remota (figura 2.15), y su clima semi desértico dispone de gran parte del año con cielos despejados, ideales para la observación astronómica.

2.4.2. Estación CLRM01 Observatorio Cerro Calán

La instalación de la estación FRIPON ubicada en las facilidades del departamento de astronomía de la Universidad de Chile, en el cerro Calán, Santiago, se llevó a cabo el 3 de Enero de 2023, y supuso la apertura del año en que se llevaron a cabo la gran mayoría de las instalaciones de estaciones con el objetivo principal de expandir la red en Chile.

Debido a que el lugar de instalación se ubica en el sitio que funciona como oficina de operaciones y almacenamiento de equipos de la red FRIPON-Chile, fue más sencillo probar componentes y corregir errores durante el procedimiento de configuración, instalación y mantenimiento.

2.4.3. Estación CLAN06 Calama

La estación Calama fue instalada el 14 de Junio de 2023 en el colegio Chuquicamata (figura 2.17), ubicado en Calama, región de Antofagasta.

La idea de instalar una estación en este lugar se debe a su ubicación estratégica para formar una región de detección con otras estaciones de la región y, además, promover la motivación por las ciencias entre los alumnos de aquella institución.

El lugar provee un clima árido, despejado la mayor parte del año, y al estar en la periferia



Figura 2.16: Cámara FRIPON perteneciente a la estación instalada en Cerro Calán, región metropolitana.

de la ciudad de Calama, permite gestionar su mantención de manera más sencilla.

En esta misión de instalación, se decidió fijar la cámara directamente sobre el techo de cemento del edificio que alberga salas de clases (figura ??), debido a que no había necesidad de extender la duración y costo al añadir un asta.

Directamente debajo del lugar donde se fijó la cámara, se encuentra un laboratorio, dentro del cual se encuentra un estante, facilitado por el colegio, para disponer el computador y el switch, brindando un almacenamiento seguro de estos componentes (figura 2.19).

2.4.4. Estación CLAT01 Laguna Santa Rosa

El 22 de Junio de 2023 se concretó la misión de instalación de la que es la estación FRIPON de condiciones más extremas de toda la red mundial. Esto se debe a que esta estación se ubica cerca del salar Maricunga (figura 2.20), a una altitud cercana a los 4000 m.s.n.m y con unas temperaturas que pueden disminuir hasta los -20 C° durante la noche.

La estación se ha nombrado Laguna Santa Rosa, cuerpo hídrico hipersalino que es cuenca endorreica del salar Maricunga.

La cámara se fijó sobre un asta de acero junto al refugio Maricunga, que dispone de electricidad proveniente de paneles solares e internet satelital. En esta estación se cambió el computador de escritorio por un NUC, debido a la menor disposición de energía estable, con



Figura 2.17: Colegio Chuquicamata, Calama.



Figura 2.18: Instalación de una cámara FRIPON en uno de los techos del colegio Chuquicamata.

lo que se compensan los horarios de baja.

2.4.5. Estación CLAT02 Tierra Amarilla

El 24 de Junio de 2023 se llevó a cabo una misión de instalación en la comuna de Tierra Amarilla, cerca de Copiapó, región de Atacama.

La principal característica de esta estación es que se ubica en una propiedad privada perteneciente al proyecto Desierto Cósmico, que aspira a convertirse en otro centro de hospedaje de telescopios controlados remotamente. Al comienzo, la conexión a la red era mediante un router wifi portátil, con inestabilidad y baja banda ancha, pero al poco tiempo el hospedador dispuso de internet satelital Starlink, mejorando la estabilidad. La electricidad es provista por paneles solares.

2.4.6. Estación CLAT03 Inca de Oro

El 19 de Agosto de 2023, la misión a Inca de Oro, condujo a la instalación de una nueva estación.



Figura 2.19: Estante con el switch y computador de la estación Calama.



Figura 2.20: Laguna Santa Rosa, cuenca endorreica del salar Maricunga.

Inca de Oro es una localidad perteneciente a la comuna de Diego de Almagro, en la región de Atacama. Este lugar posee una característica muy distintiva, pues se trata de uno de los primeros lugares en Chile en aplicar normas de protección de los cielos nocturnos en contra de la contaminación lumínica. Esto a través de luminaria cuya iluminación es direccionada hacia el suelo, y emite en una banda de frecuencia que no interfiere con la observabilidad del cielo.

Debido a lo anterior, no hubo problema en instalar la estación en el tejado del restaurante "El Pirquén", en pleno pueblo (figura 2.23). Este establecimiento cuenta con conexión a la red y conexión eléctrica estable.

2.4.7. Apoyo en instalaciones

A finales del año 2023 se llevaron a cabo tres nuevas misiones de instalación. A diferencia de las anteriores, estas se aventuraron en lugares extremos e incluso fuera del país.



Figura 2.21: Cámara de la estación Laguna Santa Rosa.

CLMA01 Punta Arenas

Corresponde a la primera cámara instalada en la zona austral de Chile, en condiciones adversas para la astronomía, pero de carácter experimental, con el objetivo de extender la red a altas latitudes del hemisferio sur.

CLMA02 Puerto Williams

Es, hasta la actualidad, la estación más austral de toda la red FRIPON, y trabaja en conjunto con la estación de Punta Arenas, formando una pequeña región funcional de detección.

ARMZ01 Mendoza

Corresponde a la primera estación instalada fuera de Chile, pero por su ubicación relativamente cercana, forma un dúo de detección con la estación ubicada en el Cerro Calán.



Figura 2.22: Instalación de la cámara FRIPON de la estación Tierra Amarilla.



Figura 2.23: Instalación de cámara FRIPON perteneciente a la estación en Inca de Oro.

Capítulo 3

Resultados

3.1. Nueva región de detección en la red FRIPON

Con la completa ejecución de las misiones de instalación de estaciones en Chile y una en Argentina, lo que en total, es el proyecto de expansión de la red FRIPON en Chile, se logró añadir a la red global un nuevo conjunto que cumple el objetivo de expandir la red al hemisferio sur y así aumentar la tasa de recolección de datos, así como aumentar la probabilidad de encontrar nuevos fragmentos de meteoritos.

En la zona norte de Chile (figura 3.1) se formó una completa región de detección, con seis estaciones operativas, y otras tres proyectadas. A través de estas, llegan a diario reportes de detecciones, mayoritariamente meteoros, y en al menos dos ocasiones, se han detectado bólidos.

Las estaciones de Laguna Santa Rosa y Tierra Amarilla han tenido problemas de conexión con mucha frecuencia, esto debido a fallos en la estabilidad de los servicios de electricidad y/o internet.

La estación Paranal ha funcionado con la mejor estabilidad de toda la red chilena, registrando apenas desconexiones.

Por otra parte, la estación Calama, a pesar de localizarse en la ciudad, presenta constantes caídas, y se han registrado problemas con la detección, se constató que se debe al efecto de la luz emitida por las luminarias artificiales circundantes y el polvo que se acumula en el domo que protege la cámara, haciendo dispersar la luz de las partículas e impidiendo una imagen clara.

En cuanto a la zona central, la estación de Cerro Calán presentó fallas en un comienzo, las cuales se fueron resolviendo y en la actualidad funciona con total normalidad. Como hallazgo significativo, el 11 de julio de 2024 se produjo la detección simultánea de un bólido detectado por la estación Cerro Calán y Mendoza, estimándose su caída sobre el volcán San José, cerca de la frontera entre Chile y Argentina.

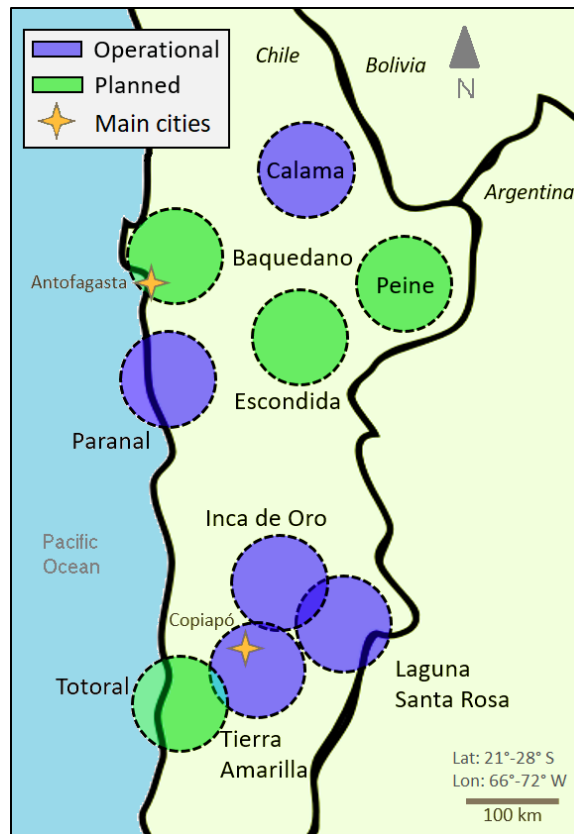


Figura 3.1: Mapa de la zona norte de Chile y Argentina, con las estaciones instaladas y proyectadas. [1]

Debido al problema de angostura del territorio chileno, la presencia de la cordillera y los requerimientos de distancia entre estaciones, es que se ha visto una dificultad para detecciones simultáneas con las estaciones de la zona central, excepto las dos estaciones mencionadas anteriormente. Por otra parte, se han comportado con buena estabilidad.

Adicionalmente, las dos estaciones más australes comenzaron a perder estabilidad en el último mes, aunque se han resuelto sus problemas de conexión. Como prueba de la efectividad de estas estaciones, se han reportado detecciones de meteoros y además, debido a su sensibilidad, lograron capturar imágenes de las auroras australes ocurridas entre mayo y junio del 2024.

3.2. Detecciones de bólidos hasta la fecha

El 11 de julio de 2024 ocurrió la detección de un bólido por parte de dos estaciones, la estación Cerro Calán, ubicada en la ciudad de Santiago, y la estación de Mendoza, en Argentina.

Se estimó a través de esta detección, que un meteorito con una masa menor 1 Kg cayó en las inmediaciones del volcán San José, en la Región Metropolitana, cerca de la frontera con Argentina (figura 3.4).

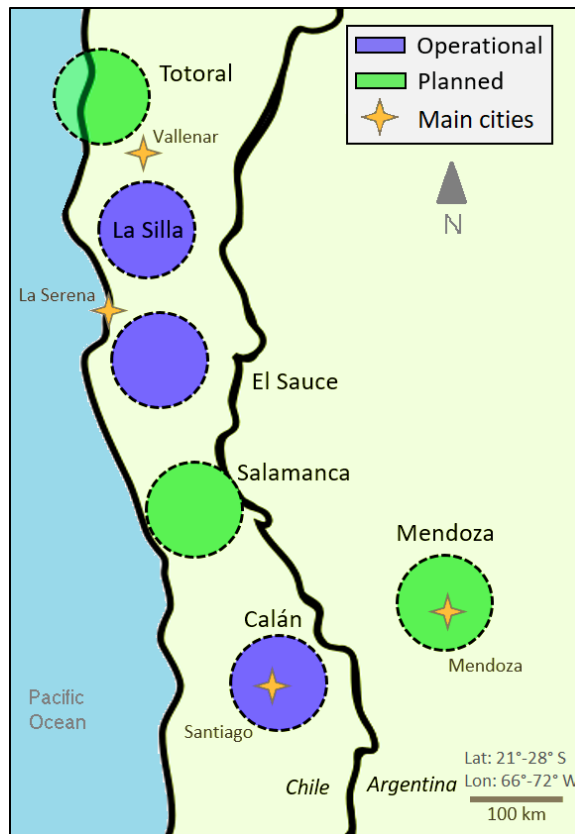


Figura 3.2: Mapa de la zona centro de Chile y Argentina, con las estaciones instaladas y proyectadas. [1]

Este resultado importante demuestra que están ocurriendo detecciones por parte de la red chilena de estaciones FRIPON, y que las estimaciones mediante algoritmos son efectivas.

3.3. Problemas de software y hardware

Debido a la constante actualización y obsolescencia de equipos y software, las instalaciones varían con el tiempo. Esto se debe a la necesidad de adaptar el conjunto de códigos y estándares diseñados para las estaciones de la red FRIPON a nuevos equipos y sistemas operativos, que pueden no ser siempre compatibles con los desarrollos de la red hasta la fecha de creación de una nueva estación. Además, algunos equipos que antes funcionaban bien con configuraciones antiguas se vuelven obsoletos con el tiempo y dejan de fabricarse. Esto exige encontrar formas de hacer que las nuevas versiones sean compatibles y funcionen de manera óptima.

Durante la instalación, el sistema operativo no reconocía la tarjeta Ethernet integrada en el computador debido a la falta del controlador adecuado. A pesar de los intentos de instalar manualmente el controlador, no se logró éxito. También se intentó usar un adaptador USB-LAN para la conexión a internet, pero aunque la instalación se completó, el funcionamiento posterior no reconoció este método de conexión. La solución a este problema implicó instalar nuevas tarjetas Ethernet en los computadores de la marca y modelo TP-LINK T1500G-10PS, que se conectan a puertos destinados para componentes adicionales. La versión de Debian

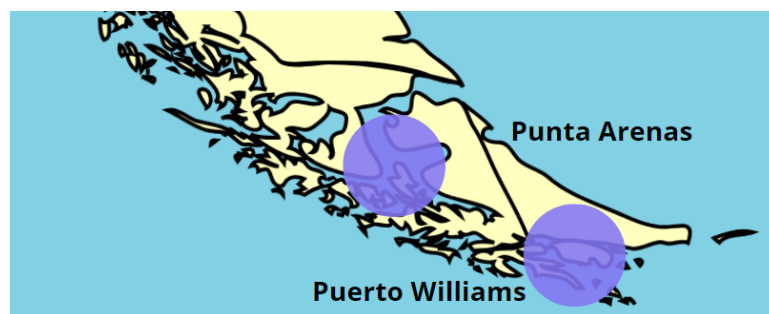


Figura 3.3: Mapa de la patagonia chilena con las dos estaciones más australes de la red.

utilizada en estas nuevas instalaciones ya incluye los controladores necesarios.

El segundo obstáculo encontrado al realizar instalaciones en estos computadores fue la falta de compatibilidad con la versión del sistema operativo Debian que se utilizaba típicamente para configurarlos. A través de ensayo y error con versiones más recientes de Debian, se encontró una versión compatible con los computadores y el sistema FRIPON, en este caso, el sistema operativo Debian 10.3.

Surgieron problemas en algunas instalaciones debido a la inversión de roles entre los discos o porque uno de los discos tenía ambas funciones mientras que el otro estaba vacío. La configuración de la estación en la plataforma LDAP permite asignar la función correcta a cada unidad de almacenamiento. Sin embargo, en algunos casos, y por razones desconocidas, la configuración no fue exitosa y tuvo que corregirse mediante un cambio de directorio a través de SSH por el equipo técnico de FRIPON.

Con respecto a los switches, fue necesario adquirirlos en el extranjero ya que el modelo requerido no estaba disponible en Chile. Afortunadamente, el archivo de configuración resultó ser compatible con estos nuevos modelos.

Las cámaras compatibles con el software actual de FRIPON se basan en el modelo acA1300-30gm de Basler y el modelo 23G445 de DMK, pero la nueva cámara FRIPON ahora se basa en el nuevo modelo de Basler. Para soportar este nuevo tipo de cámara, el software FRIPON debe ser actualizado (probablemente portándolo a la versión 11 o 12 de Debian) y esto no puede ser hecho por el grupo FRIPON-Chile sino solo por el centro técnico principal de FRIPON.

3.4. Publicación del proyecto como artículo científico y presentación en conferencia internacional de meteoros

El presente proyecto, ejecutado y finalizado según sus alcances, fue descrito en una publicación llevada a cabo por el alumno autor de este trabajo de título, junto con el profesor guía, además de muchos otros científicos e ingenieros participantes del proyecto FRIPON desde varios países [1].

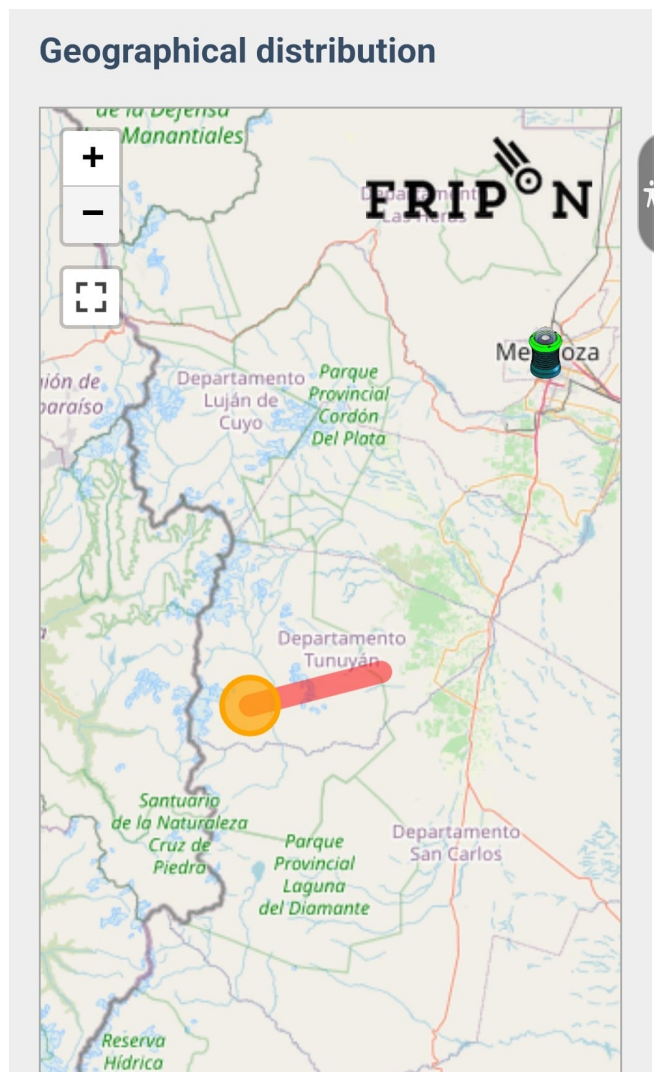


Figura 3.4: Trayectoria y ubicación final estimada de bólido detectado el 11 de Julio de 2024.

Finalmente, este proyecto fue presentado ante una conferencia internacional llevada a cabo en Bélgica el año 2023, en donde se expusieron los detalles del avance de la red FRIPON a Chile y cómo ha sido su desempeño [6].

Capítulo 4

Conclusión y Futuro

El proyecto está implementado en su totalidad, es decir, las ejecuciones de los procesos de configuración e instalación de las estaciones de detección, en sus respectivas ubicaciones a lo largo de Chile, ya se encuentran exitosamente realizadas, según los alcances del proyecto.

En ese sentido, las nueve estaciones instaladas y operativas hasta la fecha confirman el éxito obtenido de acuerdo con los objetivos planteados, además de confirmarse en los resultados la obtención de detección de bólidos.

Por otro lado, lo anterior no hubiera sido posible sin haber logrado pulir eficazmente un nuevo conjunto de procedimientos de instalación, los que permitieron adaptarse a las nuevas y no probadas disponibilidades locales, en cuanto a versiones, oferta y logística. En un sentido más general se expresaron las ideas e instrucciones en este proyecto con el fin de guiar futuras instalaciones.

De acuerdo con los resultados obtenidos, las estaciones se han podido instalar en las condiciones más adversas tanto ambientales como de conectividad, permitiendo aumentar significativamente el alcance, descubriendo así, que la red puede expandirse a zonas más remotas, pues anteriormente sólo se sabía de la seguridad de instalación cerca de zonas pobladas y ciudades. Con este proyecto, por lo tanto, se probó la robustez del equipamiento y de las medidas necesarias para contrarrestar las fallas, así como los procedimientos para resolverlas.

A pesar de las dificultades relacionadas con la configuración de nuevos equipos de hardware y software, fue posible adaptarse a las nuevas versiones con los procedimientos descritos, permitiendo generar estaciones funcionales y conectadas a la red, las cuales se encuentran permanentemente enviando reportes automáticos de detecciones.

Este proyecto supuso un conjunto de etapas, la que en su mayoría, se realizaron en lugares nuevos, con equipos de hardware y software nuevos, conduciendo hacia una exploración e ideación de nuevos procedimientos y siendo exitosas aquellas etapas de acuerdo con los resultados obtenidos. Esto ha permitido un salto considerable en la fluidez con la que se llevó este proyecto y los futuros, debido a que las variantes tecnológicas dejaron de ser un impedimento

según la región del mundo donde se pretendan instalar nuevas estaciones.

Con las especificaciones y requerimientos mínimos, ha sido posible levantar un conjunto de estaciones con variados componentes, disminuyendo las exigencias estrictas en un comienzo, y logrando contribuir al conocimiento técnico requerido para desplegar instrumentación útil y eficiente para las ciencias dedicadas al estudio del fenómeno del bólido y los meteoritos desde cualquier perspectiva.

De igual manera, ha sido posible mejorar la caracterización de problemas en las estaciones, pues en el proyecto se formulan procedimientos robustos que aseguran la estabilidad de cada componente. Con esto, se diagnostica cualquier falla, y se reemplaza el equipo o archivo en caso de ser necesario.

Los procedimientos y diseños de la propia red han permitido disminuir al mínimo posible la necesidad de acudir presencialmente a cada estación, las que, según se ha revisado, pueden llegar a localizarse en remotos lugares con condiciones extremas, que de no ser así, supondrían un costo excesivo. Para esto, cada estación ha sido provista de hospedadores que pueden llevar a cabo tareas básicas de mantenimiento, y gran parte de las configuraciones pueden ejecutarse remotamente.

Entre las consideraciones más importantes, se encuentran los dos recursos básicos con los que deben ser provistas las estaciones, es decir, electricidad y conexión a la red. En el transcurso de las misiones de instalación, se aprendió a gestionar el hardware y las condiciones del lugar, con el fin de optimizar la conectividad en condiciones que producen intermitencia.

La buena relación con hospedadores ha sido fundamental, ya que son los que están junto a las estaciones y están dispuestos a proveerla de lo necesario, darles seguridad y mantenerlas en caso de ser necesario. Por tal motivo, la red FRIPON-Chile mantiene un canal online permanente, en el que se reportan detecciones, se comparten ideas y se planifican misiones futuras.

El proyecto FRIPON considera, a futuro, una etapa de extensión mayor hacia Argentina, Bolivia y Perú. De esta forma, se proyecta crear un gran conjunto de detectores para la red global conocido como FRIPON-Andino. A través de este, se buscará aumentar considerablemente las capacidades de detección, obtención de datos y recolección de meteoritos, fortificando, además, la presencia de la red en el hemisferio sur.

Como continuación de este actual proyecto, se tiene:

- Crear un código que permita recolectar la imágenes de prueba de cada estación y constatar el posible deterioro de la calidad de imágenes a causa de la acumulación de polvo y suciedad del ambiente.
- Instalar nuevas estaciones en el norte de Chile, a saber, serán llamadas estación Baquedano, Peine y Ckoiraima.
- Instalar una nueva estación en la comuna de Salamanca, Región de Coquimbo.
- Configurar, mediante los procedimientos descritos en la sección de métodos y materiales, las nuevas estaciones para la red FRIPON-Chile.
- Participar de forma activa en la configuración de las futuras estaciones del proyecto

FRIPON-Andino, es decir, las que se instalarán en Chile, Perú, Bolivia y Argentina.

- Perfeccionar los procedimientos descritos sobre la configuración de estaciones para que se vuelva más eficiente, así logrando utilizar menos recursos con mejor resultado.

Bibliografía

- [1] F. Gutiérrez, R. Méndez, S. Bouquillon, *Current Status of the Extension of the FRIPON Network in Chile*, 2023.
- [2] F. Colas, *FRIPON: A Worldwide Network to Track Incoming Meteoroids*, 2020.
- [3] R. Méndez, S. Bouquillon, *Characterizing the Astrometric Precision Limit for Moving Targets Observed with Digital-Array Detectors*, 2017.
- [4] D. Vida, *Open-Source Meteor Detection Software for Low-Cost Single-Board Computers*, 2016.
- [5] Red FRIPON (Fireball Recovery and InterPlanetary Observation Network), <https://www.fripon.org>
- [6] 42nd International Meteor Conference 2023, <https://imc2023.imo.net/>