



MII EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MASTER

**RED HIDROMETEOROLÓGICA ALIMENTADA CON
PANELES SOLARES EN VENEZUELA**

Autor: María José Bascuñana Sechi

Director: Javier Arbaizar González

Madrid

AGOSTO de 2019

AUTORIZACIÓN PARA LA DIGITALIZACIÓN, DEPÓSITO Y DIVULGACIÓN EN RED DE PROYECTOS FIN DE GRADO, FIN DE MÁSTER, TESINAS O MEMORIAS DE BACHILLERATO

1º. Declaración de la autoría y acreditación de la misma.

El autor D. María José Bascuñana Sechi DECLARA ser el titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra: RED HIDROMETEOROLÓGICA ALIMENTADA CON PANELES SOLARES EN VENEZUELA, que ésta es una obra original, y que ostenta la condición de autor en el sentido que otorga la Ley de Propiedad Intelectual.

2º. Objeto y fines de la cesión.

Con el fin de dar la máxima difusión a la obra citada a través del Repositorio institucional de la Universidad, el autor CEDE a la Universidad Pontificia Comillas, de forma gratuita y no exclusiva, por el máximo plazo legal y con ámbito universal, los derechos de digitalización, de archivo, de reproducción, de distribución y de comunicación pública, incluido el derecho de puesta a disposición electrónica, tal y como se describen en la Ley de Propiedad Intelectual. El derecho de transformación se cede a los únicos efectos de lo dispuesto en la letra a) del apartado siguiente.

3º. Condiciones de la cesión y acceso

Sin perjuicio de la titularidad de la obra, que sigue correspondiendo a su autor, la cesión de derechos contemplada en esta licencia habilita para:

- a) Transformarla con el fin de adaptarla a cualquier tecnología que permita incorporarla a internet y hacerla accesible; incorporar metadatos para realizar el registro de la obra e incorporar “marcas de agua” o cualquier otro sistema de seguridad o de protección.
- b) Reproducir la en un soporte digital para su incorporación a una base de datos electrónica, incluyendo el derecho de reproducir y almacenar la obra en servidores, a los efectos de garantizar su seguridad, conservación y preservar el formato.
- c) Comunicarla, por defecto, a través de un archivo institucional abierto, accesible de modo libre y gratuito a través de internet.
- d) Cualquier otra forma de acceso (restringido, embargado, cerrado) deberá solicitarse expresamente y obedecer a causas justificadas.
- e) Asignar por defecto a estos trabajos una licencia Creative Commons.
- f) Asignar por defecto a estos trabajos un HANDLE (URL *persistente*).

4º. Derechos del autor.

El autor, en tanto que titular de una obra tiene derecho a:

- a) Que la Universidad identifique claramente su nombre como autor de la misma
- b) Comunicar y dar publicidad a la obra en la versión que ceda y en otras posteriores a través de cualquier medio.
- c) Solicitar la retirada de la obra del repositorio por causa justificada.
- d) Recibir notificación fehaciente de cualquier reclamación que puedan formular terceras personas en relación con la obra y, en particular, de reclamaciones relativas a los derechos de propiedad intelectual sobre ella.

5º. Deberes del autor.

El autor se compromete a:

- a) Garantizar que el compromiso que adquiere mediante el presente escrito no infringe ningún derecho de terceros, ya sean de propiedad industrial, intelectual o cualquier otro.
- b) Garantizar que el contenido de las obras no atenta contra los derechos al honor, a la intimidad y a la imagen de terceros.
- c) Asumir toda reclamación o responsabilidad, incluyendo las indemnizaciones por daños, que pudieran ejercitarse contra la Universidad por terceros que vieran infringidos sus derechos e intereses a causa de la cesión.

- d) Asumir la responsabilidad en el caso de que las instituciones fueran condenadas por infracción de derechos derivada de las obras objeto de la cesión.

6º. Fines y funcionamiento del Repositorio Institucional.

La obra se pondrá a disposición de los usuarios para que hagan de ella un uso justo y respetuoso con los derechos del autor, según lo permitido por la legislación aplicable, y con fines de estudio, investigación, o cualquier otro fin lícito. Con dicha finalidad, la Universidad asume los siguientes deberes y se reserva las siguientes facultades:

- La Universidad informará a los usuarios del archivo sobre los usos permitidos, y no garantiza ni asume responsabilidad alguna por otras formas en que los usuarios hagan un uso posterior de las obras no conforme con la legislación vigente. El uso posterior, más allá de la copia privada, requerirá que se cite la fuente y se reconozca la autoría, que no se obtenga beneficio comercial, y que no se realicen obras derivadas.
- La Universidad no revisará el contenido de las obras, que en todo caso permanecerá bajo la responsabilidad exclusiva del autor y no estará obligada a ejercitar acciones legales en nombre del autor en el supuesto de infracciones a derechos de propiedad intelectual derivados del depósito y archivo de las obras. El autor renuncia a cualquier reclamación frente a la Universidad por las formas no ajustadas a la legislación vigente en que los usuarios hagan uso de las obras.
- La Universidad adoptará las medidas necesarias para la preservación de la obra en un futuro.
- La Universidad se reserva la facultad de retirar la obra, previa notificación al autor, en supuestos suficientemente justificados, o en caso de reclamaciones de terceros.

Madrid, a 29. de agosto de 2019

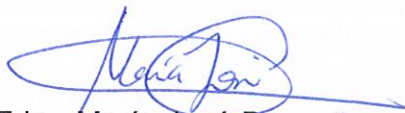
ACEPTA

Fdo. 

Motivos para solicitar el acceso restringido, cerrado o embargado del trabajo en el Repositorio Institucional:

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título:
**RED HIDROMETEOROLÓGICA ALIMENTADA CON PANELES
SOLARES EN VENEZUELA**

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2018/2019, es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es
plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada
de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: María José Bascuñana

Fecha: 29/08/2019

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Javier Arbaizar González

Fecha: 29/08/2019



MII EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO FIN DE MASTER
**RED HIDROMETEOROLÓGICA
ALIMENTADA CON PANELES SOLARES EN
VENEZUELA**

Autor: María José Bascuñana Sechi
Director: Javier Arbaizar González

Madrid
AGOSTO de 2019

RED HIDROMETEOROLÓGICA ALIMENTADA CON PANELES SOLARES EN VENEZUELA

Autor: Bascuñana Sechi, María José

Director: Arbaizar González, Javier

Entidad Colaboradora: ICAI - Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

INTRODUCCIÓN

Este proyecto de fin de máster tiene como objeto el estudio, diseño e implantación de una red hidrometeorológica en Venezuela que será alimentada mediante paneles solares y se comunicará con el centro de control del INAMEH (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología) mediante radioenlaces a través del satélite GOES.

El diseño e instalación de esta red es parte de un proyecto para el INAMEH de Venezuela. Para el proyecto global, el cliente solicita la puesta en marcha de trescientas treinta y cinco (335) estaciones hidrometeorológicas automáticas a lo largo de todo Venezuela. Debido a la gran extensión de la red hidrometeorológica que abarca el proyecto, en esta memoria se ha profundizado en el estudio únicamente de ochenta (80) estaciones hidrometeorológicas, que corresponden con las estaciones instaladas en los estados del Amazonas, Anzoátegui, Apure, Aragua, Boninas y Bolívar, que se encuentran ubicadas dentro del ámbito de la cuenca hidrográfica del Orinoco.

En esta memoria se plantea el estudio en cuatro partes. En primer lugar, se realiza un análisis sobre el panorama actual de las políticas y las nuevas reformas en materia de meteorología e hidrología a nivel internacional que plantea la Organización Meteorológica Mundial (OMM). También se hace un estudio de la situación geográfica e hidrológica de Venezuela y se analizan las razones por las que es un país idóneo para la implantación de este tipo de redes. En el segundo capítulo, se definen las principales características de la red hidrometeorológica, describiendo los diferentes componentes que la forman: los sensores, las unidades de adquisición de datos y el transmisor GOES. En el capítulo siguiente, se detalla y diseña el sistema de alimentación de la red hidrometeorológica. Primero se analizan las posibles fuentes de energía y finalmente se selecciona la energía fotovoltaica como solución más adecuada para el proyecto, tanto desde el punto de vista técnico como climático. Además, se describe el sistema de protecciones. En el cuarto capítulo, se analiza el sistema de comunicación, definiéndose tanto la comunicación interna que se establece entre los distintos componentes de la red hidrometeorológica, como la comunicación vía satélite entre la estación y el satélite GOES. Por finalizar, se cierra el proyecto con dos últimos documentos: el pliego de condiciones, donde aparecen las especificaciones técnicas de todos los equipos seleccionados para la red, tanto de los sensores como de los equipos de adquisición y transmisión de datos, y se detallan también los datos eléctricos y las dimensiones de todos los equipos del sistema de alimentación; y para finalizar, se presenta el presupuesto del proyecto.

RESULTADOS

Para el diseño de la red hidrometeorológica, se han seleccionado criterios de diseño muy conservadores con el objetivo de garantizar la robustez y estabilidad de la red hidrometeorológica. Los criterios de diseño que se han priorizado han sido: la alta fiabilidad de los equipos; pocos requerimientos de mantenimiento, tanto de los equipos de adquisición de datos como de los equipos de la instalación fotovoltaica; y la elevada disponibilidad del sistema de alimentación y de la red de comunicaciones, para garantizar la continuidad del suministro eléctrico y la adquisición y transmisión de datos con la finalidad de tener acceso a información veraz y de calidad en tiempo real.

En primer lugar, se ha considerado cada estación como un subsistema independiente o punto de control y se enlazan entre ellos vía satélite. Se pueden distinguir cuatro tipos de estaciones, en función de los parámetros de medición: climatológicas, pluviométricas, hidrométricas y de embalse. Independientemente del tipo de estación, todas ellas se han dotado de los siguientes elementos:

- Sensores requeridos para cada tipo de Estación.
- Unidad de adquisición de datos (UAD) o Data logger
- Transmisor GOES con sus periféricos.
- Fuentes de alimentación eléctrica de baterías con respaldo de panel solar, además para aquellos emplazamientos que lo requieran se instalarán convertidores AC/DC.
- Soportes, torres, cercado perimetral e infraestructura requerida.

Todos los componentes de la estación necesitan de corriente eléctrica para su funcionamiento. Debido a la inestabilidad de la red eléctrica convencional en Venezuela y la indisponibilidad de puntos de conexión a la red convencional en las estaciones dada a su ubicación remota, la fuente de alimentación seleccionado para la red hidrometeorológica es la energía solar. Se ha diseñado y calculado el sistema fotovoltaico para cada una de las ochenta estaciones, cada uno de ellos formado por un panel solar de 30W y 12 V, una batería de 12V con cinco días de autonomía y un regulador de carga de la batería con una intensidad de carga de 15 A. En las estaciones de tipo climatológico se han instalado 2 paneles solares dado que la demanda energética de ese tipo de estaciones es mayor porque cuentan con mayor número de sensores.

Por otro lado, se ha diseñado el sistema de protecciones. En una instalación de estas características, las protecciones se instalan principalmente para hacer frente a las sobretensiones. Las sobretensiones son causadas generalmente por la red eléctrica y los rayos. En este caso, la red eléctrica no llega a nuestros sensores, todo se alimenta con paneles solares, tal y como se ha detallado anteriormente. Se han seleccionado tres tipos de descargadores de sobretensiones, colocados uno al lado de la fuente de alimentación, un descargador axial y dos descargadores de señal analógica y digital, ubicados uno a cada extremo del data logger. En el siguiente croquis se queda resumido el sistema de alimentación y protecciones de una estación hidrometeorológica tipo.

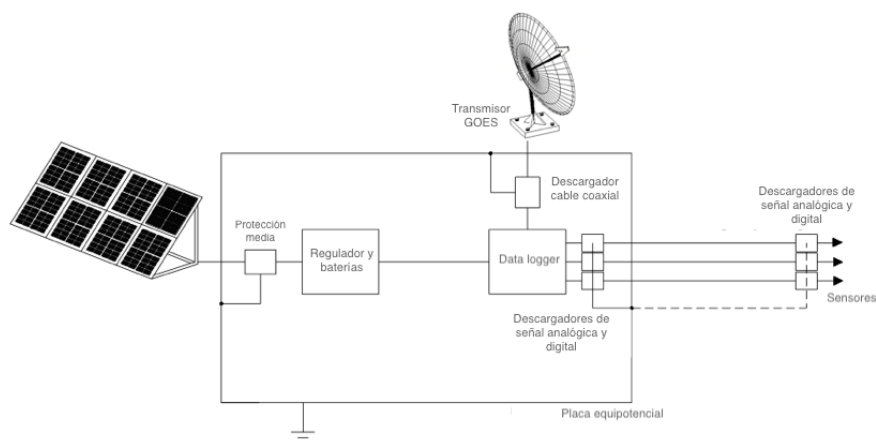


Figura 1. Esquema sistema de alimentación y protecciones estación hidrometeorológica.

Fuente: Elaboración propia.

La comunicación predominante en esta red hidrometeorológica es la comunicación vía satélite a través del satélite geoestacionario GOES, el cual está situado siempre en un punto fijo con respecto a la superficie terrestre. Gracias a este satélite, los datos captados por los sensores llegan al centro de control del INAMEH. Dentro de la estación hidrometeorológica se distinguen diferentes sistemas de comunicación. Por un lado, la comunicación entre los sensores y la unidad de adquisición de datos se lleva a cabo mediante señales eléctricas analógicas, la mayoría de los sensores instalados están conectados con un lazo de corriente de 4 a 20 mA. Entre el equipo de adquisición de datos (dato logger) y el transmisor, la comunicación se realiza mediante el puerto serial RS-232 con un conector DB-9. Por último, la comunicación entre el transmisor GOES y el satélite se establece mediante radio enlaces de VHF y UHF. En el siguiente esquema se representa el tipo de comunicación existente entre cada equipo que forma la estación.

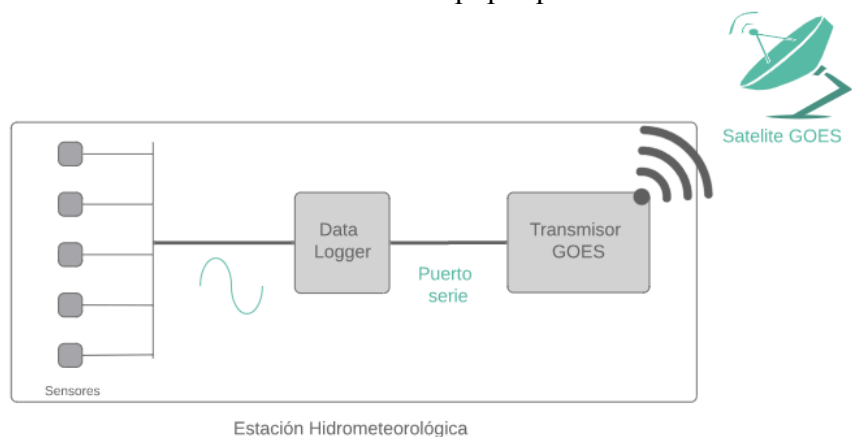


Figura 2. Croquis sistema de comunicación en la estación hidrometeorológica. Fuente:

Elaboración propia

Relativo al sistema de comunicación también es importante destacar que existen una serie de restricciones para establecer la comunicación con el satélite GOES: la comunicación entre la estación y el satélite es unidireccional, cada punto de control solo puede transmitir información en un slot de tiempo determinado y el envío de datos no se puede hacer directamente desde el satélite al centro de control de INAMEH, es necesario que los datos pasen primero por el hub de la NASA. Además, al tratarse de un satélite geoestacionario,

se ha calculado la primera zona de fresnel obteniendo un valor de $F_1=2.854,01$ metros, considerando como criterio de diseño que la primera zonal de fresnel tiene que estar despejada en al menos un 60% para garantizar un radioenlace exitoso.

Para finalizar, el plazo de ejecución estimado del proyecto es de veinticuatro (24) meses y el costo total estimado es de un monto de un millón trescientos once mil novecientos catorce euros con cuarenta y tres céntimos (1.311.914,43 €). En este monto se incluye el presupuesto de ejecución material, los gastos generales y el beneficio industrial, tal y como se muestra en la siguiente tabla resumen.

Presupuesto de Ejecución Material [€]	1.049.531,54 €
6% Gastos Generales [€]	62.971,89 €
19% Beneficio Industrial [€]	199.410,99 €
Coste total de Ejecución por Contrata [€]	1.311.914,43 €

Tabla 1. Tabla resumen coste total del proyecto

CONCLUSIONES

Tras el análisis realizado sobre las oportunidades que presenta Venezuela para instalar redes hidrometeorológicas en sus cuencas hidrográficas y el futuro hacia el que camina la OMM con sus nuevas reformas en materia de recursos hídricos y meteorológicos, resulta evidente la necesidad de explotación de este tipo de tecnologías en este país. Sin embargo, tal y como se demostrará a lo largo de la memoria, la red hidrometeorológica cuenta con un diseño complejo, ya que está compuesta por componentes de distinta naturaleza los cuales deben coordinarse correctamente entre ellos, para garantizar el funcionamiento idóneo de la totalidad de la red.

Para concluir, me gustaría señalar la enorme repercusión que tiene la instalación de esta red hidrometeorológica en Venezuela por varias razones. En primer lugar, para ampliar y optimizar la red hidrometeorológica nacional llevando esto a la modernización de los sistemas de recopilación, transmisión y control de los datos hidrometeorológicos. Por otro lado, promueve la creación de una estadística oficial, inexistente en la actualidad, que recopile tanto datos climatológicos como el estado en tiempo real de los ríos y embalses del país. La posibilidad de poder acceder a estos datos, sería de gran utilidad para futuros proyectos: la construcción de presas, defensas de inundaciones, puentes..., así como para ayudar a una mejor gestión del sistema eléctrico venezolano donde el 70% de la generación es hidroeléctrica.

REFERENCIAS

- [1] OMM, Organización Meteorológica Mundial, «Especial atención a la urgencia de la acción climática en la reunión preparatoria para la cumbre de las Naciones Unidas,» 2019. [En línea]. Available: <https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/especial-atención-la-urgencia-de-la-acción-climática-en-la-reunión>.
- [2] SEBA Hydrometrie, Instrucciones para el uso estación tipo AWS, Número de artículo: MET 460X.
- [3] PHI, Programa Hidrológico Internacional, «Actividades realizadas en el período octubre 2015 - mayo 2017.,» [En línea]. Available: <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Montevideo/images/Pais-Venezuela.pdf>.
- [4] NEO, Networking and Emerging Optimization, «Medios de transmisión,» [En línea]. Available: <http://neo.lcc.uma.es/evirtual/cdd/tutorial/fisico/Mtransm.html>.
- [5] Nanotec, «La utilización del puerto serial RS 232,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.nanotec.es/la-utilizacion-del-puerto-serial-rs-232/>

HYDROMETEOROLOGICAL NETWORK FEEDED WITH SOLAR PANELS IN VENEZUELA

Author: Bascuñana Sechi, María José

Director: Arbaizar González, Javier

Collaborating Institution: ICAI - Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

INTRODUCTION

The aim of this final Master's project is the study, design and implementation of a hydrometeorological network in Venezuela that will be powered by solar panels and will communicate with the control centre of INAMEH (National Institute of Meteorology and Hydrology) through radio links by GOES satellite.

The design and installation of this network is part of a project for the INAMEH of Venezuela. For the global project, the client requests the design and installation of three hundred and thirty-five (335) automatic hydrometeorological stations throughout Venezuela. Due to the large extent of the hydrometeorological network covered by the project, this report has deepened in the study of only eighty (80) hydrometeorological stations, which correspond to the stations installed in the states of Amazonas, Anzoátegui, Apure, Aragua, Barinas and Bolívar, which are located within the scope of the Orinoco river basin.

In this report, the study is divided in four main parts. Firstly, an analysis about the current panorama of policies and new reforms in the field of meteorology and hydrology at the international level posed by the World Meteorological Organization (WMO) is carried out. Then, a study about the geographical and hydrological situation of Venezuela is also made and the reasons why it is an ideal country for the implementation of this type of networks are discussed. In the second chapter, the main characteristics of the hydrometeorological network are defined, describing the different components that form it: the sensors, the data logger and the GOES transmitter. In the next chapter, the hydrometeorological network power system is detailed and designed. First, the possible energy sources are analyzed and finally the photovoltaic energy is selected as the most suitable solution for this project, from both a technical and climatic point of view. In addition, the protection system is described. In the fourth chapter, the communication system is analyzed, defining both the internal communication established between the different components of the hydrometeorological network, and the satellite communication between the station and the GOES satellite. Finally, the project is closed with two last documents: the solicitation document, where the technical specifications of all the equipment selected for the network appear, for both sensors and the data acquisition and transmission equipment, and also electrical data and dimensions of all power system equipment are detailed; finally, the project budget is presented.

RESULTS

For the design of the hydrometeorological network, very conservative design criteria have been selected in order to guarantee the robustness and stability of the hydrometeorological network. The design criteria that have been prioritized were the following ones: high reliability of the equipment; few maintenance requirements, for both data acquisition equipment and photovoltaic installation equipment; and high availability of the power system and the communications network, to guarantee the continuity of the electricity supply and the acquisition and transmission of data, in order to have access to truthful and quality information in real time.

First, each station or control point has been considered as an independent subsystem and is linked to each other via satellite. Four types of stations can be distinguished, depending on the measurement parameters: climatological station, rain gauge station, hydrometric station and reservoir station. Regardless of the type of station, all of them have the following elements:

- Sensors required for each type of Station.
- Data acquisition unit (UAD) ○ Data logger
- GOES transmitter with its peripherals.
- Solar panels with battery power supplies backup, in addition to those sites that require an AC / DC converters will be installed.
- Supports, towers, perimeter fencing and required infrastructure.

All the components of the station need electrical current for its operation. Due to the instability of the conventional electricity network in Venezuela and the unavailability of connection points to the conventional network at the stations because of its remote location, the power source selected for the hydrometeorological network is solar energy. The photovoltaic system has been designed and calculated for each of the eighty stations, each consisting of a 30W and 12V solar panel, a 12V battery with five days of autonomy and a battery charge regulator with a Charging intensity of 15 A. In the climatological-type stations, 2 solar panels have been installed since the energy demand of such stations is higher because of the great number of sensors installed.

Moreover, the protection system has been designed. In an installation of these characteristics, the protections are mainly installed to cope with surges. Surge is usually caused by the power grid and lightning. In this case, the power grid does not reach our sensors, everything is powered by solar panels, as mentioned above. Three types of surge arresters have been selected, placed one next to the power supply, an axial arrester for the satellite connection and two analog and digital signal arresters, located at both sides of the data logger. The following sketch summarizes the power and protection system of an hydrometeorological station.

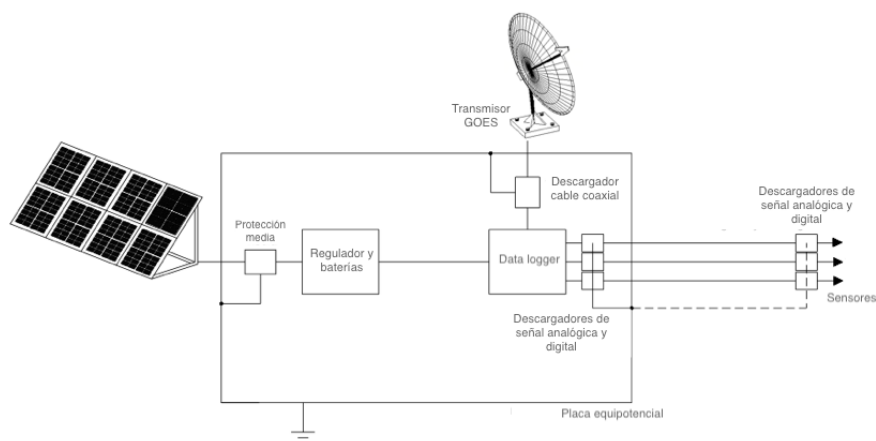


Figure 1. Feeding system and protections scheme for an hydrometeorological station. Source: self-made

The predominant communication in this hydrometeorological network is satellite communication via GOES geostationary satellite, which is always located at a fixed point with respect to the earth's surface. Thanks to this satellite, the data captured by the sensors arrives at the INAMEH control center. Different communication systems are distinguished within the hydrometeorological station. On the one hand, the communication between the sensors and the data acquisition unit is carried out by means of analog electrical signals, most of the installed sensors are connected with a 4 to 20 mA current loop. Between the data acquisition equipment (data logger) and the transmitter, the communication is done through the RS-232 serial port with a DB-9 connector. Finally, communication between the GOES transmitter and the satellite is established by means of VHF and UHF radio links. The following scheme represents the type of communication between each equipment that forms the station.

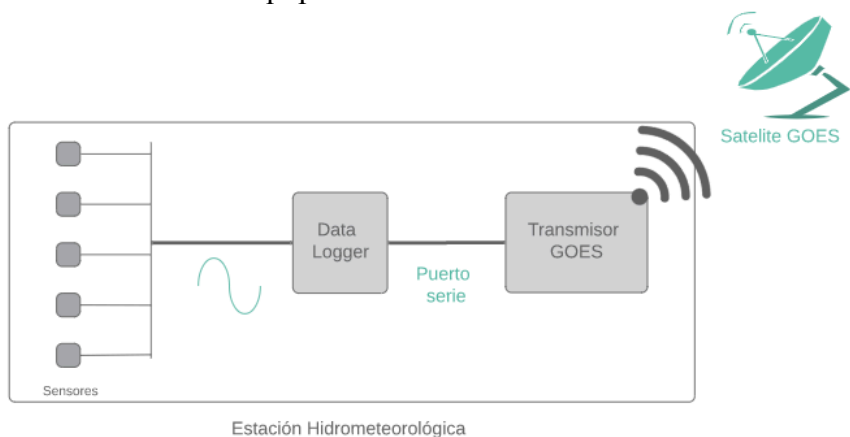


Figure 2. Communication system sketch for an hydrometeorological station. Source: self-made

Regarding the communication system, it is also important to highlight that there are some communication restrictions due to GOES satellite: communication between the station and the satellite is unidirectional, each control point can only transmit information in a given time slot and data cannot be sent directly from the satellite to the INAMEH control center, it is necessary that first data pass through the NASA hub. In addition, since it is a geostationary satellite, the first zone of Fresnel has been calculated obtaining a value of $F1 = 2.854,01$ meters. In order to guarantee a successful radio link, a design criterion is

considered: the first area of Fresnel must be cleared by at least 60% to reach a suitable data transmission.

Finally, the estimated execution period of the project is twenty-four (24) months and the total estimated cost is one million three hundred eleven thousand nine hundred fourteen euros and forty-three cents (€ 1.311.914,43). This amount includes the material execution budget, general expenses and industrial benefit, as shown in the following summary table.

Material Execution Budget[€]	1.311.914,43 €
6% General expenses [€]	78.714,87 €
19% Industrial Benefit [€]	249.263,74 €
Total Cost of Execution by Contract [€]	1.639.893,03 €

Table 1. Project budget summary table

CONCLUSION

After the analysis carried out on the opportunities that Venezuela presents to install hydrometeorological networks in its hydrographic basins and the future towards which WMO walks with its new reforms in the area of water and meteorological resources, the need for exploitation of this type of technologies is evident in this country. However, as it would be shown throughout the memory, the hydrometeorological network has a complex design, since it is composed of components of different nature which must be properly coordinated between them, to ensure the proper functioning of the whole of the network.

To conclude, I would like to point out the enormous impact of the installation of this hydrometeorological network in Venezuela for several reasons. First, to expand and optimize the national hydrometeorological network leading to the modernization of the systems of collection, transmission and control of hydrometeorological data. On the other hand, it promotes the creation of an official statistic, non-existent at present, that collects both weather data and the real-time state of the country's rivers and reservoirs. The possibility of having access to this kind of data would be very useful for future projects: the construction of dams, flood defences, bridges ..., as well as to help better management of the Venezuelan electrical system, where 70% of the generation It is hydroelectric.

REFERENCES

- [1] OMM, Organización Meteorológica Mundial, «Especial atención a la urgencia de la acción climática en la reunión preparatoria para la cumbre de las Naciones Unidas,» 2019. [En línea]. Available: <https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/especial-atención-la-urgencia-de-la-acción-climática-en-la-reunión>.
- [2] SEBA Hydrometrie, Instrucciones para el uso estación tipo AWS, Número de artículo: MET 460X.
- [3] PHI, Programa Hidrológico Internacional, «Actividades realizadas en el período octubre 2015 - mayo 2017.,» [En línea]. Available: <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Montevideo/images/Pais-Venezuela.pdf>.
- [4] NEO, Networking and Emerging Optimization, «Medios de transmisión,» [En línea]. Available: <http://neo.lcc.uma.es/evirtual/cdd/tutorial/fisico/Mtransm.html>.
- [5] Nanotec, «La utilización del puerto serial RS 232,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.nanotec.es/la-utilizacion-del-puerto-serial-rs-232/>

Agradecimientos

Después de un largo recorrido por la escuela de ingeniería del ICAI, por fin hoy pongo punto y final a mi trabajo de fin de master. Ha sido un largo periodo de esfuerzo, aprendizaje y dedicación, el cual no habría sido capaz de sobrellevar sin el apoyo que me ha sido brindado durante este proceso.

En primer lugar, me gustaría dar las gracias a mi director de proyecto, Javier González Arbaizar, por su dedicación y disponibilidad durante este tiempo. Ha sabido guiarme y darme las herramientas necesarias para la realización de este proyecto de diseño y ejecución, transmitiéndome constantemente nuevas curiosidades acerca del mundo de la hidrometeorología.

Por supuesto, me gustaría dar las gracias a mi familia por su apoyo constante e incondicional, no solo durante este proceso, sino durante estos seis años. Gracias por sus consejos y por su cariño en el día a día, sin ellos esto no habría sido posible.

Por último, y no por ello menos importante, quiero dar las gracias a todos mis amigos y compañeros por su comprensión y apoyo, que han estado siempre presentes en todo momento, enseñándome a ver el lado positivo de las cosas y acompañándome en estos años de duro esfuerzo.

INDICE

Agradecimientos	12
INDICE DE TABLAS	15
INDICE DE FIGURAS	18
DOCUMENTO 1:	21
MEMORIA	21
Introducción	22
Motivación	22
Objetivos del proyecto	23
Metodología de trabajo.....	23
Recursos a emplear	24
Estado del arte	25
Contextualización.....	25
Redes hidrometeorológicas	27
La hidrometeorología en Venezuela	28
Como está afectando el cambio climático en Venezuela	29
Estudio geográfico	30
Redes hidrometeorológicas actuales en Venezuela	33
Capítulo 1. Redes hidrometeorológicas	36
Descripción de la red	36
Estaciones hidrometeorológicas	37
Sensores	42
Unidad de adquisición de datos (UAD)	55
Unidad de transmisión GOES.....	57
Capítulo 2. Sistema de alimentación y protecciones	60
Sistema de alimentación	60
Diseño y dimensionamiento de equipos	63
Puntos críticos.....	84
Protecciones	88
Esquema del sistema de alimentación y protecciones	94
Capítulo 3. Sistema de comunicación e información	95
Introducción.....	95
Sistema de comunicación por satélite	95
Sistema de comunicación e información en la estación	96
Sensores – Data logger	96
Data logger - Unidad de transmisión GOES	98
Transmisor GOES - Satélite GOES	99
Sistema de comunicación e información entre en Satélite y el centro de control	102
Plazo de ejecución	104
Presupuesto	104
Conclusiones	105
DOCUMENTO 2:	107
PLIEGO DE CONDICIONES	107

PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS Y PARTICULARES.....	108
Especificaciones técnicas de las estaciones y equipos	108
Sensores	108
Unidad de adquisición de datos (UAD)	121
Unidad de transmisión GOES.....	125
Especificaciones técnicas de los sistemas de alimentación y protecciones	127
Paneles solares	127
Baterías.....	128
Regulador de carga	129
Aerogenerador	132
Protecciones	134
DOCUMENTO 3:	139
PRESUPUESTO	139
PRESUPUESTO	140
Mediciones	140
Precios unitarios.....	141
Sumas parciales.....	142
Presupuesto general	144
ANEXOS.....	147
Anexo 1: Coordenadas geográficas de las estaciones hidrometeorológicas objeto de estudio.....	148
Anexo 2: Cálculo de paneles solares para todas las ochenta estaciones hidrometeorológicas	153
Anexo 3: Planos cableado estación hidrometeorológica	156
Anexo 3.1. Estación Climatológica	157
Anexo 3.2. Estación Pluviométrica.....	158
Anexo 3.3. Estación Hidrométrica.....	159
Anexo 3.4. Estación de Embalse	160
Bibliografía.....	161

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tabla resumen coste total del proyecto.....	5
Tabla 1. Número de estaciones hidrometeorológicas instaladas en el proyecto global según estado y tipología.....	38
Tabla 2. Tabla resumen del número de estaciones según tipología proyecto global.....	38
Tabla 3. Tabla resumen número de estaciones estudiadas en este proyecto según tipología.....	39
Tabla 4. Parámetros de registro por tipo de estación.....	40
Tabla 5. Parámetros y unidades de medición de los sensores.....	40
Tabla 6. Configuración final de parámetros de registro de una estación climatológica.....	41
Tabla 7. Leyenda croquis estación tipo climatológica SEBA.....	41
Tabla 8. Tabla de consumo de los sensores hidrometeorológicos.....	65
Tabla 9. Tabla de consumo de los data loggers.....	66
Tabla 10. Consumo según estado de los data loggers.....	66
Tabla 11. Tabla de consumos del Transmisor GOES.....	67
Tabla 12. Posibles escenarios de consumo del transmisor GOES según la frecuencia y la velocidad de transmisión.....	67
Tabla 13. Consumo total diario estación de tipo climatológica.....	68
Tabla 14. Consumo total diario estación de tipo pluviométrica.....	69
Tabla 15. Consumo total diario estación de tipo hidrométrica.....	69
Tabla 16. Consumo total diario estación de tipo embalse.....	69
Tabla 17. Dimensionamiento panel solar estación climatológica del Amazonas coordenadas [3.11, -65,79].....	73
Tabla 18. Dimensionamiento panel solar estación pluviométrica de Apure [7.12, -70,77].	75
Tabla 19. Dimensionamiento panel solar de la estación hidrométrica de Anzoátegui de coordenadas [7.70, -64.73].....	77
Tabla 20. Datos de irradiación solar mensual de estación de Embalse de Aragua de coordenadas [9.79, -66.97]Fuente: European Comission, Photovoltaic Geographical Information System PVGIS Interactive Tool.....	78
Tabla 21. Dimensionamiento panel solar de la de Embalse de Aragua de coordenadas [9.79, -66.97].	79
Tabla 22. Dimensionamiento de la batería de la estación climatológica del Amazonas	80
Tabla 23. Dimensionamiento de la batería de la estación pluviométrica de Apure.....	81
Tabla 24. Dimensionamiento de la batería de la estación hidrométrica de Anzoátegui.	81
Tabla 25. Dimensionamiento de la batería de la estación de embalse de Aragua.....	81
Tabla 26. Dimensionamiento del regulador de carga para las estaciones climatológicas.....	82
Tabla 27. Dimensionamiento del regulador de carga para las estaciones pluviométricas, hidrométricas y de embalse.....	83
Tabla 28. Cálculo aerogenerador Wind 13+ para estación de embalse.....	86
Tabla 29. Croquis de funcionamiento de los descargadores de sobretensión. Fuente: Elaboración propia.....	89
Tabla 30. Parámetros más significadores de los protectores de sobretensión transitoria Tipo 1, Tipo 2 y Tipo 3. Fuente: Guía BT-23 [28].....	90
Tabla 31. Pines del conector DB-9.....	99
Tabla 32. Tabla resumen coste total del proyecto.....	104
Tabla 32. Datos técnicos sensor de la velocidad del viento SEBA Hydrometrie. Fuente: Instrucciones para el uso AWS. Número de artículo: MET 460X.....	108

Tabla 33. Datos técnicos sensor de la dirección del viento SEBA Hydrometrie. Fuente: Instrucciones para el uso AWS. Número de artículo: MET 460X	109
Tabla 34. Datos técnicos sensor de viento por ultrasonido combinado SEBA Hydrometrie. Fuente: Instrucciones para el uso AWS. Número de artículo: MET 460X	109
Tabla 35. Datos técnicos sensor de la temperatura y la humedad (combinado) SEBA Hydrometrie. Fuente: Instrucciones para el uso AWS. Número de artículo: MET 460X.....	110
Tabla 36. Datos técnicos sensor de la temperatura del aire SEBA Hydrometrie. Fuente: Instrucciones para el uso AWS. Número de artículo: MET 460X	110
Tabla 37. Datos técnicos sensor de la temperatura del suelo SEBA Hydrometrie. Fuente: Instrucciones para el uso AWS. Número de artículo: MET 460X	110
Tabla 38. Datos técnicos sensor de la radiación solar SEBA Hydrometrie. Fuente: Instrucciones para el uso AWS. Número de artículo: MET 460X	111
Tabla 39. Datos técnicos sensor de las horas de sol SEBA Hydrometrie. Fuente: Instrucciones para el uso AWS. Número de artículo: MET 460X	111
Tabla 40. Datos técnicos sensor de la presión de aire SEBA Hydrometrie. Fuente: Instrucciones para el uso AWS. Número de artículo: MET 460X	112
Tabla 41. Datos técnicos tanque de evaporación SEBA Hydrometrie. Fuente: Instrucciones para el uso AWS. Número de artículo: MET 460X	112
Tabla 42. Datos técnicos pluviómetro modelo RG50 SEBA Hydrometrie. Fuente: Instrucciones para el uso RG 50 SEBA Hydrometrie.....	113
Tabla 43. Datos técnicos pluviómetro modelo RG100 SEBA Hydrometrie. Fuente: Instrucciones para el uso RG 100 SEBA Hydrometrie.....	114
Tabla 44. Datos técnicos PS-light-2-sensor SEBA Hydrometrie. Fuente: Instrucciones para el uso PS-light-2-sensor. Número de artículo: PSL 538 SEBA Hydrometrie.	117
Tabla 45. Datos técnicos PS-sensor SEBA Hydrometrie. Fuente: Instrucciones para el uso PS-sensor. Número de artículo: PSB 533 SEBA Hydrometrie.....	119
Tabla 46. Datos técnicos sensor radar del nivel del agua VEGAPULS 64. Fuente: Hoja de datos del producto VEGAPULS64. 4-20mA/HART	120
Tabla 47. Umbral de tensión para monitoreo Unilog MDS 111	121
Tabla 48. Datos técnicos Unilog MDS 111 SEBA Hydrometrie. Fuente: Instrucciones para el uso Unilog, Número de artículo: MDS 111	122
Tabla 49. Umbral de tensión para monitoreo Unilog-light MDS 55X	123
Tabla 50. Datos técnicos Unilog-light MDS 55X SEBA Hydrometrie. Fuente: Instrucciones para el uso Unilog-light, Número de artículo: MDS 55X SEBA Hydrometrie	124
Tabla 51. Datos técnicos transmisor via satélite GOES. Fuente: Catálogo Stevens SatComm GOES CS2/v2.0 Transmitter.	126
Tabla 52. Datos técnicos módulos solares Sun Plus 30. Fuente: Catálogo Phaesun Solar Modules.....	128
Tabla 53. Datos técnicos y dimensiones de las baterías modelo MEBG12-X de ME. Fuente:Ficha técnica Baterías gel del fabricante ME	129
Tabla 54. Datos técnicos regulador de carga MINO V2 12/24V 15A. Fuente: Catálogo regulador Mino V2 ATERSA	131
Tabla 55. Características mecánicas del regulador MINO V2 12/24V 15A. Fuente: Catálogo regulador Mino V2 ATERSA.....	131
Tabla 56. Datos técnicos aerogenerador Wind 13+. Fuente: Bornay - Catálogo Wind Plus	133

Tabla 57. Datos técnicos descargador de sobretensiones modelo DG MOD 275. Fuente: Catálogo Protection module for DEHNguard.....	134
Tabla 58. Datos técnicos descargador CN-LAMBDA/4-2.25 BB de Phoenix. Fuente: Catálogo de productos Phoenix Contact artículo: 280205.....	135
Tabla 59. Datos técnicos descargador PT-IQ-2X1-24DC-PT de Phoenix. Fuente: Catálogo de productos Phoenix Contact artículo: 2801247.....	137
Tabla 60. Tabla de mediciones de sensores	140
Tabla 61. Tabla de mediciones de los equipos de adquisición y transmisión.....	140
Tabla 62. Tabla de mediciones de los equipos de la instalación fotovoltaica	141
Tabla 63. Tabla de precios unitarios de sensores.....	141
Tabla 64. Tabla de precios unitarios de los equipos de adquisición y transmisión	141
Tabla 65. Tabla de precios unitarios de los equipos de la instalación fotovoltaica	142
Tabla 66. Tabla de costes de las estaciones climatológicas.....	142
Tabla 67. Tabla de costes de las instalaciones pluviométricas	143
Tabla 68. Tabla de costes de las instalaciones hidrométricas.....	143
Tabla 69. Tabla de costes de las instalaciones de embalse	144
Tabla 70. Tabla resumen coste ejecución material	144
Tabla 71. Tabla resumen coste total del proyecto.....	145
Tabla 72. Coordenadas geográficas de las ochenta estaciones hidrometeorológicas objeto de estudio	150

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema sistema de alimentación y protecciones estación hidrometeorológica. Fuente: Elaboración propia.....	4
Figura 2. Croquis sistema de comunicación en la estación hidrometeorológica. Fuente: Elaboración propia.....	4
Figura 1. Cronograma TFM.....	24
Figura 2. Propuesta de la estructura organizativa del INAMEH actual. Fuente: El INAMEH [5].....	29
Figura 3. Mapa político de Venezuela. Fuente: Mapamundi [9].	31
Figura 4. Mapa físico de Venezuela. Fuente: Mapamundi [9].	32
Figura 5. Mapa de las cuencas hidrográficas de Venezuela. Fuente: Venezuela: hidrografía [11].	33
Figura 6. Ubicación de las 80 estaciones hidrometeorológicas objeto de estudio. Fuente: Elaboración propia.....	37
Figura 7. Esquema básico de una estación hidrometeorológica. Fuente: Elaboración propia	39
Figura 8. Croquis estación meteorológica automática SEBA tipo AWS. Fuente: Catálogo SEBA Hydrometrie, producto: AWS, Número de artículo: MET 460X.....	42
Figura 9. Sensor de la velocidad del viento.....	44
Figura 10. Sensor de la dirección del viento.....	45
Figura 11. Sensor de viento por ultrasonido combinado.....	45
Figura 12. Sensor de la temperatura y la humedad del aire (combinado).....	46
Figura 13. Sensor de la temperatura del aire.....	47
Figura 14. Sensor de la temperatura del suelo.....	47
Figura 15. Sensor de la radiación solar.....	48
Figura 16. Sensor de las horas de sol.....	49
Figura 17. Sensor de la presión de aire y pantalla del mismo.....	49
Figura 18. Pluviómetro.....	51
Figura 19. Croquis principio de burbujeo para medir la altura de una instalación. Leyenda: A, Altura de referencia; B, Altura de la instalación medida con el sensor; C1, altura de las boquillas.....	52
Figura 20. Sensor radar del nivel del agua.....	54
Figura 21. Tipos de polarización en antenas de transmisión.....	59
Figura 22. Antena Yagi y Helicoidal.....	59
Figura 23. Croquis sistema de alimentación en una estación hidrometeorológica. Fuente: Elaboración propia.....	60
Figura 24. Ciclo de transmisión del data logger. Fuente: Elaboración propia.....	66
Figura 25. Ciclo de transmisión del transmisor GOES. Fuente: Elaboración propia.	67
Figura 26. Interpretación gráfica de las horas de sol pico. Fuente: Wikipedia.....	71
Figura 27. Situación geográfica estación climatológica del Amazonas [3.11, -65,79]. Fuente: European Comission, Photovoltaic Geographical Information System PVGIS Interactive Tool [25].....	72
Figura 28. Curva de irradiación solar mensual de la estación climatológica del Amazonas [3.11, -65,79]. Fuente: European Comission, Photovoltaic Geographical Information System PVGIS Interactive Tool.....	72
Figura 29. Curva de la distribución diaria de irradiación solar en el mes de junio de la estación climatológica del Amazonas [3.11, -65,79]. Fuente: European Comission, Photovoltaic Geographical Information System PVGIS Interactive Tool.....	72

Figura 30. Situación geográfica estación pluviométrica de Apure [7.12, -70,77]. Fuente: European Comission, Photovoltaic Geographical Information System PVGIS Interactive Tool.....	73
Figura 31. Curva de irradiación solar mensual de la estación pluviométrica de Apure [7.12, -70,77]. Fuente: European Comission, Photovoltaic Geographical Information System PVGIS Interactive Tool.....	74
Figura 32. Curva de la distribución diaria de irradiación solar en el mes de junio de la estación pluviométrica de Apure [7.12, -70,77]. Fuente: European Comission, Photovoltaic Geographical Information System PVGIS Interactive Tool.....	74
Figura 33. Situación geográfica estación hidrométrica de Anzoátegui [7.70, -64.73]. Fuente: European Comission, Photovoltaic Geographical Information System PVGIS Interactive Tool	75
Figura 34. Curva de irradiación solar mensual de estación hidrométrica de Anzoátegui [7.70, -64.73]. Fuente: European Comission, Photovoltaic Geographical Information System PVGIS Interactive Tool.....	76
Figura 35. Curva de la distribución diaria de irradiación solar en el mes de junio de la estación hidrométrica de Anzoátegui [7.70, -64.73]. Fuente: European Comission, Photovoltaic Geographical Information System PVGIS Interactive Tool.....	76
Figura 36. Situación geográfica estación de Embalse de Aragua de coordenadas [9.79, -66.97] Fuente: European Comission, Photovoltaic Geographical Information System PVGIS Interactive Tool.....	77
Figura 37. Curva de irradiación solar mensual de estación de Embalse de Aragua de coordenadas [9.79, -66.97]. Fuente: European Comission, Photovoltaic Geographical Information System PVGIS Interactive Tool.....	78
Figura 38. Curva de la distribución diaria de irradiación solar en el mes de junio de la estación de Embalse de Aragua de coordenadas [9.79, -66.97]. Fuente: European Comission, Photovoltaic Geographical Information System, PVGIS Interactive Tool	79
Figura 39. Curva de la energía producida por el aerogenerador. Fuente: Bornay, Catálogo Wind Plus.....	85
Figura 40. Esquema de una instalación que incluye los tres tipos de protecciones contra sobretensiones transitorias. Fuente: Guía BT-23 [28].	90
Figura 41. Ejemplo funcionamiento del diodo bypass de los paneles solares. Fuente: SFE Solar [29].	93
Figura 42. Esquema sistema de alimentación y protecciones estación hidrometeorológica. Fuente: Elaboración propia.....	94
Figura 43. Croquis sistema de comunicación en la estación hidrometeorológica. Fuente: Elaboración propia	96
Figura 44. Lazo de corriente 4-20 mA. Fuente: IsoTest.net	97
Figura 45. Conector DB-9 Macho y hembra. Fuente: CCM [34].....	98
Figura 46. Elipsoide de Fresnel. Fuente: [36].....	101
Figura 47. Criterio de diseño de Fresnel para radioenlaces. Fuente: [36].	101
Figura 48. Croquis sistema de comunicación e información de la estación hidrometeorológica, el satélite GOES, la Nasa y el INAMEH. Fuente: Elaboración propia	103
Figura 49. Croquis conexión pluviómetro modelo RG50 SEBA Hydrometrie. Fuente: Instrucciones para el uso RG 50 SEBA Hydrometrie.....	113
Figura 50. Croquis conexión pluviómetro modelo RG100 SEBA Hydrometrie. Fuente: Instrucciones para el uso RG 100 SEBA Hydrometrie.....	114

Figura 51. PS-light-2-sensor (único rango) SEBA Hydrometrie. Fuente: Instrucciones para el uso PS-light-2-sensor. Número de artículo: PSL 538 SEBA Hydrometrie.	115
Figura 52. Croquis conexión eléctrica PS-light-2-sensor SEBA Hydrometrie. Fuente: Instrucciones para el uso PS-light-2-sensor. Número de artículo: PSL 538 SEBA Hydrometrie.	117
Figura 53. Croquis PS-sensor SEBA Hydrometrie. Fuente: Instrucciones para el uso PS-sensor. Número de artículo: PSB 533 SEBA Hydrometrie.	118
Figura 54. Conexiones eléctricas sensor radar VEGAPULS 64. Fuente: Hoja de datos del producto VEGAPULS64. 4-20mA/HART	120
Figura 55. Puertos del transmisor Stevens SatComm GOES. Fuente: Catálogo Stevens SatComm GOES CS2/v2.0 Transmitter	126
Figura 56. Croquis dimensiones placa solar Sun Plus 30. Fuente: Catálogo Phaesun Solar Modules.	127
Figura 57. Croquis del aerogenerador Wind 13+. Fuente: Bornay - Catalogo Wind Plus	132
Figura 58. Curva de potencia del aerogenerador Bornay 13+. Fuente: Bornay - Catálogo Wind Plus	133
Figura 59. Dimensiones en mm y circuito básico del descargador DG MOD 275. Catálogo Protection module for DEHNguard.	134
Figura 60. Dimensiones descargador CN-LAMBDA/4-2.25 BB de Phoenix. Fuente: Catálogo de productos Phoenix Contact artículo: 280205.	136
Figura 61. Dimensiones del descargador PT-IQ-2X1-24DC-PT de Phoenix. Fuente: Catálogo de productos Phoenix Contact artículo: 2801247.	136
Figura 62. Visión global Venezuela. Fuente: Elaboración propia.	150
Figura 63. Mapa de estaciones del estado de Barinas, Apure y Aragua. Fuente: Elaboración propia.	151
Figura 64. Mapa de estaciones del estado de Aragua, Anzoátegui y Bolívar. Fuente: Elaboración propia.	151
Figura 65. Mapa de estaciones del estado de Bolívar. Fuente: Elaboración propia.	152
Figura 66. Mapa de estaciones del estado de Amazonas. Fuente: Elaboración propia.	152

DOCUMENTO 1:

MEMORIA

Introducción

Este proyecto de fin de máster tiene como objeto el estudio, diseño e implantación de una red hidrometeorológica en Venezuela que será alimentada mediante paneles solares y se comunicará con el centro de control del INAMEH (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología) mediante radioenlaces a través del satélite GOES.

El estudio se divide en cuatro partes. En el primer capítulo, se realiza un análisis sobre el panorama actual de las políticas y las nuevas reformas en materia de meteorología e hidrología a nivel internacional que plantea la Organización Meteorológica Mundial (OMM). También se hace un estudio de la situación geográfica e hidrológica de Venezuela y se analizan las razones por las que es un país idóneo para la implantación de este tipo de redes. En el segundo capítulo, se definen las principales características de la red hidrometeorológica, describiendo los diferentes componentes que la forman: los sensores, las unidades de adquisición de datos y el transmisor GOES. En el capítulo siguiente, se detalla y diseña el sistema de alimentación de la red hidrometeorológica. Primero se analizan las posibles fuentes de energía y finalmente se selecciona la energía fotovoltaica como solución más adecuada para el proyecto, tanto desde el punto de vista técnico como climático. Además, se describe el sistema de protecciones. En el cuarto capítulo, se analiza el sistema de comunicación, definiéndose tanto la comunicación interna que se establece entre los distintos componentes de la red hidrometeorológica, como la comunicación vía satélite entre la estación y el satélite GOES. Por último, se cierra el proyecto con dos últimos documentos: el pliego de condiciones, donde aparecen las especificaciones técnicas de todos los equipos seleccionados para la red, tanto de los sensores como de los equipos de adquisición y transmisión de datos, y se detallan también los datos eléctricos y las dimensiones de todos los equipos del sistema de alimentación; y para finalizar, se presenta el presupuesto del proyecto.

Motivación

La motivación del proyecto se resume con los siguientes puntos:

- En primer lugar, entender la planificación, el diseño, la ingeniería y la ejecución que hay detrás de los proyectos de redes hidrometeorológicas. Así como, proponer soluciones para el suministro eléctrico de este tipo de redes mediante energías renovables.
- En segundo lugar, el estudio, la comprensión y la implementación de instalaciones fotovoltaicas. Se trata de una tecnología que cada vez gana más popularidad, no solo por lo económico que es producirla, sino también porque es mucho más segura y estable que las redes de energía como las que se utilizan concretamente en Venezuela.
- Por último, entender y plantear soluciones ante el problema unívoco que provoca el cambio climático en la hidrografía en un país rico en recursos hídricos como Venezuela.

Objetivos del proyecto

A continuación, se presentan los principales objetivos de este proyecto:

- ✓ Entender el principio de funcionamiento las redes hidrometeorológicas, sus ventajas e inconvenientes.
- ✓ Análisis de los riesgos y oportunidades de la implantación de una red hidrometeorológica en Venezuela.
- ✓ Definición y diseño de la red hidrometeorológica (tipología de los sensores, localización geográfica de los mismos...)
- ✓ Estudiar y justificar la solución óptima para la alimentación de este tipo de redes (conexión a la red eléctrica, empleo de fuentes de energía renovables: hidráulica, solar, ...).
- ✓ Estudio y cálculo del sistema de alimentación y protecciones de cada uno de los sistemas que comprenden la red hidrometeorológica.
- ✓ Entender la infraestructura de comunicaciones entre los elementos que forman la red: sistema de información y recogida de datos.
- ✓ Redacción final de la memoria.

Metodología de trabajo

Con la finalidad de realizar este proyecto adecuadamente, se han dividido las tareas en cinco y se han ordenado cronológicamente a lo largo del tiempo.

En primer lugar, los dos primeros meses del proyecto se han destinado a la recopilación de datos, el estudio del estado del arte de las tecnologías a emplear y de proyectos ya existentes. El objetivo de esta primera etapa es tener una visión global del proyecto, orientar los objetivos del mismo y asentar las bases de conocimiento para el posterior desarrollo del proyecto.

En la segunda etapa, el objetivo principal es establecer las características principales del proyecto, asentando así las bases para las especificaciones técnicas que se definirán posteriormente. En este periodo se han definido los rasgos generales tanto de la red hidrometeorológica (número de estaciones que componen la red, ubicación de las estaciones, tipo de sensores, sistema de comunicaciones (vía satélite), sistema de adquisición de datos, ...) como del sistema de alimentación y protección de la misma (ventajas de la instalación fotovoltaica frente a la red convencional, rasgos principales de los paneles y reguladores fotovoltaicos en los puntos de alimentación).

A continuación, en la tercera etapa se ha procedido al cálculo y a la descripción detallada de los diferentes sistemas de estudio con el objetivo de implementar todos los requerimientos establecidos en la etapa anterior. En esta etapa se ha calculado la instalación fotovoltaica, se han estudiado los sistemas y protocolos de comunicación y se ha realizado el presupuesto del proyecto.

Para terminar, las dos últimas etapas han sido esenciales para la finalización del proyecto, durante este tiempo se ha llevado a cabo la redacción y formateo de la memoria final.

La metodología queda resumida en el cronograma mostrado a continuación:

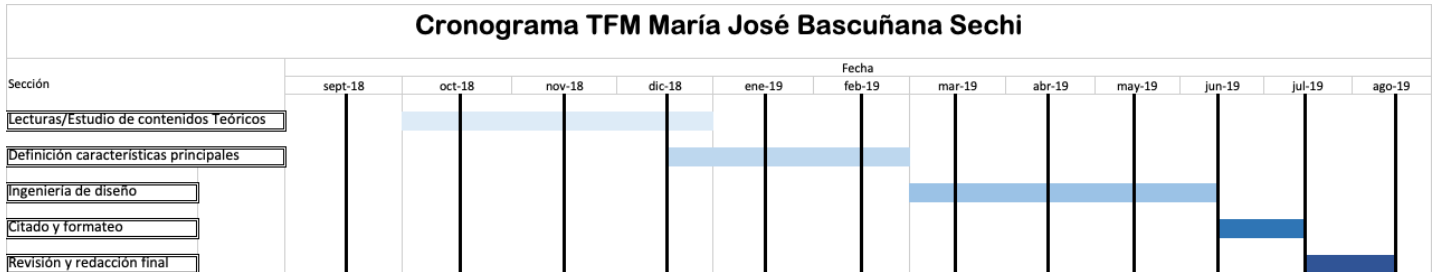


Figura 1. Cronograma TFM

Recursos a emplear

Los recursos y referencias bibliográficas empleadas para la realización de este trabajo serán los proyectos y artículos relacionados con el campo de estudio y se adjuntarán en la bibliografía al final del proyecto.

En cuanto a las herramientas empleadas para el desarrollo del proyecto, cabe destacar Excel. Se ha empleado tanto para los cálculos de los consumos de los sensores y los paneles fotovoltaicos, como para definir el BoQ (Bill of Quantities), es decir, el número y tipo de sensor necesario para cada tipología de estaciones hidrometeorológica, y el presupuesto del proyecto.

También se ha usado la herramienta online PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) de la Comisión Europea, para el cálculo de las irradiaciones solares en los diferentes puntos de Venezuela. Y la herramienta QGIS, que se trata de un Sistema de Información Geográfica (SIG) que permite visualizar, gestionar, editar y analizar datos y diseñar mapas imprimibles. Se ha empleado para la realización de un mapa interactivo donde se han localizado las distintas estaciones objeto de estudio.

Estado del arte

Contextualización

Actualmente, el estado climático es una preocupación real a nivel mundial. Desde 1994 se están estudiando y evaluando las variaciones interanuales y las tendencias a largo plazo del cambio climático. Además, se está llevando a cabo el análisis y la comprensión de las mismas mediante la elaboración de informes y nuevas políticas con el objetivo de hacer frente a esta situación. Cada vez más somos conscientes de que vivimos en un estado de alerta debido al agotamiento de la capa de ozono, la variabilidad del clima y el cambio climático y sus efectos, así como, la disminución de los recursos hídricos y la calidad del aire y del agua [1].

El Acuerdo de París de 2015, ha proporcionado una oportunidad histórica para actuar con mayor urgencia ante esta problemática. Desde este acuerdo, todas las naciones trabajan cada día en la realización de nuevos informes y evaluaciones con el objetivo de mejorar esta situación y proponer mejoras para las generaciones futuras. Concretamente, el próximo septiembre tendrá lugar un encuentro en Nueva York bajo el nombre de *“Cumbre sobre la Acción Climática”*. La finalidad de esta reunión de líderes mundiales, es concretar los planes de acción realistas que se deben de llevar a cabo durante los próximos diez para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 45%, dando como año límite el año 2050 para alcanzar los objetivos que se trataran en este llamamiento [2].

No obstante, este contexto de inestabilidad climática en el que nos encontramos, no solo afecta al estado del clima mundial, sino que también está agotando los recursos hídricos del planeta tierra. En junio de este mismo año, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) ha anunciado que se han aprobado una serie de reformas especialmente focalizadas en los recursos hídricos y el océano [3]. Principalmente se busca mejorar la coordinación de las actividades climáticas e hidrológicas, trazando un plan estratégico para implantar acciones destinadas a transformar la ciencia en servicios para la sociedad. *“Para ello, se han establecido cinco metas a largo plazo, entre las cuales se pueden destacar:*

- *La mejora de la preparación y la reducción de las pérdidas de vidas y bienes a causa de fenómenos hidrometeorológicos extremos.*
- *El apoyo a los procesos de adopción de decisiones fundamentadas en información climática a fin de potenciar la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos climáticos.*
- *La promoción del valor socioeconómico de los servicios meteorológicos, climáticos, hidrológicos y medioambientales conexos.”* [3]

Como se puede observar, la OMM está actualizando su estrategia en materia de agua, para así poder hacer frente a los desafíos sin precedentes que plantean el estrés hídrico, las crecidas, las sequías y la falta de acceso a fuentes de agua limpia, hechos que se han visto incrementados y agravados como consecuencia del cambio climático. Este fenómeno es mucho más que una cuestión meramente climática, se está sometiendo el suministro de agua a una presión todavía mayor y se está intensificando el riesgo de que se produzcan fenómenos meteorológicos extremos. Por ello, la OMM va a conceder mayor prioridad en su plan estratégico a fortalecer los servicios de hidrología operativa, vigilancia y predicción. La reforma tiene como objetivos: la coordinación de los sistemas

de observación y gestión de datos, la normalización de las observaciones y mediciones y fomentar la participación de servicios hidrológicos en las actividades de la OMM. Todo ello para incrementar los beneficios socioeconómicos.

Ante la necesidad de ser capaces de predecir el comportamiento hidrometeorológico y poder abordar los objetivos fijados en París y la reforma de la OMM, se han planteado diversas soluciones. Una de las alternativas que se analiza, es la implantación de nuevas redes hidrometeorológicas a lo largo de cuencas hidrográficas de las que a día de hoy no se tienen datos. Estas redes ayudarían a la recopilación de datos con la finalidad de mejorar la predicción de eventos extremos, la gestión de los recursos hídricos y el seguimiento hidrológico, tal y como se planteaba en el Congreso junto con la OMM. Por su lado, los hidrólogos son conscientes de la importancia de los datos para entender los fenómenos del agua desde una perspectiva a largo plazo. Es fundamental poder medir y predecir dichos fenómenos para una utilización adecuada de los recursos.

Concretamente, en este proyecto se plantea la instalación de una red hidrometeorológica en Venezuela. Venezuela es un país donde el 70% de la generación es hidroeléctrica y este tipo de redes son muy beneficiosas para una gestión óptima de la misma. Además, la implantación de este tipo de redes permitiría la creación de una estadística oficial, inexistente en la actualidad, que recopilase tanto datos climatológicos como el estado en tiempo real de los ríos y embalses del país. La posibilidad de poder acceder a estos datos, sería además de gran utilidad para futuros proyectos: la construcción de presas, defensas de inundaciones, puentes... Este tipo de obras necesitan de esta información para poder llevar a cabo los proyectos de manera exitosa.

Otra de las razones por la cual se plantea la instalación de estas redes en Venezuela, es que actualmente el INAMEH (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología) desarrolla un plan de fortalecimiento hidrometeorológico respaldado por el banco de desarrollo de América Latina, CAF (Corporación Andina de Fomento), y por el PHI (Programa Hidrológico Internacional). La finalidad de este plan es ampliar y optimizar la red hidrometeorológica nacional de Venezuela. Entre las actividades prioritarias destacan la modernización de los sistemas de recopilación, transmisión y control de los datos hidrometeorológicos [4].

Redes hidrometeorológicas

La hidrometeorología es la ciencia que estudia el ciclo del agua en la naturaleza, abarca el estudio del ciclo hidrológico tanto de las fases atmosféricas como terrestres y sus interrelaciones. Esta ciencia engloba la observación, procesamiento y análisis del comportamiento de los elementos hídricos y meteorológicos. Además, ayuda al desarrollo de sistemas y herramientas que se emplean para la observación, predicción, modelización, prevención y alerta temprana de fenómenos hidrometeorológicos cuyo objetivo es controlar y gestionar mejor los recursos y así evitar el desencadenamiento de desastres naturales que provocan considerables pérdidas humanas y materiales.

Desde muy temprano, el hombre mostro un gran interés por entender el comportamiento del agua y de los fenómenos meteorológicos. De esta manera, se han desarrollado a lo largo de la historia una gran variedad de herramientas con la finalidad de predecir los fenómenos meteorológicos (termómetro, pluviómetro, anemómetro, barómetro...). Gracias a los grandes avances tecnológicos de las últimas décadas, estas herramientas se han perfeccionado cada vez más.

En la actualidad existen numerosas redes hidrometeorológicas instaladas por todo el mundo con esta finalidad. Estas redes también son conocidas como SAIH (Sistema Automático de Información Hidrológica). En España, el primer SAIH data del 1989 y es el de la Confederación hidrográfica del Júcar.

El SAIH constituye un sistema de información en tiempo real, basado en la captura, transmisión y procesamiento de los datos meteorológicos e hidráulicos obtenidos en diferentes puntos de control, los cuales son distribuidos en zonas estratégicas de una cuenca hidrográfica. Estos puntos están conectados generalmente vía satélite con el centro de control de la cuenca y los centros de presentación de datos.

Siguiendo el modelo de estas redes ya existentes, se ha realizado el estudio y diseño de una red hidrometeorológica en Venezuela. Esta red estará compuesta por una serie de sensores de distintas tipologías (sensores de temperatura, presión atmosférica, humedad relativa, intensidad de lluvia, nivel de agua en ríos y embalses, velocidad y dirección del viento...) que estarán distribuidos de manera estratégica e interconectados entre sí vía satélite, para la monitorización de forma cooperativa de las condiciones físicas o ambientales de toda la extensión de Venezuela.

La hidrometeorología en Venezuela

Venezuela es un país joven en el campo de la hidrometeorología, la primera vez que se mostró un especial interés al respecto fue en julio de 1998. En este mes, el anterior Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales (MARN) puso en marcha la Unidad Ejecutora del Programa de Mejoramiento del Sistema de Pronóstico Hidrometeorológico Nacional (VENEHMET) [5].

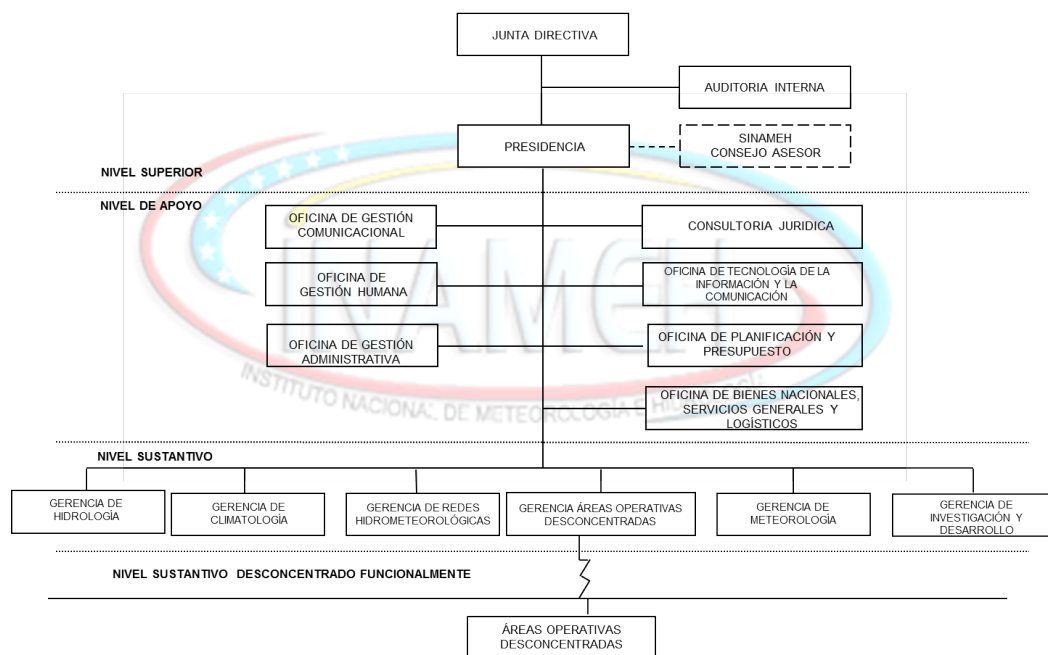
La evolución desde entonces hasta la actualidad se puede resumir en los siguientes hitos:

- En diciembre 1998 se financia el programa VENEHMET con la ayuda de la Corporación Andina de Fomento (CAF) con la finalidad de crear una institución líder en los sectores de la meteorología y la hidrología.
- En 1994 se crea el Centro Nacional de Alerta y Pronóstico Hidrometeorológico (CENAPH) dirigido por la Comisión Nacional de Meteorología e Hidrología (CNMeH), cuyo objetivo era recoger datos en tiempo real a partir de las estaciones localizadas en distintas cuencas hidrográficas del país.
- En 2003 se crea el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) cuyo papel fundamental es la integración de los diversos servicios meteorológicos e hidrológicos del país, actualizar el sistema existente de recogida de datos además de promover la integración y generación de información tanto a nivel regional como internacional.
- Finalmente, en el año 2008 el INAMEH comienza a llevar a cabo sus acciones en el Parque Tecnológico Sartenejas y trabaja por la recuperación del servicio hidrometeorológico nacional.

Entre todos estos hitos, especialmente cabe destacar la creación y puesta en marcha del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH). A día de hoy sigue teniendo un papel crucial para ayudar al país de Venezuela en materia meteorológica e hidrológica. Su misión principal es la regulación y coordinación de la actividad hidrometeorológica nacional, teniendo también una gran responsabilidad en cuanto a la divulgación de una información hidrológica y meteorológica veraz. Ya que su fin último es mejorar el desarrollo socioeconómico del país ayudando a la preservación de vidas y bienes gracias a la mejor gestión de los recursos naturales. El instituto cuenta con unos valores muy fuertes y están orientados a lograr la máxima eficiencia en todos los procesos, a través de la optimización del uso de los recursos humanos, tecnológicos, financieros y organizacionales.

En el siguiente gráfico se muestra su estructura organizativa actual:

ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL (PROPUESTA)



APROBADO EN NOTA DE CUENTA N°02 de fecha 03/11/2017 Agenda N°4

Figura 3. Propuesta de la estructura organizativa del INAMEH actual. Fuente: El INAMEH [5]

Como está afectando el cambio climático en Venezuela

En el marco político, Venezuela vive actualmente una gran crisis político-social-económica que está afectando a todos los sectores. Esta crisis está caracterizada por la hiperinflación económica, los cortes de energía e insuficiencia de alimentos y medicamentos [6].

Además, es un país que en el contexto medioambiental también tiene mucho por hacer, a pesar de que sus políticas respecto al cambio climático están avanzando día a día.

- En el año 2005, tuvo lugar la Primera Comunicación Nacional en Cambio Climático de Venezuela. En este comunicado se destacaron los siguientes efectos climatológicos: la temperatura media nocturna ha aumentado en 2,5°C, las precipitaciones anuales han disminuido entre un 3% y 20% además de variar ligeramente su comportamiento en cuanto a su distribución geográfica y temporal, disminuyendo en la época lluviosa y aumentando en época seca.
- También se ha podido comprobar que el fenómeno el Niño ha agudizado las sequías en Venezuela, sumado a las consecuencias habituales del cambio climático.

Es inevitable pensar que los efectos mencionados en el primer punto se vayan agudizando cada vez más si no se actúa al respecto. Los estudios realizados en Venezuela afirman que algunos de los efectos adversos que se desencadenaran en los próximos años son:

- Las sequías: afectando directamente al sistema de generación eléctrica ya que el 70% de la generación es hidroeléctrica. Este hecho debería servir de alerta al país para que diversifique su producción eléctrica en nuevas fuentes de energía, como las energías renovables (eólica, solar, biomasa, etc.), para fortalecer la infraestructura eléctrica de Venezuela, creando así un sistema eléctrico robusto

capaz de hacer frente a las sequías garantizando la continuidad de suministro a su población. No obstante, este efecto adverso causado por la variabilidad del clima, también afectará directamente a los embalses que se encuentran en el país. Como se ha mencionado al principio de esta sección, Venezuela es un país que se caracteriza por su abundancia en recursos hídricos. Por ello, es fundamental tomar medidas contra la sequía que vaciará los embalses suministradores de agua potable, desarrollando nuevas infraestructuras (implantación de nuevos embalses, plantas potabilizadoras de agua, control y medición del estado del agua, etc.) y haciendo uso del agua de forma sostenible.

- Los alimentos, es otro de las industrias que se están viendo perjudicadas. Algunos alimentos ya no crecerán en las áreas donde antes lo hacían debido a las nuevas condiciones climáticas. Para combatir esta problemática, se deben llevar a cabo estudios para identificar los productos y regiones más afectadas en este sentido y generar nuevas políticas con el objetivo de redireccionar la producción agrícola.
- Nivel del mar, este está aumentando cada vez más poniendo en alto riesgo las zonas costeras. En Venezuela, las zonas más afectadas son los estados que lindan con el mar Caribe como el Delta Amacuro, Zulia, Falcón y Nueva Esparta.
- Las enfermedades, causadas por vectores como el dengue, la malaria o el zika, podrían proliferar y expandirse por zonas del territorio nacional donde en la actualidad son inexistentes.

Otro factor económico que hace que se replanteen diversificar y reforzar el uso de las energías renovables, es la tendencia cada vez mayor a las energías limpias. Permitiendo reducir el consumo de petróleo tanto para la generación de electricidad como para el uso como combustible, reduciendo así la emisión de gases efecto invernadero. Por otro lado, debido a la crisis política y económica que sufre el país actualmente, el sistema eléctrico existente se está viendo muy afectado. El sistema de suministro venezolano se está viendo perjudicado por la falta de recursos financieros que impide llevar a cabo un correcto mantenimiento del sistema [7]. Además, unido a la ineficiencia y corrupción que invaden muchos de los aspectos de la vida pública, entre ellos el servicio de suministro eléctrico, se están produciendo continuos apagones que caracterizan a la red eléctrica de una gran inestabilidad. Por ello, se plantea la alternativa de instalar fuentes de energía alternativa para el autoconsumo de viviendas o pequeños poblados. Gracias a esta solución se podría solventar el problema de la inestabilidad de la red y la falta de continuidad de suministro.

Estudio geográfico

Venezuela es un país situado en América del Sur cuya capital es Caracas. Es un país que cuenta con una gran extensión, de 916.445 millones de kilómetros cuadrados. Este se encuentra limitado por el Mar Caribe al norte, al oeste y suroeste con Colombia y al sur y sureste con Brasil y al este con Guyana [8]. Venezuela cuenta con unos 4.000 kilómetros de costa provista con buenos puertos y más de 300 islas e islotes caribeños, la mayoría de los cuales están inhabitados.

Venezuela se divide en veintitrés Estados Federales con un Distrito Capital y las Dependencias Federales, tal y como se muestra en el siguiente mapa político:



Figura 4. Mapa político de Venezuela. Fuente: Mapamundi [9].

Desde el punto de vista geográfico, el país se divide en tres regiones principalmente. En primer lugar, la Cordillera de los Andes, región situada al norte del país, muy cerca de la costa venezolana, es la cordillera más larga del mundo y una de las formaciones montañosas más jóvenes del planeta tierra. En segundo lugar, la Cuenca del Orinoco, situada más al sur, se encuentra limitada al norte por los Andes y se extiende hasta el delta del Orinoco. Esta región, cuenta con las condiciones óptimas para desarrollar la agricultura y la ganadería extensiva. Esto se debe a que cuentan con un fenómeno geológico caracterizado por terrenos constituidos a partir de sedimentos fluviales drenados por el Río Orinoco que se caracterizan por ser pantanosos, como consecuencia de que el mar haya cubierto esa llanura en alguna ocasión. También cabe destacar que esta zona se ve muy afectada por la temporada de lluvias, en las que se producen enormes inundaciones, y por las épocas secas en las que suelen darse épocas de escasez de agua. Por último, el Planalto de las Guianas o región Guayana, es la región natural más extensa del país y se encuentra ubicada al sur y sureste de la Cuenca del Orinoco, ocupando todo el territorio hasta la frontera con Brasil y Guayana. En el mapa físico que se presenta a continuación, se pueden apreciar las diferentes regiones detalladas en este epígrafe.

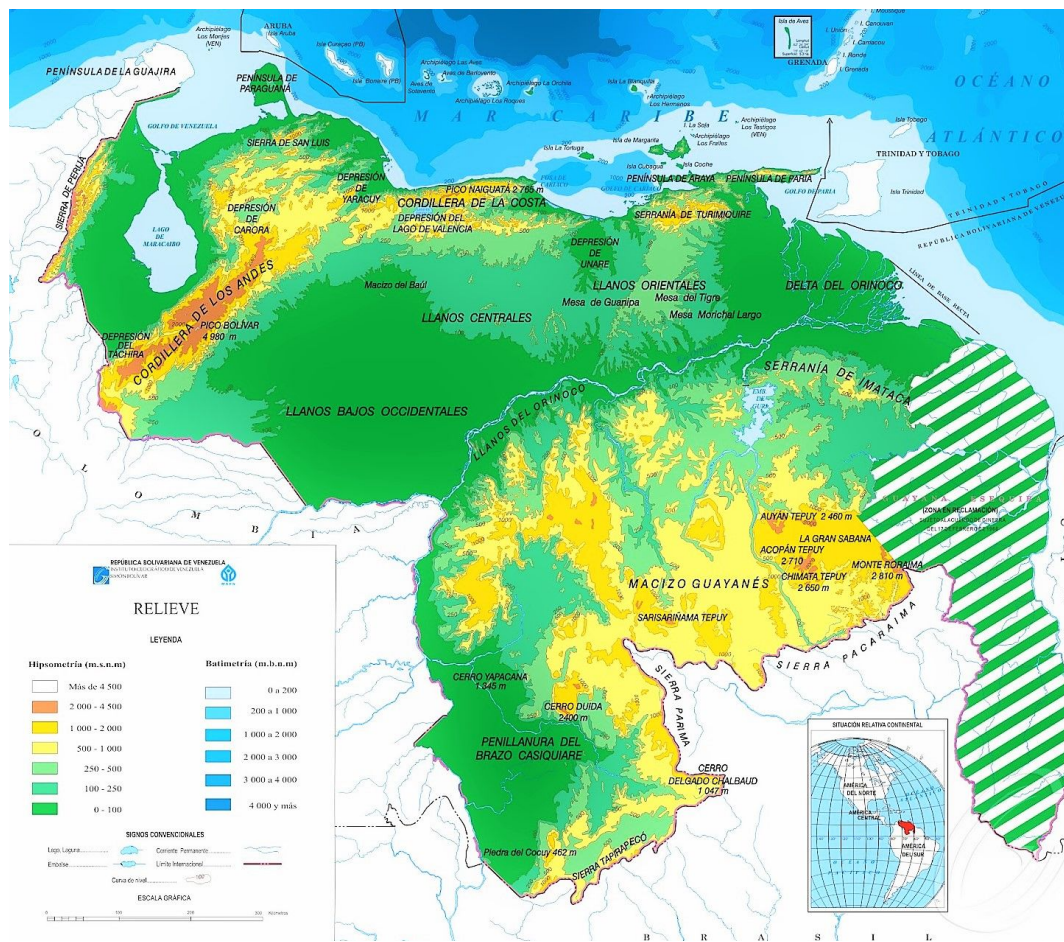


Figura 5. Mapa físico de Venezuela. Fuente: Mapamundi [9].

Tal y como se ha mencionado anteriormente y como se puede observar en el mapa, Venezuela cuenta con una enorme cantidad de recursos hídricos. Este país se sitúa en la quinta posición mundial en cuanto a la mayor disponibilidad de agua dulce, produciendo una cantidad de 2.233 kilómetros cúbicos al año [10].

Venezuela posee siete cuencas hidrográficas con sus principales ríos y afluentes, las cuales aparecen resumidas en el siguiente mapa. Los ríos más importantes de Venezuela nacen en las unidades de mayor relieve venezolano y sus vertientes, las cuales discurren de diversas formas y dimensiones, son conducidas hacia el Océano Atlántico y el Mar Caribe. De esta agua fluviales, el 74% desembocan en el océano Atlántico y solo el 20% pertenecen al Mar Caribe. El 6% de las aguas fluviales restantes, forman parte de los sistemas de aguas del río Amazonas y el lago de Valencia. Por último, cabe destacar el embalse de Guri, que se trata del embalse más grande de Venezuela y se encuentra situado en la Cuenca del Orinoco. Este lago está formado y delimitado por la presa de Guri que es donde se encuentra instalada una de las centrales hidroeléctricas con mayor potencia instalada potente del país (10.325 MW), se denomina “Central Hidroeléctrica Simón Bolívar”. También hay que mencionar el Lago Maracaibo situado al norte del país, se puede definir como una gran bahía semicerrada pero comúnmente se le designa como un lago. Este cuenta con una superficie de unos trece mil kilómetros cuadrados, siendo el lago más grande de América Latina y ocupando la posición diecinueveava entre los lagos más grandes del mundo.

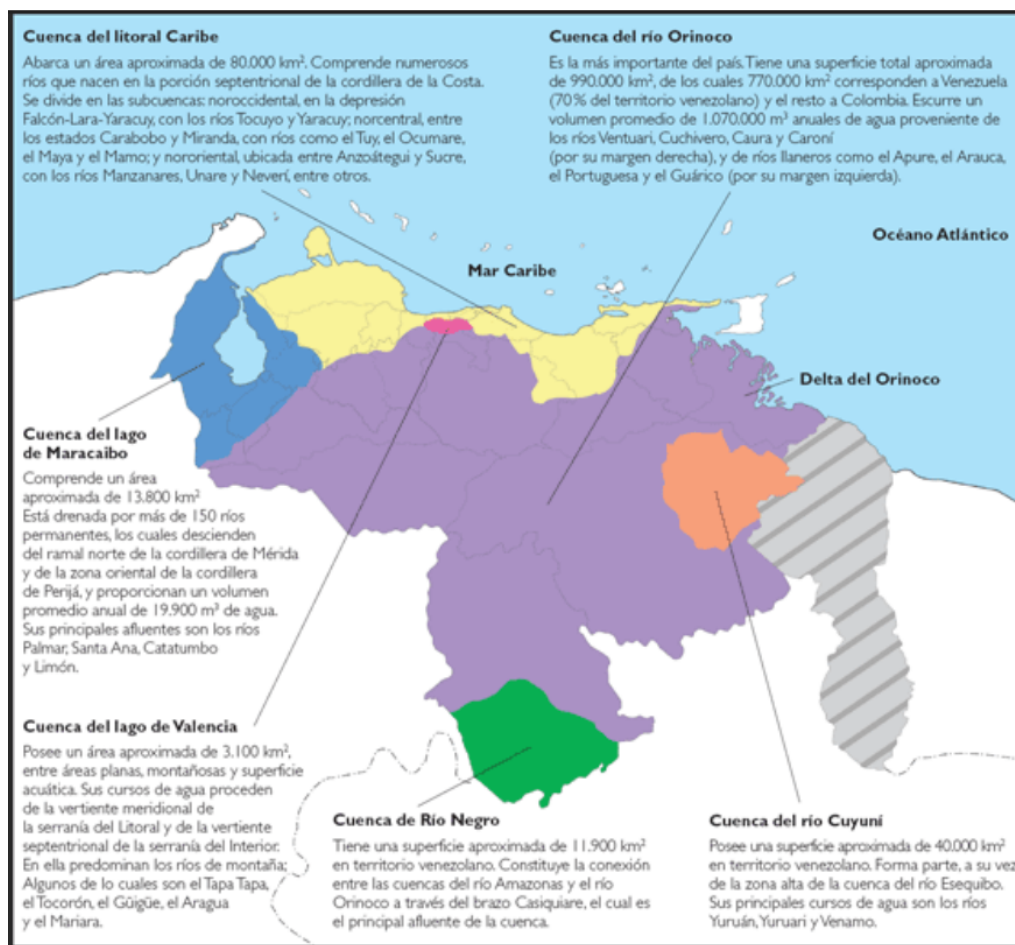


Figura 6. Mapa de las cuencas hidrográficas de Venezuela. Fuente: Venezuela: hidrografía [11].

En cuanto a su climatología, Venezuela se encuentra ubicada prácticamente a la altura del ecuador, por lo que es un país caracterizado por un clima cálido y húmedo con una gran riqueza en biodiversidad gracias a la abundancia de selvas.

Por todas las razones políticas, económicas y geográficas mencionadas a lo largo de este texto, Venezuela parece un país idóneo para la implantación de la red hidrometeorológica. Gracias a su ubicación, en la parte más septentrional de América del Sur, además de poseer una gran riqueza hidrológica, el hecho de disponer del frente caribeño y atlántico dota al país de una posición geopolítica muy privilegiada.

Redes hidrometeorológicas actuales en Venezuela

En la actualidad, el Gobierno de Venezuela ha aprobado recursos para actualizar la Red Hidrometeorológica existente. Se quieren instalar trescientas sesenta y cuatro (364) nuevas estaciones que complementarían la red existente hasta un total de setecientos treinta y cuatro (734) estaciones. Esta inversión colocará a Venezuela en el país sudamericano con la mayor Red Hidrometeorológica del continente. Esto no solo dotará al país con mayores beneficios meteorológicos e hidrológicos, sino que también contará con una gran repercusión social ya que generará empleo para los jóvenes profesionales y científicos especializados en este sector. Estos especialistas serán de vital importancia tanto en el desarrollo del proyecto como en la implantación, el mantenimiento y el

desarrollo de tecnologías de última generación. Será necesario implantar nuevas instalaciones, como laboratorios especializados, para poder llevar a cabo los trabajos necesarios propios de este tipo de sistemas.

Todo esto, junto a la gran repercusión y relevancia que tiene el objeto de la reforma en sí. La ampliación de la red, tendrá una fuerte repercusión a nivel informativo que permitirá mejorar la generación de pronósticos y hacer análisis de previsiones más amplios y veraces, mejorando a su vez la gestión del uso de agua potable y el conocimiento de las condiciones meteorológicas. Gracias a esta mejora, se podrá optimizar el uso del agua para la producción agrícola, en función de las zonas que se indiquen como más adecuadas para la siembra en los informes anuales. Esto ayudará a hacer frente una de las problemáticas que se plantea en Venezuela con el cambio climático, tal y como se señaló al principio del documento.

Dentro de la reforma que quiere implantar el INAMEH, el proyecto que se describirá en esta memoria, forma parte de la ampliación de la actual red hidrometeorológica. Concretamente, nuestro proyecto cubre el diseño y estudio de trescientas treinta y cinco (335) estaciones, que se encuentran ubicadas en todos los estados venezolanos, y se quieren implantar estaciones hidrometeorológicas de cuatro tipologías: estaciones pluviométricas, climatológicas, hidrométricas y de embalse. Dentro de las hidrométricas se distinguen dos tipos, según la tecnología del sensor empleado, que puede ser un sensor de impulsos o de tecnología radar. Todas las particularidades y especificaciones técnicas se describirán y detallarán en el capítulo 1 de la memoria.

Cada uno de estas estaciones hidrometeorológicas necesita estar alimentada para su correcto funcionamiento. Sin embargo, muchos de estos puntos de control o sistemas, se encuentran ubicados en zonas que, por sus características geográficas y la situación político-económica de Venezuela, la red eléctrica no llega, y si llega, la calidad de las ondas de tensión es muy mala. Por ello, en este proyecto se plantea la alternativa de alimentar dichos puntos de control mediante paneles fotovoltaicos apoyados de baterías.

Desde los primeros indicios con el descubrimiento del efecto fotovoltaico en 1839, de la mano del físico francés Alexandre-Edmond Becquerel, los paneles fotovoltaicos han experimentado un enorme desarrollo. En la actualidad, esta tecnología es una de las más avanzadas dentro del panorama de las energías renovables. En las últimas décadas, la potencia fotovoltaica instalada acumulada en el mundo no ha dejado de crecer un año tras otro, lo que demuestra que la apuesta por esta fuente de energía limpia es imparable y está presente en prácticamente todo el planeta. Además, el intenso desarrollo tecnológico que rodea a los paneles fotovoltaicos ha concluido en a una notable reducción de los costes de fabricación y mantenimiento de este tipo de fuentes de energía. Esto son solo alguno de los motivos por los que, finalmente, se decide implementar esta tecnología como la solución más óptima para alimentar la red hidrometeorológica, la cual es objeto de estudio en este proyecto.

Capítulo 1. Redes hidrometeorológicas

Este capítulo incluye la descripción detallada de la red hidrometeorológica. Se especificarán los diferentes tipos de estaciones hidrometeorológicas que componen la red, así como cada uno de los sensores y equipos que forman cada una de estas estaciones. Además, se detallarán los sistemas de alimentación y protecciones de la red y los sistemas de información y adquisición de datos.

Descripción de la red

El diseño e instalación de esta red es parte de un proyecto para el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) de Venezuela. Para el proyecto global, el cliente solicita la puesta en marcha de trescientas treinta y cinco (335) estaciones hidrometeorológicas automáticas a lo largo de todo Venezuela. Debido a la gran extensión de la red hidrometeorológica que abarca el proyecto, en esta memoria se ha profundizado en el estudio únicamente de ochenta (80) estaciones hidrometeorológicas, que corresponden con las estaciones instaladas en los estados del Amazonas, Anzoátegui, Apure, Aragua, Boninas y Bolívar, que se encuentran ubicadas dentro del ámbito de la cuenca hidrográfica del Orinoco.

Una red hidrometeorológica o SAIH, tal y como se ha descrito en el capítulo anterior, es un sistema de información en tiempo real, basado en la captura y la transmisión de datos meteorológicos e hidrológicos obtenidos en las diferentes estaciones que conforman la red. Estas estaciones están compuestas por una serie de sensores, los cuales miden distintos parámetros hidrológicos. Las estaciones se encuentran localizadas de forma estratégica a lo largo de la cuenca hidrográfica para la captación de diferentes variables. Estas están conectadas entre ellas a través de la última generación del satélite GOES y monitoreadas desde el centro de control donde se reciben, almacenan y procesan los datos adquiridos por las mismas para presentarlos a los puntos de control.

Además, cada una de las estaciones se encuentra alimentada por un panel solar, junto con un regulador y una batería, que dotan a los sensores de la energía eléctrica que necesitan para su correcto funcionamiento.

El estudio del emplazamiento de las estaciones hidrometeorológicas queda fuera del alcance de este proyecto y se han tomado para la ubicación de las mismas, las coordenadas geográficas establecidas por el cliente: INAMEH.

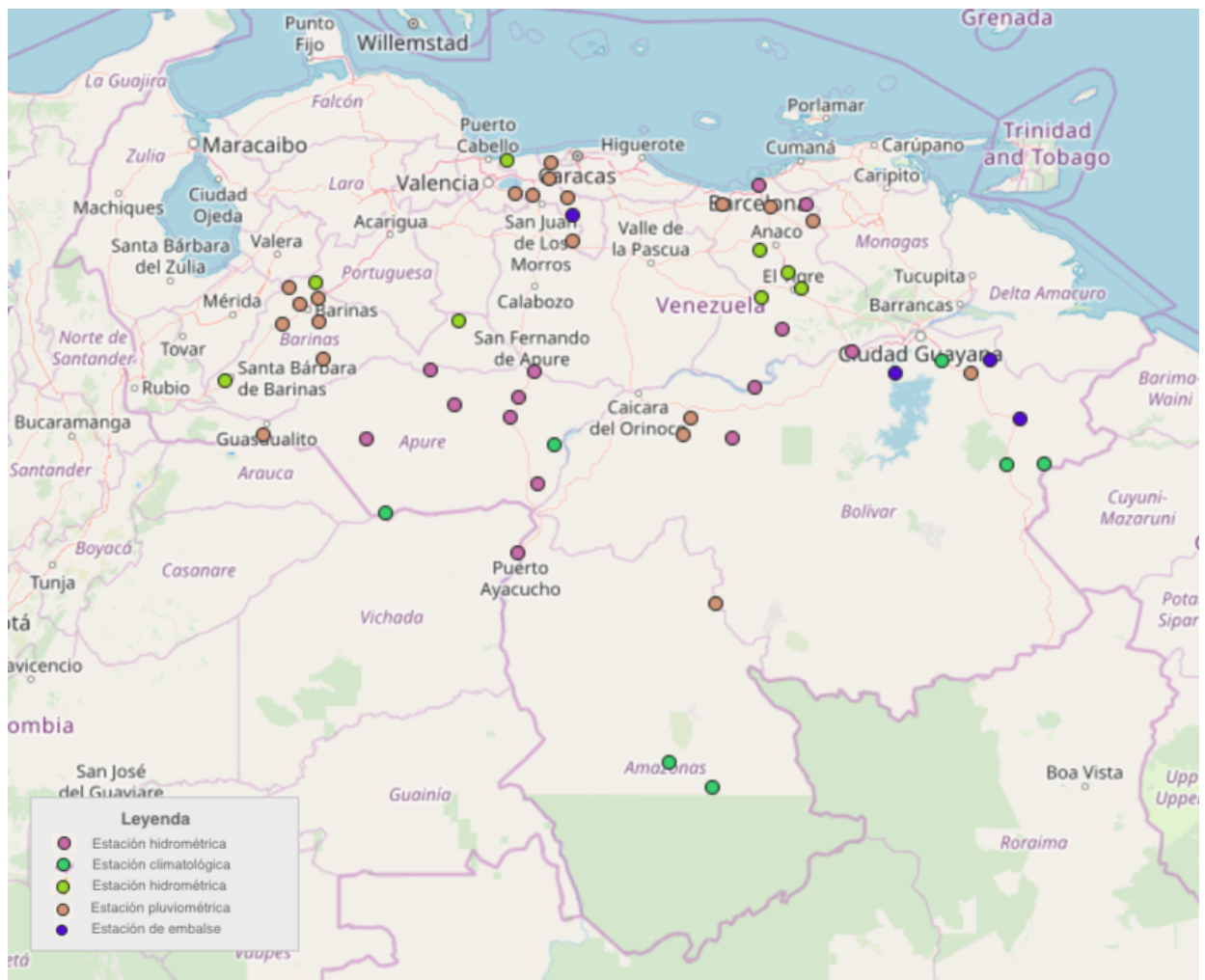


Figura 7. Ubicación de las 80 estaciones hidrometeorológicas objeto de estudio. Fuente: Elaboración propia

Las coordenadas geográficas, junto con la tipología, de cada una de las estaciones hidrometeorológicas representadas en el mapa, se encuentran en el anexo 1 del proyecto. En este anexo también se muestran partes del mapa, presentado en la figura anterior ampliado para poder percibir con más detalle la ubicación real de las estaciones.

Estaciones hidrometeorológicas

Se considera cada estación como un subsistema independiente o punto de control y se enlazan entre ellos vía satélite. Se pueden distinguir cuatro tipos de estaciones, en función de los parámetros de medición: climatológicas, pluviométricas, hidrométricas y de embalse.

Estos puntos de control se diferencian según la función que desempeñan:

- Estación climatológica: puntos de control de parámetros meteorológicos y de precipitación.
- Estación pluviométrica: puntos de control exclusivamente de precipitación.
- Estación hidrométrica: puntos de control de nivel y caudal de los ríos. Dentro de esta tipología, se pueden distinguir dos tipos, según la tecnología del sensor empleado, que puede ser un sensor de impulsos o de tecnología radar.

- Estación de embalse: puntos de control de nivel y volumen de agua y precipitaciones.

Para el presente proyecto se ha considerado que la manera más óptima de distribuir los 335 puntos de control o estaciones, según su tipología, es la mostrada en la siguiente tabla, cubriendo de esta manera toda la información de los distintos estados de Venezuela.

ESTADOS		Nº DE ESTACIONES PLUVIOMETRICAS TIPO P	Nº DE ESTACIONES CLIMATOLOGICAS TIPO C	Nº DE ESTACIONES HIDROMETRICAS SENSOR PNS	Nº DE ESTACIONES HIDROMETRICAS SENSOR RAD	Nº DE ESTACIONES EMBALSE
Amazonas	AM	1	2	2	0	0
Anzoátegui	AN	3	0	8	5	0
Apure	AP	1	2	9	0	0
Aragua	AR	9	1	0	3	1
Barinas	BA	8	1	2	5	1
Bolívar	BO	4	4	5	0	3
Carabobo	CA	4	4	0	5	1
Cojedes	CO	7	0	1	2	2
Delta Amacuro	DA	3	0	0	0	0
Distrito Caracas	DC	1	0	0	0	1
Falcón	FA	1	2	0	7	3
Guárico	GU	7	2	4	7	3
Lara	LA	15	0	0	13	0
Mérida	ME	3	0	0	5	1
Miranda	MI	9	0	0	10	6
Monagas	MO	1	0	6	5	1
Nueva Esparta	NE	1	0	0	0	2
Portuguesa	PO	0	2	5	5	1
Sucre	SU	6	0	3	6	1
Táchira	TA	5	1	0	18	1
Trujillo	TR	11	0	0	5	0
Vargas	VA	7	1	0	6	0
Yaracuy	YA	0	0	0	0	0
Zulia	ZU	10	5	3	5	3
TOTAL Nº ESTACIONES		117	27	48	112	31
335		Nº DE ESTACIONES HIDROMETRICAS			160	

Tabla 2. Número de estaciones hidrometeorológicas instaladas en el proyecto global según estado y tipología.

Tipo de estación	Cantidad
Climatológica	27
Pluviométrica	117
Hidrométrica	160
Embalses	31
TOTAL	335

Tabla 3. Tabla resumen del número de estaciones según tipología proyecto global.

En el análisis de las ochenta estaciones, el número de estaciones estudiadas según la tipología es la siguiente:

Tipo de estación	Cantidad
Climatológica	10
Pluviométrica	26
Hidrométrica	39
Embalses	5
TOTAL	80

Tabla 4. Tabla resumen número de estaciones estudiadas en este proyecto según tipología

Estas estaciones se ubicarán a lo largo de los estados del Amazonas, Anzoátegui, Apure, Aragua, Boninas y Bolívar, las coordenadas con la posición exacta de cada una de las estaciones se encuentran adjunta en el anexo 1 de este proyecto.

Independientemente del tipo de estación, todas deben contar con los siguientes elementos:

- Unidad de adquisición de datos (UAD).
- Sensores requeridos para cada tipo de Estación.
- Caja NEMA 4 con sistema de seguridad conteniendo la Unidad de Adquisición de Datos y otros dispositivos electrónicos.
- Transmisor GOES con sus periféricos.
- Fuentes de alimentación eléctrica de baterías con respaldo de panel solar, además para aquellos emplazamientos que lo requieran se instalarán convertidores AC/DC.
- Soportes, torres, cercado perimetral e infraestructura requerida.

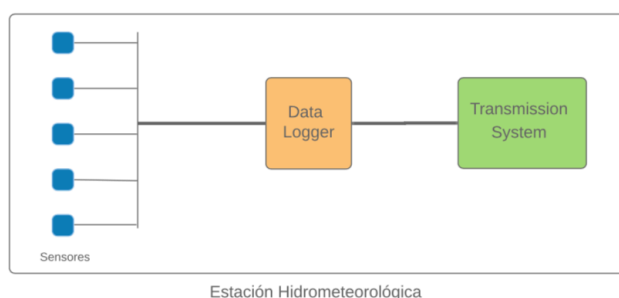


Figura 8. Esquema básico de una estación hidrometeorológica. Fuente: Elaboración propia

De forma sencilla, tal y como se muestra en la Figura 8, las estaciones se pueden segmentar en tres bloques: una serie de sensores que captan la información del exterior, una unidad de almacenamiento de datos o Data Logger en este caso, encargada de registrar los datos provenientes de los sensores y, por último, un sistema de transmisión para enviar los datos al satélite GOES.

En función de cada tipo de estación, se requieren unos sensores u otros que permitirán el registro de diferentes parámetros. En un primer momento, se planteaba la utilización de una serie de sensores tal y como queda recogido en la siguiente tabla. No obstante, como se explicará posteriormente, la configuración final será ligeramente diferente dado que se ha considerado una solución más óptima desde el punto de vista económico y de instalación. En la alternativa definitiva, la configuración de los sensores de las estaciones de climatológicas es distinta a la mostrada en la siguiente tabla, debido a que además de medir los parámetros requeridos inicialmente se añadirán otros nuevos.

Tipo de estación	Parámetros
Climatológica	Velocidad del viento Dirección del viento Recorrido del viento a 10 metros Temperatura del aire Temperatura del punto de rocío Humedad relativa del aire Precipitación Evapotranspiración Radiación solar Insolación
Pluviométrica	Precipitación
Hidrométrica	Nivel de agua en ríos
Embalses	Precipitación Evaporación en Tina Nivel de agua en embalses

Tabla 5. Parámetros de registro por tipo de estación

Por tanto, tal y como se muestra en la tabla anterior, en la configuración inicial cada una de las estaciones registra un número mínimo de parámetros:

- Climatológica: requiere la medición de 10 variables.
- Pluviométrica: requiere la medición de 1 variable.
- Hidrométrica: requiere la medición de 1 variable.
- Embalse: requiere la medición de 3 variables.

Se considera que las unidades de medición deben estar expresadas según el sistema internacional de medidas (SI), aunque las aplicaciones permitan modificar el sistema de unidades. Cada parámetro de medición debe permitir la definición de sus unidades de medición a través de la programación de la unidad de adquisición de datos (UAD). La siguiente tabla recoge las unidades de medición según el SI de cada uno de los parámetros.

Parámetros	Unidades de medición
Velocidad del viento	[m/s]
Dirección del viento	[grados]
Recorrido del viento	[km]
Temperatura del aire	[°C]
Temperatura del punto de rocío	[°C]
Humedad relativa del aire	[% de humedad]
Precipitación	[mm]
Evapotranspiración	[mm]
Evaporación	[mm]
Radiación solar	[W/m ²]
Insolación	[Horas de sol]
Nivel de agua en ríos y embalses	[m]

Tabla 6. Parámetros y unidades de medición de los sensores

Por último, cabe destacar que la configuración de los sensores en las estaciones de tipo climatológicas se ha modificado con respecto a la idea inicial, tal y como se detallará en el siguiente apartado. Los motivos principales de este cambio han sido la disponibilidad de los proveedores, la dificultad de instalación y el coste global de la estación.

En la composición final, la estación climatológica registrará los siguientes parámetros meteorológicos:

Tipo de estación	Parámetros
Climatológica	Velocidad del viento
	Dirección del viento
	Recorrido del viento a 10 metros
	Temperatura del aire
	Temperatura del punto de rocío
	Humedad relativa del aire
	Precipitación
	Evapotranspiración
	Radiación solar
	Horas de sol
	Presión del aire
	Temperatura del suelo

Tabla 7. Configuración final de parámetros de registro de una estación climatológica

Por tanto, se incluyen dos nuevos parámetros: presión del aire y temperatura del suelo y se modifica el parámetro de insolación por el de horas de sol. De esta manera, las estaciones de tipo climatológicas requieren el registro de 12 variables.

La estación de tipo climatológica seleccionada para este proyecto, es una **estación meteorológica del fabricante SEBA de tipo AWS** y está ya equipada con los sensores de medición de alta calidad mencionados en la Tabla 7. El tipo y la precisión de los sensores están ratificados por las directrices de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Servicio Meteorológico Alemán (DWD) [12]. Esta estación meteorológica automática permite el registro de los parámetros meteorológicos de la tabla gracias a la combinación de la misma con los colectores de datos (Data logger).

En la siguiente figura se muestra un ejemplo esquemático de una estación meteorológica automática SEBA de tipo AWS como la que se emplea en este proyecto. En este esquema se ha representado también el panel solar, el sistema de puesta tierra, el pararrayos y el armario de distribución, elementos que se describirán de manera detallada a lo largo de la memoria.

En la tabla se identifica la leyenda del croquis de la Figura 9:

1	Pararrayos	8	Sensor de la humedad y la temperatura del aire
2	Sensor de la velocidad del viento	9	Sensor de la presión del aire
3	Sensor de la dirección del viento	10	Sensor de la radiación solar
4	Traviesa	11	Panel solar
5	Sensor de las horas de sol	12	Armario de distribución
6	Brazo	13	Puesta a tierra
7	Mástil		

Tabla 8. Leyenda croquis estación tipo climatológica SEBA

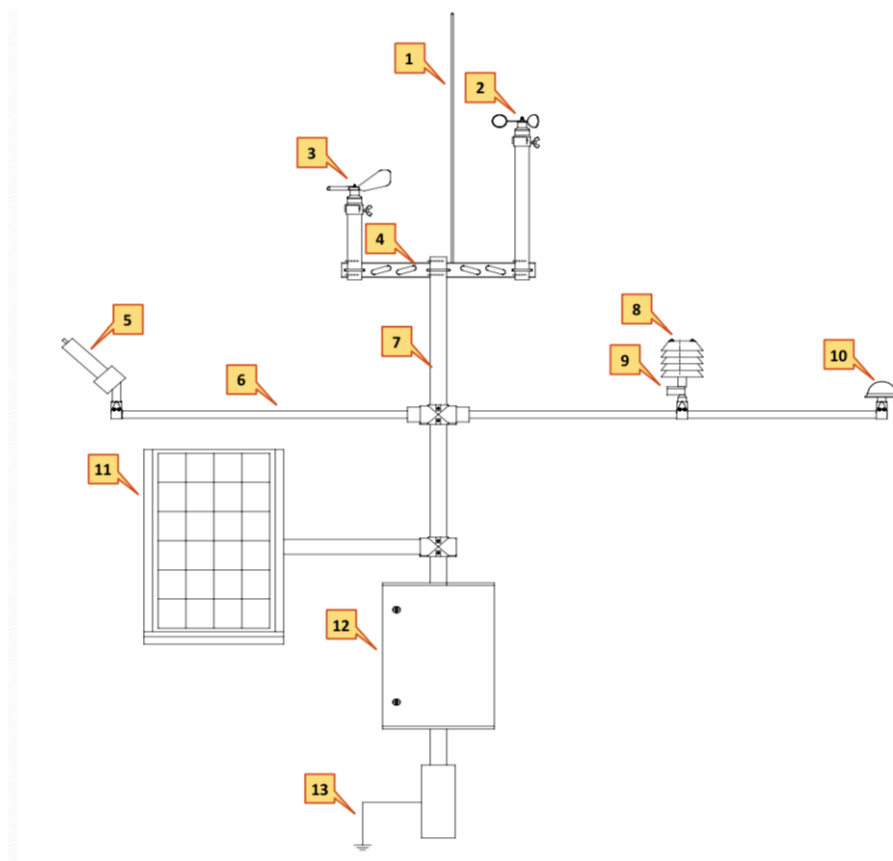


Figura 9. Croquis estación meteorológica automática SEBA tipo AWS. Fuente: Catálogo SEBA Hydrometrie, producto: AWS, Número de artículo: MET 460X

Para el resto de las tipologías de estaciones hidrometeorológicas (Pluviométrica, Hidrométrica y de Embalse) la instalación se ha realizado de manera diferente dado que el número de variables a medir es menor y, por tanto, la estación presenta menor complejidad. En estos casos, se ha ejecutado un sistema más sencillo compuesto por 1, 2 o 3 sensores, dependiendo de cada caso, conectados a un registrador de datos y posteriormente a un transmisor de datos GOES, todo ello alimentado con un panel solar. Una configuración similar a la mostrada en la Figura 8.

Sensores

A continuación, se definirá el principio de funcionamiento de los sensores que componen las estaciones y se detallarán las especificaciones técnicas de los mismos con la finalidad de asegurar el correcto funcionamiento de las estaciones hidrometeorológicas.

Un sensor se define como un dispositivo capaz de detectar acciones o estímulos externos y responder a ellas. Reciben información de una magnitud exterior y la transforman en otra magnitud, habitualmente eléctrica, la cual es más fácil de cuantificar y manipular [13]. Al realizar la medida se toma energía del medio donde se está midiendo y se perturba. Esta energía captada del medio debe ser mínimo y, como resultado, la señal de salida es muy pequeña. En el caso de las estaciones, estas señales, resultado de la transformación de la energía tomada del medio, son registradas por un Data logger y transmitidas vía satélite GOES a los centros de control. Hay diversos tipos de sensores

según su aporte de energía, la señal de salida, el modo de funcionamiento, la relación entrada-salida, el principio físico y la magnitud medida [14].

Inicialmente se planteaba la necesidad de instalar una serie de sensores con el objetivo de ser capaces de medir todos los parámetros hidrológicos y climatológicos, necesarios para poder calcular la información requerida por nuestro cliente, el INAMEH. Cuyo objetivo es conocer el estado del ambiente exterior para poder alcanzar una mejor gestión y un mayor conocimiento de la hidrometeorología de Venezuela. Tras un primer análisis de costes y disponibilidad de los proveedores, se han realizado ligeras modificaciones en cuanto a la tipología de los sensores que se había planteado inicialmente.

Los parámetros iniciales que requería el cliente se enumeran a continuación:

- i. Velocidad y dirección del viento
- ii. Recorrido del viento
- iii. Temperatura del aire
- iv. Temperatura del punto de rocío
- v. Humedad relativa del aire
- vi. Presión atmosférica
- vii. Precipitación
- viii. Evaporación
- ix. Evapotranspiración
- x. Radiación solar
- xi. Insolación (heliofania)
- xii. Nivel de agua en ríos y embalses
- xiii. Sensor radar con principio de tecnología de radar de impulso
- xiv. Sensor no sumergible tipo burbujas constante
- xv. Sensor de presión neumático para medición de nivel de agua en embalses

Los sensores seleccionados para cumplir con los requisitos del INAMEH son los siguientes:

- Sensor de la velocidad del viento:

El sensor de velocidad del viento se trata de un anemómetro que comienza la medición a partir de pequeños movimientos del viento y convierte estos valores directamente en una señal de salida analógica (4-20 mA). La operatividad del instrumento cubrirá como mínimo un rango de velocidades de entre los 0 y los 90 m/s, siendo la unidad de medida es en metros por segundo [m/s].

Tiene un montaje muy sencillo y esto permite acoplar este tipo de sensor a una gran variedad de instrumentos de medición. Por ejemplo, es posible conectarlo a un calentador opcional para poder utilizar dicho dispositivo a temperaturas extremas de hasta -40 °C. Para este proyecto no sería tan relevante dado que el clima más extendido en Venezuela es el tropical y las temperaturas medias anuales oscilan en torno a los 26 °C [15]. No obstante, también se registran climas templados y fríos según aumenta la altura, aunque rara vez se llegan a registrar temperaturas tan extremas. Sin embargo, si se caracterizan por un ambiente bastante húmedo y lluvias abundantes, por tanto, estos sensores cuentan con una protección para evitar la corrosión por humedades y la penetración de agua dentro del sistema.

Se espera tener unos tiempos de respuesta del sensor de velocidad de entre 2 y 5 segundos con una precisión de en torno al 2 y 5% en función de la velocidad del viento. A continuación, se presenta una imagen de este tipo de sensores que formaran parte de las estaciones de tipo climatológicas.



Figura 10. Sensor de la velocidad del viento

Las especificaciones técnicas del anemómetro seleccionado se muestran en el pliego de condiciones del proyecto.

En cuanto al parámetro ii) del **recorrido del viento** que requiere el cliente, se considera un sensor “virtual” dado que se medirá de manera indirecta en las estaciones climatológicas, a través de un algoritmo de cálculos basado en los datos producidos por el sensor de velocidad de viento. Este cálculo consistirá en un producto simple entre la velocidad media por hora y un tiempo de una hora. Y el resultado se expresará en kilómetros, tal y como se indicó en la Tabla 6.

- **Sensor de la dirección del viento:**

Este sensor es el responsable de detectar la dirección actual del viento y convertirla en una señal analógica (4-20 mA). Al igual que el sensor de velocidad del viento, es un dispositivo fácilmente adaptable y se le podría añadir un calentador adicional para poder funcionar en condiciones extremas de temperatura (-40 °C). A diferencia del sensor de velocidad del viento se esperan tiempos de respuesta menores, de aproximadamente 1 segundo.

Como dato peculiar de este sensor, es preciso prestar mucha atención a su instalación. Para asegurar un correcto funcionamiento del mismo, es necesario orientar el sensor en la dirección del viento hacia el norte. Para ello, el sensor cuenta con una marca en forma triangulo en la base del sensor y esta debe estar apuntando al norte.



Figura 11. Sensor de la dirección del viento

Las especificaciones técnicas del sensor seleccionado se muestran en el pliego de condiciones del proyecto.

- **Sensor de viento por ultrasonido combinado:**

Además de los dos sensores detallados anteriormente para medir la velocidad y la dirección del viento, se ha considerado la instalación de un sensor de viento por ultrasonido. La gran ventaja de emplear este sensor es que no tiene partes móviles, a diferencia de los anteriores, tal y como se observa en la siguiente figura, por lo que no necesita ningún tipo de mantenimiento y es ideal para el emplazamiento en lugares inhóspitos, como es el caso de este proyecto.



Figura 12. Sensor de viento por ultrasonido combinado

Este sensor registra tanto la dirección como la velocidad actual del viento, por medio de la tecnología ultrasonido y las convierte en una señal de salida que puede ser tanto analógica (0-5 V, 4-20 mA) como digital (SDI-12). Al igual que el sensor convencional de la dirección del viento, también requiere estar instalado con una orientación del sensor hacia el norte para un correcto funcionamiento del mismo.

Este tipo de sensores cuentan con una clase de protección de tipo IP65. Los niveles de protección se indican con un código acorde a la norma DIN EN IEC605229, compuesta por dos letras constantes “IP” y dos números que indican el grado de protección. El primer índice indica el grado de protección contra la introducción de cuerpos sólidos y el segundo el grado de protección contra agua [16].

En este caso, el primer índice es un 6 que significa estanqueidad, es decir, protección total contra la penetración de cualquier cuerpo sólido, tanto contra el contacto de las piezas móviles del interior como contra el polvo. El segundo índice es de grado 5 lo cual implica protección contra chorros de agua de cualquier dirección. Este grado de protección es el apropiado para colocarlo en un entorno con clima tropical donde las lluvias son frecuentes y muy abundantes.

A pesar de ser una tipología de sensor más robusta y compacta dado que no requieren mantenimiento y cuentan con una protección IP65, los rangos de medida y la precisión del mismo es ligeramente peor a los dos primeros sensores. Los datos técnicos del sensor seleccionado que mejor cumplía los requerimientos se muestran en el pliego de condiciones.

- **Sensor de la temperatura y la humedad del aire:**

Este sensor combinado capta la humedad y la temperatura del aire. Este sensor está compuesto por un sensor capacitivo que mide la humedad relativa del aire. A continuación, se muestra una imagen del sensor:



Figura 13. Sensor de la temperatura y la humedad del aire (combinado)

Es importante señalar que el sensor cuenta con un apantallamiento o escudo para protegerlo contra los efectos de la radiación solar. El material que compone este escudo ventilado es un material que presenta alta reflectividad, baja conductividad térmica, baja retención de calor y resistente a la corrosión.

Además, el sensor es resistente a la condensación y a los elementos contaminantes transportados por el aire, otro factor relevante a tener en cuenta. Por tanto, en la tabla de especificaciones, el rango de medición entre el 0% y el 100% de h.r. hace referencia a una humedad relativa sin condensación.

Los datos registrados gracias a este sensor, se emplean para medir el parámetro de la **temperatura del rocío (parámetro iv)** requerido por el cliente. Este sensor “virtual” se mide indirectamente en las estaciones climatológicas mediante un algoritmo de cálculo que cuantifica la temperatura de rocío a partir de los datos adquiridos de temperatura del aire y humedad relativa del mismo, mediante el uso de este sensor.

- **Sensor de la temperatura del aire:**

El sensor de temperatura de aire se utiliza para registrar la temperatura del aire. Este sensor está formado por una sonda de temperatura que se deberá instalar dentro de una pantalla para protegerlo de los efectos de la radiación solar. Esta pantalla, también denominada escudo, deberá permitir la ventilación de manera natural para permitir una correcta medición de la temperatura del aire. Este escudo debe estar diseñado con un material que cuente con una serie de características específicas como: alta reflectividad, baja conductividad térmica y baja retención de calor. Además, los soportes que sostienen a la sonda y a la carcasa protectora suelen estar fabricados de aluminio u otros materiales resistentes a la corrosión.

De esta manera, la precisión del sensor de temperatura será una combinación de las especificaciones del sensor y del escudo protector, de ahí la importancia de elegir unos materiales adecuados. Se busca alcanzar una precisión de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ con un rango de medición entre -5 y $+50^{\circ}\text{C}$. En la siguiente figura, se muestra una imagen de este tipo de sensores junto con su escudo protector.



Figura 14. Sensor de la temperatura del aire

Las especificaciones técnicas del sensor seleccionado para medir la temperatura del aire se encuentran en el siguiente apartado, en el pliego de condiciones del proyecto.

- **Sensor de la temperatura del suelo:**

Este sensor es el responsable de registrar la temperatura del terreno a diferentes profundidades de trabajo. Un parámetro que inicialmente no se consideró como indispensable pero que aporta gran valor a la estación climatológica, ya que permite hacer uso de sus datos para realizar un estudio completo de las calidades del terreno en que se encuentran. Estos datos aportan información, no solo de tipo climatológico sino información muy útil para futuras obras e infraestructuras que se quieran realizar en esa zona. Otra de las carencias con las que cuenta Venezuela es la falta de datos de las calidades de sus terrenos y este tipo de sensores pueden contribuir de forma muy positiva a recolectar este tipo de datos.

En la siguiente figura, se muestra una imagen de este tipo de sensores. Tal y como podemos observar se trata de una sonda cubierta de una protección para garantizar el correcto funcionamiento del sensor. Esta cubierta es de material plástico habitualmente para impedir el paso del agua.



Figura 15. Sensor de la temperatura del suelo

La unidad de medición es $^{\circ}\text{C}$ con un rango de medición de entre -30 y $+70^{\circ}\text{C}$ con una precisión de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

Las especificaciones técnicas del sensor seleccionado, que cumple los requisitos establecidos, se encuentran en el pliego de condiciones del proyecto.

- **Sensor de la radiación solar:**

El piranómetro o sensor de la radiación solar registra la radiación solar recibida por una superficie plana y horizontal en un campo de visión de 180 grados. Esta

cantidad se mide en W/m^2 como ya se ha mencionado anteriormente, y recibe el nombre de radiación solar “hemisférica”.

En cuanto al rango de operación del sensor a emplear, este debería estar entre los 305 y los 2800 nanómetros [nm] y debería de tener una precisión del 10% en condiciones de luz natural. Por otro lado, cabe destacar que la radiación solar esta compensada por la temperatura, sin embargo, esta dependencia no debería superar el 5%, especificación a tener en cuenta a la hora de escoger el sensor. La operatividad del instrumento se encuentra en un rango de temperatura entre los -10 y los $+40^\circ\text{C}$.

A la hora de instalar este sensor, es importante garantizar un horizonte libre en el lugar de la instalación y una buena orientación. Además, el sensor deberá contar con dispositivos de burbuja para su nivelación y fijación con tornillos de acero inoxidable.



Figura 16. Sensor de la radiación solar

A partir de los datos medidos con el sensor de radiación solar, también se medirá el parámetro de la **insolación** (**parámetro xi** requerido por el cliente). Este sensor virtual mide la duración del flujo de luz directa a partir de los datos medidos con el sensor de radiación. La acumulación será horaria y se reiniciará automáticamente a medianoche. La unidad de medición es en horas [h] y el umbral de radiación directa se establece a 120Wm^{-2} . Se espera un tiempo de respuesta de unos 20 segundos.

El sensor seleccionado junto con sus especificaciones técnicas aparece recogido en el pliego de condiciones del proyecto.

- **Sensor de las horas de sol:**

Este sensor se emplea para medir la radiación solar a través de un tubo de vidrio de alta velocidad. La particularidad de este sensor es que no cuenta con partes móviles y emplea tres fotodiodos con cuerpos de dispersión de luz desarrollados para realizar el cálculo análogo de la insolación percibida mediante el sensor.

La salida de señal varía entre 0 y 1V con la finalidad de mostrar las condiciones de presencia o ausencia de sol con un tiempo de respuesta esperado de menos de 1 segundo. Idealmente el espectro de frecuencia es entre los 400 y los 1100 nanómetros [nm].

Es importante para el correcto funcionamiento de este sensor, garantizar un horizonte libre en el lugar de la instalación. Para ello se recomienda que la

distancia entre el sensor y otros obstáculos, como los árboles, por ejemplo, sea diez veces mayor que la altura de los mismos. La orientación también es un factor a tener en cuenta, la inclinación del sensor debe corresponder con la latitud (rango $\pm 1^\circ$) y orientado en un rango de $\pm 5^\circ$ hacia el polo más cercano. Y, sobre todo, el mantenimiento, para mantener el vidrio en perfectas condiciones y en ausencia de polvo para garantizar mayor precisión.



Figura 17. Sensor de las horas de sol

El sensor seleccionado junto con sus especificaciones técnicas aparece recogido en el pliego de condiciones del proyecto.

- **Sensor de la presión de aire:**

Como su propio nombre indica, este sensor se emplea para medir la presión atmosférica del aire. La unidad de medición es el milibar [Hectopascales] y se precisa de un rango de medición de entre 10 y 1000hPa.

La salida estándar del sensor se clasifica en función del área y la altura en la que se encuentre instalado el sensor. Estos sensores suelen estar protegidos con una pantalla o carcasa de aluminio, la cual debe contar con una protección contra el polvo y el agua para garantizar el correcto funcionamiento del sensor.

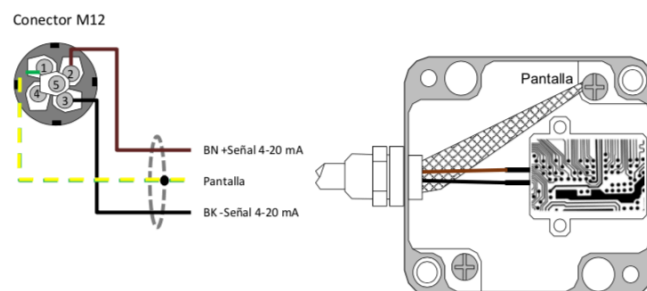


Figura 18. Sensor de la presión de aire y pantalla del mismo

El sensor y la pantalla seleccionados, junto con sus especificaciones técnicas, aparecen recogidos en el pliego de condiciones del proyecto.

- **Tanque de evaporación:**

Se conoce también como tanque evaporímetro y se emplea para medir la evaporación del agua en la atmósfera, es decir, la evaporación efectiva. Se registra el volumen de agua que es necesario para mantener el nivel de agua constante en

la tina, en una unidad de tiempo que suele ser de 6, 12 o 24 horas. Este volumen de agua se convierte en milímetros de agua evaporada por unidad de tiempo.

Se emplea únicamente en las estaciones de embalse y se suele instalar sobre un soporte compuesto por listones de madera. Es importante destacar que todas las partes de dicho sensor y su soporte se construyen con material resistente a la corrosión y, además, las partes mecánicas están diseñadas de manera que eviten la fricción y el desgaste. Para ello se requiere de una protección de tipo IP con el segundo dígito superior o igual a 4 (protección contra chorros de agua).

La unidad de medición es milímetros con una precisión de 1 milímetro y se requiere una temperatura de operatividad de entre 0 y 50°C aproximadamente. La medición de dicho parámetro consiste en salidas de señales eléctricas proporcionales al nivel del agua en el recipiente de evaporación, a la temperatura del agua del recipiente y a la velocidad del viento medida cerca de la superficie del agua en el recipiente de evaporación. La salida oscila entre 0 y 1V.

Los datos registrados gracias a este sensor, se emplean para medir el parámetro de la **evapotranspiración (parámetro ix)** requerido por el cliente. La evapotranspiración es la combinación de dos procesos, la evaporación y la transpiración [17]. En otras palabras, la combinación de la transpiración del cultivo y la evaporación del suelo, la cual se emplea para calcular la pérdida total de agua en los cultivos y poder así calcular el agua necesaria para dichos cultivos. Este sensor virtual se medirá en las estaciones de embalse y requiere de los datos obtenidos a través de los sensores de temperatura, insolación, velocidad del viento y humedad relativa. La unidad de medición será también en milímetros con una precisión del 1%.

Las especificaciones técnicas del equipo seleccionado se recogen a continuación en el pliego de especificaciones. El tanque evaporímetro forma parte de la estación de tipo climatológica y está integrado en la misma.

- **Pluviómetro:**

El pluviómetro es el encargado de medir el nivel de precipitaciones de los puntos de control. Esta medida se registra tanto en las estaciones pluviométricas como en las estaciones de tipo climatológicas y de embalse.

El sensor seleccionado para esta instalación se emplea exclusivamente para el registro de precipitaciones en forma de impulsos. Se trata de pluviómetros de alta precisión con una salida de impulsos para sistemas de recopilación de datos. Está cuenta con un sensor de tipo balancín oscilante de rodamientos a uno de sus lados, con nivel y tornillo de ajuste.

Además, este tipo de pluviómetros puede estar equipado adicionalmente con un calefactor, lo que permite emplear estos sensores a temperaturas bajo cero garantizando un correcto funcionamiento.



Figura 19. Pluviómetro

El nivel de precisión de la medición de estos sensores está muy relacionado con la intensidad de las lluvias. Se espera tener una precisión de $\pm 0,5\%$ para lluvias de intensidad menor a los 25mm/h y de $\pm 5\%$ para lluvias de mayor intensidad (menores a 300mm/h). La unidad de medición es en milímetros [mm].

Estos sensores se encuentran instalados dentro de unas carcasas de aluminio que protegen el sistema del balancín. Es relevante destacar la importancia de equilibrar correctamente el balancín para conseguir exactitud en las medidas. En este proyecto, se ajusta el balancín a una frecuencia de barrido de 10 segundos para una altura de precipitación de 0,1mm, de esta forma se pueden llegar a conseguir resoluciones de entre 0,1 y 0,2l/m². El tope del balancín suele venir ajustado previamente de fábrica. También es muy importante el mantenimiento para mantener limpio

Se han considerado dos tipos de pluviómetros en función de si se van a instalar junto con otros sensores como es el caso de los pluviómetros que se emplean en las estaciones climatológicas y de embalse; y los pluviómetros que funcionan de forma aislada en las estaciones de tipo pluviométricas. Los sensores seleccionados para el proyecto, junto con sus especificaciones técnicas, se encuentran en el pliego de condiciones.

- Sensor del nivel de agua en ríos:

Para medir el nivel de agua en ríos se puede emplear varias tecnologías. En este proyecto se van a considerar dos de ellas, el principio de burbujeo y la tecnología radar. Esta última se detallará en el siguiente punto.

El sensor de presión no sumergible de tipo burbujas constante es empleado en todas las instalaciones de medición profunda en ríos grandes. Este está compuesto por una bomba, un tanque de reserva, un colector de datos, un panel de control con pantalla para realizar una programación independiente y una carcasa. En esta instalación toda la electrónica está fuera del agua y solo un tubo o manguera se desplaza dentro del agua. El uso de este sensor es ideal para emplazamientos donde no existe una infraestructura de puentes o áreas rocosas donde se pueda fijar el sensor de tipo radar.

Las variantes de este dispositivo están determinadas y optimizadas para un área de trabajo de 0 a 10 metros, de 0 a 20 metros o de 0 a 40 metros y una longitud del tubo de presión de entre 10 y 130 metros con un diámetro de unos 6 mm.

El principio de medición es el siguiente: para activar la medición se aplica la presión ambiental durante unos instantes sobre el sensor, mediante una válvula de conmutación y esto se registra como valor cero. En ese momento, la bomba interna empuja esa agua filtrada del tubo de presión. Después, el sensor detecta dicha presión en el tubo de presión y para la bomba en cuanto el tubo está libre. En ese mismo instante, se mide la presión hidrostática y ese valor es almacenado o emitido en forma de compensación offset o de temperatura.

A continuación, se presenta un ejemplo del principio de medición empleado para determinar la altura de la instalación.

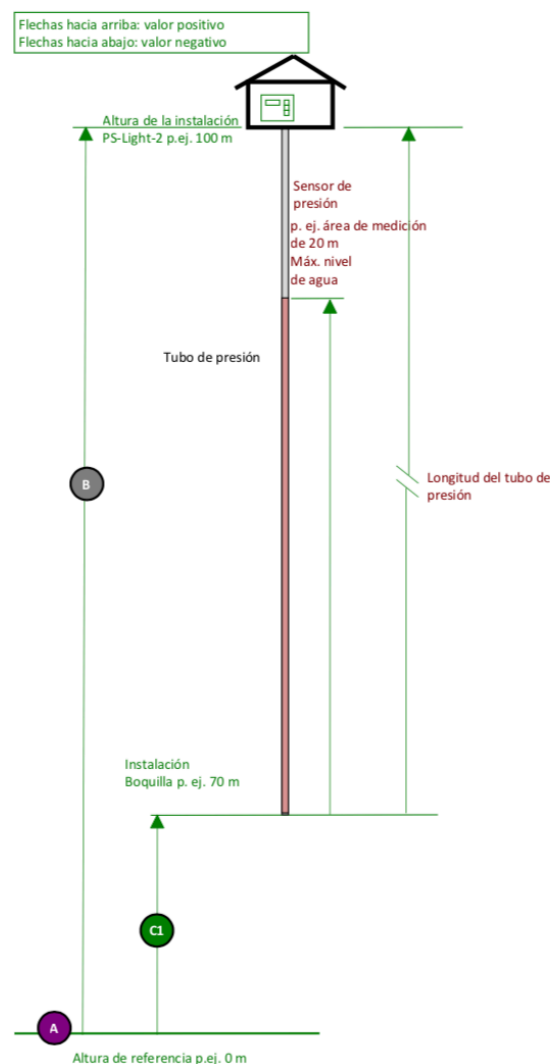


Figura 20. Croquis principio de burbujeo para medir la altura de una instalación. Leyenda: A, Altura de referencia; B, Altura de la instalación medida con el sensor; C1, altura de las boquillas.

Es importante tener en cuenta que el aparato debe instalarse con las conexiones hacia abajo para evitar que el agua de condensación afecte al sensor o a la válvula de conmutación. Además, a la hora de colocar los tubos a presión se debe prestar especial cuidado al radio de flexión que nunca debe ser inferior a 100 mm y no puede estar doblado. También es aconsejable evitar colocar tubos de presión a una temperatura inferior a -5°C. En este caso no supone mucho problema dado que la mayoría de los puntos de control se encuentran situados en zonas donde no suelen registrarse temperaturas extremas.

La unidad de medición es en metros y la precisión de la medida depende del rango de medición, pero esta debería oscilar entre +/- 0,05%.

Otro dato importante es que este tipo de sensores solo funciona, es decir, solo consume electricidad cuando transmiten los datos del nivel del agua a las unidades de adquisición de datos o data loggers de la estación. Esta transmisión no dura más de 1 minuto y suele realizarse una vez a la hora. El consumo eléctrico de este tipo de sensor es mínimo.

Las especificaciones técnicas del sensor escogido se encuentran en el pliego de condiciones.

- **Sensor del nivel del agua en embalses:**

Para la medición de nivel de agua en embalses se emplea un sensor de presión neumático, es decir, un mini compresor integrado mediante un tubo de presión que recibe burbujas de aire desde el agua con intervalos de tiempo ajustables. Esta presión obtenida dentro del tubo es medida por un sensor muy preciso y cuyas lecturas son registradas por la unidad de adquisición de datos o data logger. En el pliego de condiciones se pueden identificar los distintos componentes que forman este sensor.

El principio de funcionamiento es muy similar al sensor del nivel de agua en ríos con principio de burbujeo explicado anteriormente, dado que ambos emplean el mismo principio. Cabe destacar que el valor de medición se calcula con ayuda de unos parámetros de compensación programables que son capaces de adaptarse a las condiciones locales. Por otro lado, debe prestarse gran atención a la influencia de la tasa de burbujeo. En primer lugar, el flujo constante de aire mantiene el tubo de presión libre de agua y esta presión mínima requerida corresponde exactamente con la presión del agua por encima del hueco. Una velocidad de burbujeo más alta permite una reacción más rápida al aumentar el nivel del agua, ya que el agua será expulsada del tubo de presión más rápido. Sin embargo, una mayor tasa de burbujas también incrementa el consumo de energía eléctrica dado que la presión de operación es generalmente más elevada. Además, un mayor flujo de aire también puede introducir un pequeño error de medición, ya que habrá una ligera diferencia entre la presión del sensor y el hueco. No obstante, esta diferencia puede eliminarse mediante una calibración de compensación. Por todas las razones mencionadas, es necesario encontrar un equilibrio entre la tasa de burbuja y el tiempo de reacción, el cual puede ser diferente para cada ubicación de los puntos de control. El rango de la tasa de burbujeo oscila entre el 2 y el 10 y en este caso, se ha considerado una tasa de burbuja de 4, que corresponde a una configuración estándar.

Es importante destacar la necesidad de purgar este dispositivo para garantizar su correcto funcionamiento. Así como es necesario el cambio de filtro del compresor, el cual debería cambiarse al menos una vez al año. Aunque dependiendo de las condiciones medioambientales y de la frecuencia con la que se use el compresor podría ser necesario cambiar el filtro más de una vez al año.

Al igual que el sensor del nivel del agua de ríos, el de embalse también tiene un consumo eléctrico mínimo por el mismo motivo. Este sensor solo consume cuando transmite los datos al data logger y la frecuencia de transmisión es de una vez cada hora y la duración de la misma es inferior a un minuto.

Las especificaciones técnicas del sensor se encuentran recogidas en el pliego de condiciones.

- **Sensor radar del nivel del agua:**

Este sensor se emplea para medir el nivel del agua de los ríos en las estaciones hidrométricas. Este tipo de sensores emplean la tecnología radar para una medición continua del nivel del agua esto permite la obtención de resultados muy precisos independientemente de las condiciones del proceso, así como una elevada disponibilidad de los mismos debido a la ausencia de desgaste. Por otro lado, no precisan de mantenimiento dado que su principio de medición no necesita contacto, y, por tanto, supone un ahorro en costes de mantenimiento para este tipo de sensores.



Figura 21. Sensor radar del nivel del agua

El principio de funcionamiento consiste en la emisión de una señal de radar continua mediante la antena del sensor. Esta señal es reflejada en el obstáculo y captada en forma de eco por la misma antena. La diferencia de frecuencia existente entre la señal enviada y la recibida es proporcional a la distancia y, por tanto, depende directamente de la altura de llenado. Por tanto, esta altura de llenado se convierte en la señal de salida y se registra como el valor medido.

Se propone el empleo de este tipo de sensores con tecnología radar para la medición del nivel de agua en las instalaciones donde se requiera medir niveles de ríos pequeños o medianos que presenten alto nivel de transporte de sedimentos en suspensión o que se caractericen por crecientes turbulentas de tipo torrente. En

ambos casos, la implementación de la tecnología radar permitirá registrar datos mucho más precisos que los otros tipos de sensores.

Este tipo de sensores se suelen emplear para rangos dinámicos de unos 30 metros y para la instalación se recomienda disponer de una estructura de algún puente cercano a las coordenadas geográficas de medición. En caso de no disponer de esto, será necesario utilizar soportes por postes rígidos que atraviesen los ríos con una tensión suficiente para evitar oscilaciones verticales del sensor, lo cual perturbaría los datos registrados en la base de datos. Estos soportes además deben contar con un sistema que permita acceder al sensor para alguna actividad de mantenimiento.

El rango de temperaturas de medición se estima entre -20°C y $+60^{\circ}\text{C}$. Se requiere una precisión de $\pm 3\text{mm}$ aproximadamente y la unidad de medición es el metro.

En el pliego de condiciones se encuentra el fabricante del sensor radar seleccionado para el proyecto junto con las especificaciones técnicas del mismo.

Unidad de adquisición de datos (UAD)

Además de los sensores, otra parte fundamental de los puntos de control o estaciones hidrometeorológicas son los data logger, también denominados unidades de adquisición de datos (UAD). La unidad de adquisición de datos empleada en este proyecto es un Data Logger, dado que es el tipo de registrador de datos más usado en la actualidad para recoger datos medioambientales.

Un data logger es un aparato electrónico cuya función principal es registrar los datos procedentes de los sensores, que captan las señales físicas del ambiente exterior, en tiempo real. Para ello, necesitan generar datos que puedan ser manipulados por un ordenador mediante la conversión de señales físicas en señales analógicas. Además, estos instrumentos cuentan con una batería de larga duración y son de tamaño reducido. Su principal ventaja es que tiene la función de muestreo automatizada y no precisan de intervención humana ni de otros dispositivos adicionales para realizar su función correctamente. Esta ventaja es crucial para este tipo de instalaciones cuyo acceso es muy restringido debido a su localización. Y no solo eso, sino que no necesita ninguna vigilancia para ejecutar el muestreo de un área específica. Esto hace que estos dispositivos sean completamente independientes gracias también a la memoria propia con la que cuentan que además no requiere de energía para poder guardar la información, a diferencia de otro tipo de registradores. El resultado es que son capaces de medir durante días, semanas, meses o incluso años sin ningún tipo de supervisión. Otra ventaja que hace que este tipo de unidad de adquisición de datos sea muy apropiado para su instalación dentro de las estaciones hidrometeorológicas. [18]

El data logger instalado para este proyecto obtiene energía por medio de paneles solares lo cual permite reducir el uso de baterías, alargando así la vida de las mismas. Este beneficio permite colocar estos dispositivos en cualquier lugar sin importar las condiciones climatológicas externas, dado que los registradores son más flexibles al reducir el tamaño de la batería y les permite soportar climas severos gracias a la ausencia de grandes baterías. Aun así, el consumo de estos dispositivos es bajo.

La protección de este tipo de dispositivos también es un tema esencial. Todos los cables de conexión entre los sensores y el data logger deben estar provistos de apantallamiento con conexión a tierra. Por otro lado, los diferentes canales analógicos, digitales y de comunicación deben estar protegidos contra descargas eléctricas y sobre tensiones.

Igualmente, se ha considerado oportuno dotar al sistema de un “Battery Sentry” para poder conmutar la UAD al modo STOP en caso de emergencia si la tensión cae por debajo del nivel preestablecido. La finalidad de esta alerta es proteger los datos registrados en todas las memorias del sistema. Cuando baja la tensión el data logger deja de transmitir los datos de los sensores, pero no deja de almacenarlos y los guarda en la memoria del data logger. Junto con este sistema de alerta, se ha instalado también un software “Watch Dog” que permitirá reiniciar las operaciones si se produce un fallo en la ejecución del programa. De forma que esta reinicialización no altere los datos previamente almacenados.

El registrador de datos tiene incorporado un reloj y cuenta con un receptor GPS para poder ajustar la hora GMT y GOES con el objetivo de poder ajustar de manera automática la hora local de Venezuela, sin interrumpir los procesos que realiza el data logger en estado activado de adquisición y de procesamiento de datos.

Por último, en cuanto a la comunicación, la unidad de adquisición de datos debe ser compatible y fácilmente configurable para comunicarse con el satélite GOES. Esta debe poseer, la capacidad de poder ser programada de forma remota a través de cualquiera de los puertos de comunicación. Así como, poseer la capacidad de intercambiar información de forma simultánea por cualquiera de los canales de comunicación, sin interrumpir su operación normal. Se requiere que el data logger cuente con entradas analógicas para corriente y tensión, al menos una entrada para sensores con tecnología SDI-12 si fuese necesario, así como es esencial que cuente con un puerto serie RS-485 y RS-232, para establecer la conexión con el transmisor. Además, se requiere de un receptor GPS con la finalidad de poder ajustar la hora GMT-GOES. Es indispensable para la autocorrección de la hora local en periodos preprogramados según recomiende el fabricante seleccionado para la unidad de transmisión.

Otras características a destacar de las unidades de adquisición de datos son que los parámetros de voltaje y corriente eléctrica en los canales analógicos y digitales de la UAD, se programan de manera independiente para cada uno de los sensores conectados. Además, las baterías recargables son de 12 V en corriente continua y de forma que garanticen la capacidad Amperios-hora (Ah) durante un periodo de 45 días en caso de falla del panel solar o de la energía AC (para aquellos puntos de control que estén directamente conectados a la red). Este cálculo de balance de energía se ha estimado considerando el consumo energético del máximo número de sensores conectados a la UAD con el mínimo muestreo de mediciones por hora.

Se consideran dos tipos diferentes de UAD en función del tipo de dato que registre. En este proyecto se distinguen cuatro tipologías de estaciones hidrometeorológicas, por lo que se ha decidido emplear un modelo de data logger para las estaciones de tipo climatológicas e hidrométricas y otro tipo para las estaciones de tipo pluviométricas y de embalse. Los data loggers seleccionados para cada una de las estaciones están detallados en el pliego de condiciones.

Unidad de transmisión GOES

La transmisión de datos se define como el proceso por el cual se transmite información entre dos o más puntos. Esta transmisión consiste en el movimiento de información codificada a través de señales eléctricas, ópticas o electromagnéticas [19].

En este proyecto, las trescientas treinta y cinco estaciones hidrometeorológicas están enlazadas a través de la última generación del satélite GOES. La transmisión se realiza entre la unidad de transmisión y el satélite GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite). Posteriormente, el transpondedor de satélite transforma esta señal y la envía a la estación terrestre donde se almacenan y procesan los datos provenientes de los sensores de las estaciones hidrometeorológicas. Estos sistemas integrados de comunicación vía satélite GOES, se emplean principalmente en sistemas donde se requiere de medición y transmisión continua de información meteorológica e hidrometeorológica [20]. Por ello, ha sido seleccionado para este proyecto. Este tipo de comunicaciones permiten un monitoreo remoto y de forma continua, especialmente útil en los puntos de control de difícil acceso. Además, no limita la ubicación geográfica de los mismos para establecer la comunicación remota. Más adelante, en el capítulo 3 “Sistema de comunicaciones e información” se describirán con más detalle las características del satélite GOES, su propósito y sus particularidades.

Es importante que la unidad de transmisión GOES seleccionada cumpla con la certificación de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), agencia científica del departamento de comercio de los Estados Unidos cuyas actividades se focalizan en las condiciones de los océanos y la atmósfera; y de NESDIS (National Environmental Satellite, Data and Information Service), organización creada por la NOAA para operar y gestionar los programas de los satélites de medio ambiente de Estados Unidos y recopilar los datos recogidos por el Servicio Nacional Meteorológico y otras agencias gubernamentales; para garantizar de esta forma el pleno respecto a las especificaciones técnicas de la NESDIS.

Las especificaciones esenciales que debe recoger el transmisor GOES son las siguientes:

- El transmisor debe poseer al menos un puerto de conexión con tecnología SDI-12 (Serial Data Interface at 1200 baud). Se trata de un protocolo de comunicaciones que nació con la finalidad de facilitar la compatibilidad entre el datalogger y los sensores en el sector de los recursos hídricos [21]. Este protocolo ayuda a entender el formato de los datos, la programación, el cableado tanto del datalogger como de los sensores sin tener que profundizar en las especificaciones de ambos. Los sensores SDI-12 cuentan con tres hilos: línea de datos serie, línea de alimentación a 12V en corriente continua y línea de tierra.
- El transmisor debe poseer un puerto serie para establecer la comunicación con el data logger.
- El transmisor debe poseer las siguientes entradas: dos entradas digitales independientes, una entrada analógica sencilla (0 -5V), una entrada analógica diferencial (entre 0 y 2.5V) y una entrada analógica (4 – 20mA).
- El transmisor necesita una memoria interna que permita al menos un millón de lecturas. Además, se recomienda que posea una ranura de expansión hasta 16GB para poder registrar los datos colectados.

- Es necesario que el transmisor permita la conectividad por los puertos USB, Wifi o Bluetooth para poder realizar las labores de configuración y mantenimiento, tanto preventivo como correctivo. Por otro lado, es recomendable la existencia de otros dos puertos de expansión para poder adecuar un modem telefónico y/o un punto de Ethernet.
- El transmisor permitirá conectarse al ordenador a través del software de administración.
- Se recomienda usar un oscilador de cristal, se trata de un componente electrónico que es capaz de generar una corriente eléctrica con una frecuencia determinada. Su finalidad es compensar la frecuencia y puede ser utilizada como reloj en la placa electrónica. La estabilidad de la frecuencia será 0.5 ppm (pulsos por minuto) en un rango de temperatura de -5 °C a +50 °C.

La frecuencia se puede utilizar como reloj porque cuando se somete al oscilador de cristal a una determinada tensión, el oscilador produce una corriente con una frecuencia determinada y precisa. La frecuencia sigue una forma sinodal con flancos de subida y flancos de bajado. Para entender la función del reloj, se emplean los flancos de subida como contador y cada número determinado de flancos ascendentes del oscilador, el transmisor ejecutará una instrucción determinada.

- Por último, es necesario que se sincronice el reloj del transmisor con un reloj de la unidad de adquisición de datos a través de un receptor GPS incluido en la misma, para poder proporcionar una mayor precisión en sus ventanas de transmisión. Cabe destacar que el transmisor GOES debe garantizar la transmisión durante mínimo 30 días, aunque la sincronización del GPS y el reloj interno no se estableciera por alguna razón.
- Se debe garantizar una operatividad del instrumento en un rango de humedad relativa de hasta el 95% sin condensación y en un rango de temperaturas de entre -40°C y 70°C.
- La frecuencia de salida del satélite GOES oscila entre 401 y 402Mhz.

Por otro lado, se definen los requerimientos de la antena de transmisión vía GOES que se instalan en la superficie de los puntos de control hidrometeorológicos. EL papel principal de las antenas es la transmisión y recepción de ondas electromagnéticas. Este tipo de ondas contienen información codificada, dicha información se descodifica en el lugar de recepción. En un sistema de telecomunicaciones, esta información se codifica a través de señales eléctricas. Las responsables de transformar esas señales eléctricas en ondas electromagnéticas y viceversa, son las antenas, de ahí su crucial importancia en el instrumento de transmisión vía satélite GOES.

A continuación, se definen las principales características de las antenas:

- **Ganancia:** Se define como la relación existente entre la potencia de entrada en forma de electricidad en la antena y la de salida en forma de ondas electromagnéticas, en comparación con la de salida en una antena isotrópica. Se define una antena isotrópica como aquella que tiene un patrón de radiación esférico perfecto y una ganancia unitaria lineal.
- **Directividad:** esta característica hace referencia a la capacidad de una antena de direccionar la energía radiada a un punto concreto. Su representación hace

referencia a la relación entre la intensidad de radiación en una dirección específica en comparación con la intensidad media isotrópica.

- Polarización: hace referencia a la orientación de las ondas cuando abandonan la antena. Se distinguen dos tipos, la polarización lineal y la circular. Dentro de la lineal, estas pueden ser vertical, horizontal y oblicua, y dentro de la circular se distinguen: derecha, izquierda, elíptica derecha y elíptica izquierda. Cabe destacar que la antena emisora y receptora siempre tienen la misma polaridad [22].

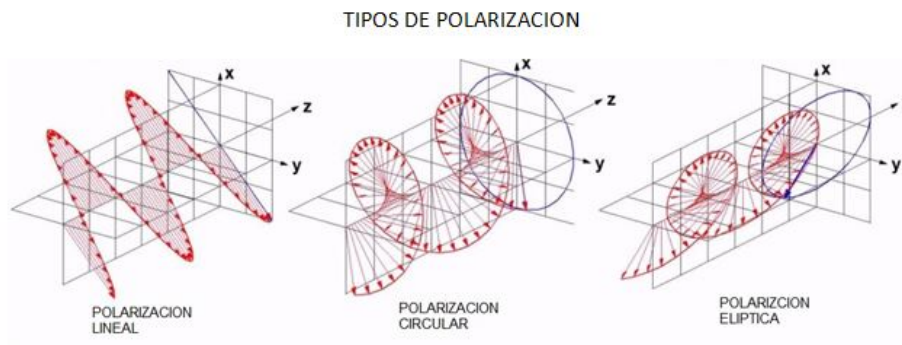


Figura 22. Tipos de polarización en antenas de transmisión.

La antena seleccionada para este sistema de transmisión, deberá operar en un rango de frecuencia de 401 a 402 MHz, dependiendo de la impedancia de acoplamiento, correspondiente al satélite GOES. Además, se requieren las siguientes características: una ganancia de aproximadamente +11dB, una directividad de +12dB y una polarización circular derecha.

Se pueden distinguir diferentes tipologías de antenas, tal y como se describe en el capítulo 3 “Sistema de comunicación e información”. Entre ellas cabe destacar la antena Yagi y la antena helicoidal. La particularidad de ambas antenas es que están dirigidas hacia el satélite, son antenas de apuntamiento. Esta característica es esencial para las antenas del satélite GOES ya que los satélites geoestacionarios ocupan siempre la misma posición y las antenas de apuntamiento garantizan mayor efectividad en la transmisión.



Figura 23. Antena Yagi y Helicoidal

Para este proyecto se propone el uso de una antena de tipo Yagi, son antenas de alto rendimiento y gran direccionalidad.

La unidad de transmisión y la antena seleccionadas para este proyecto se detallan en el pliego de condiciones al final del documento.

Capítulo 2. Sistema de alimentación y protecciones

En este capítulo se describe en profundidad el sistema de alimentación de energía diseñado para este proyecto, así como la metodología empleada para el cálculo y dimensionamiento de dicho sistema.

En primer lugar, se estudiarán las posibles soluciones para suministrar al sistema con la energía demandada. Posteriormente, se realizarán los cálculos necesarios para el diseño del sistema de alimentación, y, por último, se describirá la protección de la instalación.

Sistema de alimentación

Asegurar la alimentación eléctrica de la red es de vital importancia para el funcionamiento del sistema general de adquisición y transmisión de datos hidrológicos, hidráulicos y climáticos.

Todos los componentes que forman parte de la red hidrometeorológica necesitan de suministro eléctrico para funcionar, tal y como se muestra en la siguiente figura. Dentro de la estación hidrometeorológica, el consumo de los sensores es prácticamente despreciable, mientras que los data loggers y los sistemas de transmisión consumen más energía. Estos dos últimos componentes cuentan con un consumo casi despreciable cuando se encuentran en reposo y demandan gran cantidad de energía durante la transmisión de datos.

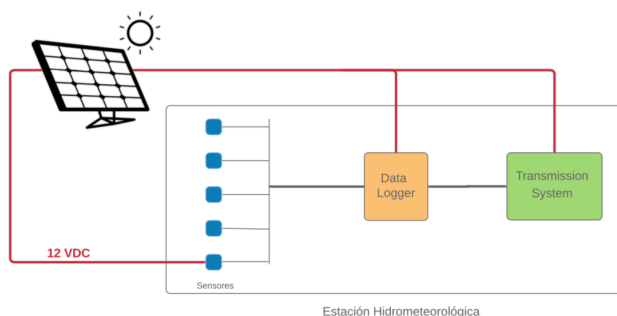


Figura 24. Croquis sistema de alimentación en una estación hidrometeorológica. Fuente: Elaboración propia

El suministro eléctrico de estos equipos se puede llevar a cabo mediante un sistema de alimentación de energía con red eléctrica convencional o con una fuente de energía alternativa como puede ser la energía solar, la eólica o la biomasa.

Red eléctrica convencional

Este sistema de alimentación se ha adoptado en los puntos donde se dispone de una fuente suministradora de energía convencional. Para emplear este tipo de suministro eléctrico, es necesario verificar previamente una serie de requisitos. En primer lugar, se debe comprobar la disponibilidad de una fuente suministradora de energía convencional cerca de los puntos de control (red comercial) y corroborar que cuenta con una infraestructura eléctrica robusta. En segundo lugar, es esencial asegurarse de que la red posee condiciones óptimas para su funcionamiento, es decir, es segura, estable y puede garantizar la continuidad de suministro.

Si la red comercial existe y cumple con los requisitos técnicos y de diseño, es necesario dotar a la estación correspondiente de un sistema que pueda actuar en caso de interrupción del suministro energético de la red convencional. Por esta razón, se diseña un sistema de alimentación formado por un rectificador-cargador y las baterías correspondientes con una autonomía asegurada de al menos tres días. La finalidad del sistema propuesto es asegurar la continuidad de la adquisición y transmisión de datos de la estación en caso de caída de la red.

La funcionalidad de los rectificadores-cargadores de baterías es generar una tensión continua de 12V para alimentar a los equipos de la estación hidrometeorológica y cargar a su vez las baterías. Por su lado, las baterías tienen como finalidad ofrecer la máxima capacidad útil junto con una larga duración. Tal y como se ha indicado antes, se estima la necesidad de unas baterías con autonomía de tres días. Se recomienda la selección de baterías de gel con electrolito gelificado debido a su alta fiabilidad, su resistencia y que requieren un mantenimiento nulo.

Además, sería necesario la instalación de alarmas e indicadores locales para conocer el estado de la red, de los rectificadores y de la batería; así como la instalación de medidas de protección contra sobre tensiones y sobre carga.

Energía solar

Estos sistemas de alimentación se adoptan en los puntos donde no se dispone de una fuente suministradora de energía de la red comercial. En condiciones normales, estos sistemas obtienen la energía de los módulos de paneles solares fotovoltaicos, dimensionados en cada estación hidrometeorológica para producir la energía necesaria en el peor mes del año, es decir, en el mes con menor radiación solar.

En el caso en que la radiación solar sea menor a la prevista y, por tanto, la energía generada por los paneles sea insuficiente para asegurar la continuidad de la adquisición y transmisión de datos, se ha previsto la alimentación con baterías cuya autonomía sea de cinco días. Se ha considerado que cinco días es tiempo suficiente para recuperar la radiación solar requerida para la carga de las baterías, o la recuperación de las mismas. La falta de producción de energía eléctrica mediante los módulos fotovoltaicos puede ser debido a inclemencias del tiempo (cielo nublado durante varios días, tormentas...), fallo en el conexionado de las placas y robo o deterioro de las células fotovoltaicas.

El tipo de sistema propuesto es un sistema de alimentación fotovoltaico formado por: paneles fotovoltaicos, baterías, regulador de carga de baterías y soporte para los paneles solares. Además, también se dota al sistema con alarmas e indicadores locales que indiquen en tiempo real el estado de cada uno de los componentes del sistema, y medidas de protección contra sobre tensiones.

Para concluir, se plantea la instalación de dos tipos de sistemas de alimentación para este tipo de instalaciones: la red convencional y la energía solar. En la mayoría de proyectos de estas características suelen darse los dos tipos de sistemas de alimentación. En este caso en concreto, se ha decidido alimentar todos los puntos de control mediante una instalación fotovoltaica. Hay varias razones por las que se ha considerado que esta era la opción óptima:

- En primer lugar, y el punto más característico y conflictivo de este proyecto, es la baja calidad del sistema eléctrico en Venezuela. Este país se caracteriza por tener un sistema eléctrico integrado en el que predominan los complejos hidroeléctricos y termoeléctricos. Además, cuenta con una ineficiencia a nivel estatal para gestionar el servicio eléctrico [23]. Venezuela sufre actualmente importantes problemas de suministro de energía, unido a la inestabilidad y la corrupción que vive este país a día de hoy. Esta situación no garantiza la continuidad de suministro, por lo que conectar las estaciones a la red convencional no parece una opción muy adecuada.
- Otra desventaja es la posición geográfica de las estaciones hidrometeorológicas. Todas ellas se encuentran ubicadas en puntos muy alejados de los centros urbanos, donde la calidad de suministro es algo mejor y, además, son ubicaciones de difícil acceso donde la red convencional es en la mayoría de casos inexistente.
- La demanda de energía de las estaciones es muy pequeña por lo que es innecesario efectuar una gran instalación eléctrica para satisfacer la demanda de los mismos. La conexión a la red de estos puntos junto con su correspondiente mantenimiento preventivo y correctivo supone un coste mucho más elevado que la instalación de un sistema de alimentación fotovoltaico de pequeña potencia.

Por consiguiente, se concluye que todas las estaciones serán suministradas mediante un sistema de alimentación fotovoltaico. Tras las razones detalladas en el párrafo anterior, resulta evidente que la instalación de paneles solares es la mejor solución para este proyecto, teniendo en consideración la situación de crisis e inestabilidad que atraviesa Venezuela.

A efectos del sistema de alimentación, se pueden establecer tres categorías distintas de estaciones:

- Estaciones nuevas, las cuales se dotarán de nuevos sistemas de alimentación.
- Estaciones existentes que se integran en la red actual, a las cuales no se les modifica su sistema de alimentación de energía.
- Estaciones existentes que se dotan de equipos nuevos y nuevos sistema de alimentación de energía.

En el caso de este proyecto, todos los puntos de control son estaciones nuevas, por lo que será necesario el estudio y diseño de todos los equipos y acometidas del sistema para cada una de las estaciones hidrometeorológicas.

Diseño y dimensionamiento de equipos

En este apartado se diseñan los equipos seleccionados para la instalación eléctrica. En primer lugar, se definen los diferentes componentes del sistema de alimentación de energía. Posteriormente, se calculan los consumos de los equipos que forman las diferentes estaciones de la red hidrometeorológica. Y, por último, una vez conocidos los consumos, se dimensiona el sistema fotovoltaico con su correspondiente regulador de carga y batería.

El sistema de alimentación fotovoltaico cuenta con los siguientes elementos:

Módulos fotovoltaicos:

Estos módulos están contruidos con células fotovoltaicas cuadradas de silicio monocristalino de alto rendimiento. Este tipo de célula asegura una producción eléctrica desde el amanecer hasta el atardecer. De esta forma se aprovecha toda la potencia útil que no suministra el sol dado que tienen una eficacia muy alta, e incluso si la luz incide con poca intensidad es capaz de proporcionar la mayor cantidad de energía posible. Además, el vidrio frontal endurecido permite una absorción máxima de la luz y sirve para proteger el módulo de condiciones climatológicas adversas, como el granizo o el hielo.

Las células solares van incrustadas en plástico EVA (Acetato de Vinilo Etileno) y se colocan entre una lámina de varias capas en la parte posterior y el vidrio frontal mencionado. La finalidad de este laminado sellado es proteger las células de la humedad y asegurar el aislamiento eléctrico.

Los marcos laterales se recomiendan que sean de aluminio anodizado, los cuales aportan gran robustez. Esto les permite ser capaces de soportar el peso y las dimensiones de los módulos fotovoltaicos a la vez que garantizan alta estabilidad mecánica. Como consecuencia, el modulo es capaz de resistir fuertes cargas provocadas por el viento o la nieve.

En cuanto a sus características eléctricas, se caracterizan porque todas las células solares son perfectamente combinables entre sí lo que permite garantizar potencias óptimas.

Las características principales de los módulos fotovoltaicos seleccionados son:

Potencia nominal	30	[W]
Tensión nominal	12	[V]
Dimensiones	633x427x35	[mm]

El resto de especificaciones técnicas de los paneles fotovoltaicos seleccionados se encuentran en el pliego de condiciones del proyecto, así como un croquis con las dimensiones de los paneles.

Baterías:

Para la selección de batería se han utilizado los mismos criterios de diseño que se ha mencionado anteriormente para los sistemas con energía convencional: bajo mantenimiento, alta seguridad y robustez. Y dentro de estas condiciones, ofrecer la máxima capacidad útil junto con una larga duración.

Se han seleccionado unas baterías de gel con electrolito gelificado por su alta fiabilidad, su alta resistencia y su nulo mantenimiento. Cumpliendo así con los criterios de diseños mencionados.

La tensión nominal de las baterías es de 12V con una autonomía de cinco días, número de días en los que la instalación funcionará solo con la energía almacenada en la batería. Se requiere una batería con una profundidad de descarga del 80%, de forma que la batería nunca llegue a descargarse más del 80%, evitando así que se reduzca el tiempo de vida útil de la misma. El tiempo de descarga se estima de unas cien horas (c100).

Por último, la capacidad de las baterías, es decir, los amperios que puede almacenar por hora, se calculan a continuación para cada tipología de estación hidrometeorológica en función del consumo diario previsto de las mismas.

Regulador de carga:

La principal función del regulador es controlar la carga de la batería. Este instrumento regula las potencias de valor igual a las de suministro máximo que proceda de los paneles solares (carga) y a las potencias de máxima demanda de los receptores (descarga). Si este sistema falla, la batería se quema.

El regulador interrumpirá la alimentación cuando la capacidad residual de las baterías descienda del 30%, para no permitir su descarga total y como consecuencia, no dañarla. Además, se requiere de tecnología MPPT (con seguidor del punto de máxima potencia).

Criterios de diseño:

Para el diseño del sistema de alimentación se han adoptado los siguientes criterios:

- Los equipos que funcionan en corriente continua se alimentarán a 12Vcc.
- Los cálculos referentes a los equipos se han hecho de acuerdo con:
 - El equipo de comunicaciones trabaja veinticuatro horas al día todos los días del año.
 - Los puntos donde no se cuenta con energía eléctrica convencional se les ha dotado de un sistema fotovoltaico con una autonomía de cinco días.
 - Las acometidas estarán protegidas con descargadores de sobre tensiones.
 - Los sensores trabajan 24 horas al día todos los días del año.
 - Todos los equipos cuentan con alarmas de funcionamiento que, por medio del sistema de alimentación, se enviarán al centro de Control de Venezuela, el INAMEH.

Cálculo de consumo de los equipos:

En primer lugar, se procede al cálculo de los consumos de los equipos, tanto de los sensores como de los equipos de transmisión. El cálculo de los consumos tiene como objeto la obtención de la potencia eléctrica de los equipos. Una vez conocida la potencia instalada, se procede al cálculo del consumo diario de cada receptor.

El consumo en potencia eléctrica de cada equipo individual se ha obtenido a partir de los datos facilitados por los fabricantes (ver Pliego de Condiciones) y queda resumido en la siguiente tabla. En esta tabla, los sensores aparecen agrupados según la estación a la que pertenecen, dado que cada estación hidrometeorológica cuenta con unos sensores diferentes.

Tipo de estación	Sensores	Consumo máximo [w]	Consumo medio [w]
Climatológica	Sensor de velocidad del viento	0,24	0,19
	Sensor de la dirección del viento	0,24	0,19
	Senor de viento por ultrasonido combinado	0,17	0,17
	Sensor de la temperatura y la humedad del aire (combinado)	1,20	1,20
	Sensor de temperatura del aire	1,20	0,00
	Sensor de la temperatura del suelo	1,20	1,20
	Sensor de la radiación solar	0,10	0,10
	Sensor de las horas de sol	0,10	0,10
	Sensor de la presión de aire	1,38	1,38
	Tanque de evaporación	0,24	0,19
	Pluviómetro _RG50	0,00	0,00
Pluviométrica	Pluviómetro _RG100	0,00	0,00
Hidrométrica	PS-Light-2-Sensor (nivel del agua en ríos)	60,00	1,49
Embalses	Pluviómetro _RG50	0,00	0,00
	PS-Sensor (nivel del agua en embalses y presas)	84,00	1,89
	Sensor radar medida nivel de agua	0,24	0,19
TOTAL		150,31	8,31

Tabla 9. Tabla de consumo de los sensores hidrometeorológicos

Tal y como se puede observar en la tabla superior, el consumo de los sensores es mínimo. Todos los sensores tienen una tensión de trabajo de 12Vcc y la corriente eléctrica varía entre unos y otros. Los sensores de viento consumen entre 4 y 20 mA según los datos facilitados por el fabricante, por ello se ha tomado una corriente de 16mA como valor de compromiso para proceder con los cálculos de consumos. El tanque de evaporación tiene el mismo consumo que los sensores de viento (0,2 W). Los sensores de temperatura y presión tienen un consumo algo más elevado de valor de 1W aproximadamente. Esto se debe a que por ellos transcurre una corriente de valor 100 mA. El sensor de temperatura del aire aparece en la tabla con un consumo medio nulo, esto es debido a que inicialmente este sensor se encuentra desconectado para no redundar los datos del sensor combinado de temperatura y humedad del aire. Se conectará solo en caso necesario. Por otro lado, los sensores solares poseen consumos inferiores a 0,1W según el fabricante y por eso se ha optado por un consumo máximo de 0,1W. Los pluviómetros por su parte no consumen energía eléctrica para su funcionamiento. También cabe destacar el sensor radar de las estaciones de embalse que se alimenta por el bucle de corriente y se considera un consumo máximo de 20mAx12V, aunque se toma el valor de corriente de 16mA como valor compromiso, igual que en el caso anterior.

Por último, se puede señalar que los sensores que poseen mayor consumo eléctrico son los sensores de nivel, tanto el PS-light que se instala en los ríos como el PS de las estaciones de embalse. Estos sensores poseen un consumo máximo cuando miden su máxima profundidad (hasta 40 metros) que equivale a una corriente de 5A y una tensión de 12V, en caso de los ríos, y a una corriente de 7A el de embalse. No obstante, solo tienen un consumo tan elevado cuando funciona el transmisor. El sensor consume dicha cantidad de energía únicamente una vez cada hora y durante solo un minuto, que es lo

que dura la transmisión. Cuando no está transmitiendo, se considera un consumo de 0,5W, esto explica porque en la tabla hay tanta diferencia entre el consumo máximo y el consumo medio de los sensores mencionados.

En la siguiente tabla se resume el consumo de las unidades de adquisición de datos o data loggers, aparecen los dos tipos de data loggers seleccionados en función del tipo de datos que almacenan, y, por tanto, del tipo de estación, tal y como se detalló en el primer capítulo. El consumo medio hace referencia al consumo medio diario.

Tipo de estación	Data loggers	Consumo máximo [w]	Consumo medio [w]
Climatológicas e hidrométricas	Unilog MDS 111	0,9	1,68E-02
Pluviométricas y de Embalse	Unilog light MDS 55X	0,18	3,47E-03
TOTAL		1,08	0,02

Tabla 10. Tabla de consumo de los data loggers

La particularidad de estos equipos es que su consumo depende del estado del data logger. Cuando están en reposo el consumo es casi despreciable y cuando están activos el consumo aumenta, se detalla en la siguiente tabla.

	Consumo
Unilog MDS 111	
Reposo	150microA x 12V
Activo	75mA x 12V
Unilog light MDS 55X	
Reposo	40microA x 12V
Activo	15mA x 12V

Tabla 11. Consumo según estado de los data loggers

La transmisión tiene lugar una vez a la hora y tiene una duración de 1 minuto.



Figura 25. Ciclo de transmisión del data logger. Fuente: Elaboración propia.

De esta forma, el consumo medio por hora se ha obtenido aplicando la siguiente formula:

$$\text{Consumo medio [W]} = \frac{1}{60} * P_{\text{transmisión}} + \frac{59}{60} P_{\text{reposo}}$$

Por último, se presenta el consumo del transmisor de datos GOES, es el componente de la estación que consume mayor potencia. Al igual que en el caso de los data loggers, el consumo del transmisor varía en función de su estado, tal y como se observa en la siguiente tabla:

Tipo de estación	Transmisor	Consumo [w]
Todas las estaciones	Stevens SatComm GOES CS2/v2.0 Transmitter	
	Reposo	0,024
	GPS	4,20
	Transmisión a 300 BPS	28,80
	Transmisión a 1200 BPS	42

Tabla 12. Tabla de consumos del Transmisor GOES

Como se observa en la tabla anterior, el transmisor seleccionado puede transmitir a 300 y a 1.200 bits por segundo o baudio y el consumo de potencia es casi el doble. Aunque esta potencia sea el doble, el tiempo en que el transmisor se encuentra transmitiendo también será mayor si se transmite a menor velocidad, por consiguiente, el transmisor demandará más energía. Además, el consumo medio del transmisor puede variar en función de la frecuencia de transmisión. Es necesario encontrar un punto de equilibrio entre la frecuencia de transmisión, la velocidad de transmisión y el consumo eléctrico. Con el objetivo de encontrar un compromiso entre estas tres variables se han realizado una serie de escenarios que se recogen en la siguiente tabla:

		Frecuencia de transmisión			
		Cada hora	Cada 30 mins	Cada 15 mins	Cada 2 horas
Estado del transmisor	Reposo	0,023	0,023	0,022	0,024
	GPS	0,05	0,05	0,05	0,05
	Transmisión a 300 BPS	0,48	0,96	1,92	0,24
Potencia total [W]		0,55	1,03	1,99	0,31
Consumo diario [Wh]		13,26	24,77	47,79	7,50
Estado del transmisor	Reposo	0,023	0,023	0,022	0,024
	GPS	0,05	0,05	0,05	0,05
	Transmisión a 1200 BPS	0,70	1,40	2,80	0,35
Consumo total [W]		0,77	1,47	2,87	0,42
Consumo diario [Wh]		18,54	35,33	68,91	10,14

Tabla 13. Posibles escenarios de consumo del transmisor GOES según la frecuencia y la velocidad de transmisión.

Una vez efectuado el análisis de consumo del transmisor, se decide establecer un ciclo de transmisión tal y como el que aparece representado en la siguiente figura, con una velocidad de transmisión de 1200 dps. Es decir, la transmisión tiene lugar una vez a la hora y tiene una duración de 1 minuto. Además, se estima que la activación del GPS para la sincronización del reloj no ocupará más de 15 minutos al día (0,7 minutos a la hora aprox), y este puede activarse en cualquier momento del ciclo, siempre y cuando sea necesario la sincronización.



Figura 26. Ciclo de transmisión del transmisor GOES. Fuente: Elaboración propia.

Por consiguiente, el consumo medio por hora se ha obtenido aplicando la expresión siguiente y es de 0,77 Watios diarios.

$$\text{Consumo medio [W]} = \frac{1}{60} * P_{\text{transmisión}} + \frac{58,3}{60} P_{\text{reposo}} + \frac{0,7}{60} P_{\text{GPS}}$$

Una vez realizado el cálculo de los consumos de los equipos, se calcula el consumo diario por estación en Wh para determinar cuanta energía debe ser producida por los paneles solares para cubrir toda la demanda eléctrica del punto de control. Para hacer este cálculo se ha considerado un coeficiente de simultaneidad de 1, dado que todos los sensores funcionan durante las 24 horas del día y los equipos de adquisición y transmisión de datos también. Además, se multiplica el consumo total diario por un factor de seguridad de valor 1,33 para no quedarse cortos a la hora de calcular los paneles solares.

Las tablas presentadas a continuación recogen los datos del consumo total diario de cada equipo individual y de cada estación en su conjunto.

		Potencia máxima [w]	Potencia media [w]	Horas conectado al día [h]	Consumo diario [Wh/día]
Tipo de estación	Sensores				
Climatológica	Sensor de velocidad del viento	0,24	0,19	24	4,56
	Sensor de la dirección del viento	0,24	0,19	24	4,56
	Senor de viento por ultrasonido combinado	0,17	0,17	24	4,08
	Sensor de la temperatura y la humedad del aire (combinado)	1,20	1,20	24	28,8
	Sensor de temperatura del aire	1,20	0,00	24	0
	Sensor de la temperatura del suelo	1,20	1,20	24	28,8
	Sensor de la radiación solar	0,10	0,10	24	2,4
	Sensor de las horas de sol	0,10	0,10	24	2,4
	Sensor de la presión de aire	1,38	1,38	24	33,12
	Tanque de evaporación	0,24	0,19	24	4,61
	Pluviómetro _RG50	0,00	0,00	24	0
	Data loggers				
	Unilog MDS 111		1,77E-03	24	0,40
	Reposo	1,80E-03		23,6	0,042
	Transmisión	0,9		0,40	0,36
	Transmisor GOES				
	Stevens SatComm GOES CS2/v2.0 Transmitter		0,77	24	18,54
	Reposo	0,024		23,35	0,56
	GPS	4,2		0,25	1,05
	Transmisión a 1200 BPS	42		0,40	16,8
Total potencia instalada [W]		6,07	5,50		
Total consumo diario [Wh/día]				132,27	
Consumo previsto [Wh/día]		Factor de seguridad		1,33	175,91

Tabla 14. Consumo total diario estación de tipo climatológica

		Potencia máxima [w]	Potencia media [w]	Horas conectado al día [h]	Consumo diario [Wh/día]
Tipo de estación	Sensores				
Pluviométrica	Pluviómetro _RG100	0,00	0,00	24	0,00
	Data loggers				
	Unilog light MDS 55X		1,77E-03	24	0,08
	Reposo	4,80E-04		23,6	0,011
	Transmisión	0,18		0,40	0,072
	Transmisor GOES				
	Stevens SatComm GOES CS2/v2.0 Transmitter		0,77	24	18,54
	Reposo	0,024		23,35	0,56
	GPS	4,2		0,25	1,05
Transmisión a 1200 BPS		42		0,40	16,8
Total potencia instalada [W]		46,40	0,77		
Total consumo diario [Wh/día]				18,62	
Consumo previsto [Wh/día]		Factor de seguridad		1,33	24,76

Tabla 15. Consumo total diario estación de tipo pluviométrica

		Potencia máxima [w]	Potencia media [w]	Horas conectado al día [h]	Consumo diario [Wh/día]
Tipo de estación	Sensores				
Hidrométrica	PS-Light-2-Sensor (nivel del agua en rios)	60,00	1,49	24	35,80
	Data loggers				
	Unilog MDS 111		1,77E-03	24	0,40
	Reposo	1,80E-03		23,6	0,042
	Transmisión	0,9		0,40	0,36
	Transmisor GOES				
	Stevens SatComm GOES CS2/v2.0 Transmitter		0,77	24	18,54
	Reposo	0,024		23,35	0,56
	GPS	4,2		0,25	1,05
Transmisión a 1200 BPS		42		0,40	16,8
Total potencia instalada [W]		107,13	2,27		
Total consumo diario [Wh/día]				54,74	
Consumo previsto [Wh/día]		Factor de seguridad		1,33	72,80

Tabla 16. Consumo total diario estación de tipo hidrométrica

		Potencia máxima [w]	Potencia media [w]	Horas conectado al día [h]	Consumo diario [Wh/día]
Tipo de estación	Sensores				
De Embalse	Pluviómetro _RG50	0,00	0,00	24	0,00
	PS-Sensor (nivel del agua en embalses y presas)	84,00	1,89	24	45,40
	Sensor radar medida nivel de agua	0,24	0,19	24	4,61
	Data loggers				
	Unilog light MDS 55X		1,77E-03	24	0,08
	Reposo	4,80E-04		23,6	0,011
	Transmisión	0,18		0,40	0,072
	Transmisor GOES				
	Stevens SatComm GOES CS2/v2.0 Transmitter		0,77	24	18,54
	Reposo	0,024		23,35	0,56
GPS		4,2		0,25	1,05
Transmisión a 1200 BPS		42		0,40	16,8
Total potencia instalada [W]		130,64	2,86		
Total consumo diario [Wh/día]				68,63	
Consumo previsto [Wh/día]		Factor de seguridad		1,33	91,27

Tabla 17. Consumo total diario estación de tipo embalse

Cálculo de paneles solares:

En primer lugar, para dimensionar correctamente los paneles solares se escoge la tensión de trabajo. En estos casos la tensión de trabajo será de 12V dado que se trata de consumos muy pequeños, inferiores a 1500 Watios.

Posteriormente, se calcula la energía generada por una placa solar durante un día, considerando la radiación solar del peor mes del año en una ubicación geográfica determinada. La energía diaria generada por la placa se define con la siguiente expresión:

$$E_{panel} = I_{maxp} * V_{maxp} * HSP * \eta$$

donde,

E_{panel}	Energía diaria producida por un panel	[Wh/día]
I_{maxp}	Intensidad a máxima potencia	[A]
V_{maxp}	Tensión a máxima potencia	[V]
HSP	Horas Sol Pico	[kWh/m2]
η	Rendimiento	[%]

Se puede observar de la ecuación anterior que la energía diaria generada depende de la potencia a máxima potencia, las horas de sol pico y la eficacia de trabajo de los paneles.

El término del rendimiento de los paneles, suele tener un valor entre 85 y 90% y determina la cantidad de energía generada por el panel tras considerar las pérdidas correspondientes causadas por la suciedad y polvo de la placa. En este caso, se va a considerar el peor escenario asignando un rendimiento a nuestras placas del 80%.

En cuanto al término HSP, se puede definir como la cantidad de energía solar que recibe un metro cuadrado de superficie de panel con una irradiación solar constante de 1000 W/m2. Está directamente relacionado con la capacidad de energía que va a generar un panel solar al día. Está depende de diferentes factores: la situación geográfica, el día del año (siempre se calcula para un día del mes de menos sol según las estadísticas climatológicas), la inclinación de los paneles, que suele estar entre 35 y 45° si se trata de un panel de sujeción fija, y el valor de corrección atmosférico. Este último factor varía entre 1,05 si se encuentra en una zona de montaña, 0,95 si se trata de una zona de calima o con abundante niebla o valor 1 para el resto de los casos.

Otra manera de calcular las horas de sol pico es mediante interpretación gráfica, basándose en la curva de distribución horaria de la irradiación solar incidente sobre un punto concreto de la superficie terrestre a lo largo del día [24]. A partir de esta curva, se puede calcular la hora de sol pico como el área que delimita la curva de dicha distribución.

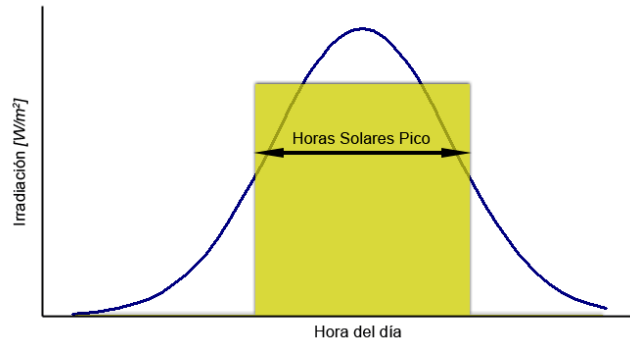


Figura 27. Interpretación gráfica de las horas de sol pico. Fuente: Wikipedia

En este caso, ha resultado más fácil encontrar las curvas de distribución horaria de irradiación solar para cada punto de control y, por tanto, se ha optado por la interpretación gráfica para calcular el valor de HSP para cada localización geográfica. Todos los datos de irradiación y las curvas de distribución que se van a mostrar a continuación se han obtenido a través de la herramienta PVGIS de la base de datos de la comisión europea.

Una vez conocida la energía generada diaria por un panel, se calcula el número de paneles solares necesarios para cada estación siguiendo la siguiente expresión:

$$N^{\circ} \text{ de paneles solares} = \frac{\text{Energía diaria total demanda por la estación}}{\text{Energía diaria generada por un panel}}$$

A continuación, se procede al dimensionamiento de los paneles solares de cuatro estaciones hidrometeorológicas, una de cada tipología, instaladas en los estados de Amazonas, Apure, Anzoátegui y Aragua. El resto de puntos de control ubicados en los estados de Amazonas, Anzoátegui, Apure, Aragua, Barinas y Bolívar se dimensionan siguiendo la misma metodología de cálculo. Los resultados se adjuntan en modo de tabla resumen en el anexo 2 del proyecto.

1. Estación climatológica del Amazonas:

- Coordinadas geográficas: [3,11, -65,79]



Figura 28. Situación geográfica estación climatológica del Amazonas [3.11, -65,79]. Fuente: European Comission, Photovoltaic Geographical Information System PVGIS Interactive Tool [25].

Primero se ha localizado cual es el mes de menos radiación solar en esa ubicación, observando la curva de irradiación mensual de tres años consecutivos, tal y como se muestra en la siguiente figura:

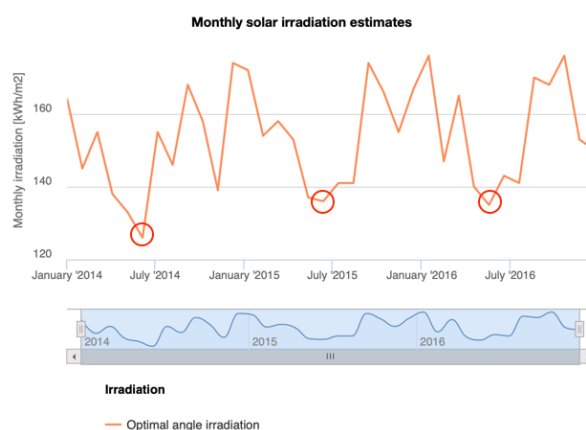


Figura 29. Curva de irradiación solar mensual de la estación climatológica del Amazonas [3.11, -65,79]. Fuente: European Comission, Photovoltaic Geographical Information System PVGIS Interactive Tool.

Se puede observar en la figura precedente que junio es el mes de menor horas de sol al día, por ellos se ha tomado la curva de distribución horaria de la estación climatológica para el mes de junio y se ha calculado la HSP.

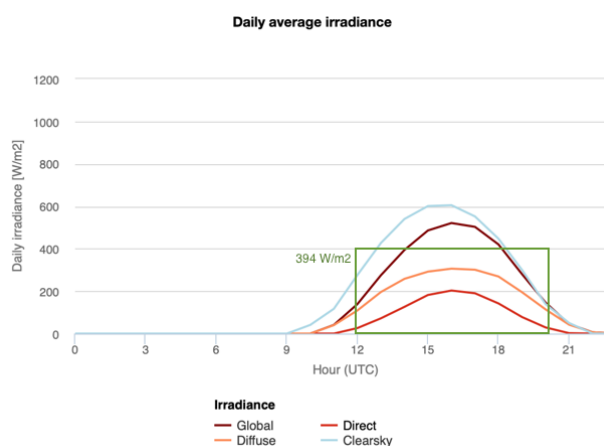


Figura 30. Curva de la distribución diaria de irradiación solar en el mes de junio de la estación climatológica del Amazonas [3.11, -65,79]. Fuente: European Comission, Photovoltaic Geographical Information System PVGIS Interactive Tool.

Por consecuencia, las horas de sol pico se han calculado de la siguiente manera:

$$HSP = (20 - 12)h * 394 \frac{W}{m^2} = 3.152 \frac{Wh}{m^2} = \frac{3,15 \frac{kWh}{m^2}}{día}$$

De esta manera, la energía generada por el panel solar en ese punto es de 84,82 Wh/día, según se muestra en la siguiente tabla resumen:

Cálculo del panel solar 30W	
Intensidad a máxima potencia [A]	1,7
Tensión a máxima potencia [V]	17,6
HSP [kWh/m2]	3,15
Rendimiento [%]	0,9
Energía diaria producida por el panel [Wh/día]	84,82
Nº de paneles solares	2,07

Tabla 18. Dimensionamiento panel solar estación climatológica del Amazonas coordenadas [3.11, -65,79].

En total serían necesarios **2 paneles solares de una potencia de 30 W y una tensión de trabajo de 12 V** para cubrir la demanda eléctrica de dicha estación climatológica. Las características de los paneles seleccionados se encuentran en el Pliego de Condiciones del proyecto. Los dos paneles se colocarán en paralelo manteniendo la tensión de 12V y sumando sus intensidades.

Además, se ha comprobado que las temperaturas en esa localización geográfica se encuentran dentro del rango de operatividad de los paneles seleccionados, es decir, entre -40°C y +85°, por tanto, el correcto funcionamiento de los paneles queda asegurado.

2. Estación pluviométrica de Apure:

Coordenadas geográficas: [7.12, -70.77].



Figura 31. Situación geográfica estación pluviométrica de Apure [7.12, -70,77]. Fuente: European Comission, Photovoltaic Geographical Information System PVGIS Interactive Tool

También se verifica que el mes de menor irradiación solar en ese punto es el mes de junio, tal y como se observa en el histórico de entre los años 2013 y 2015 mostrado en el siguiente gráfico.

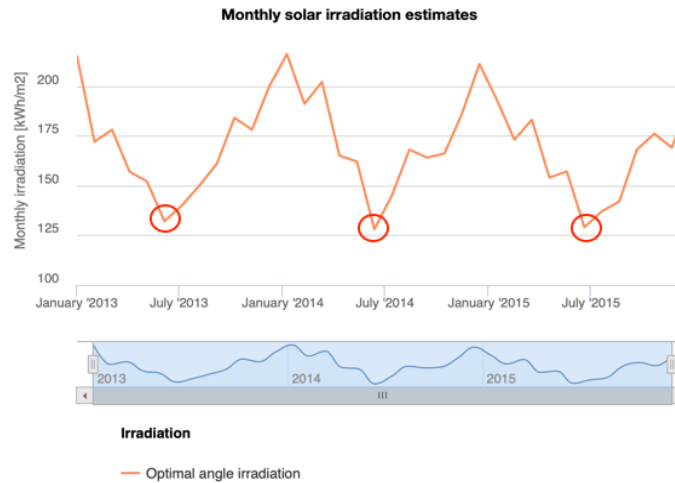


Figura 32. Curva de irradiación solar mensual de la estación pluviométrica de Apure [7.12, -70,77]. Fuente: European Comission, Photovoltaic Geographical Information System PVGIS Interactive Tool

A continuación, se muestra la curva de distribución diaria de la irradiación solar en dicho punto y se calcula la HSP, con la expresión mencionada anteriormente:

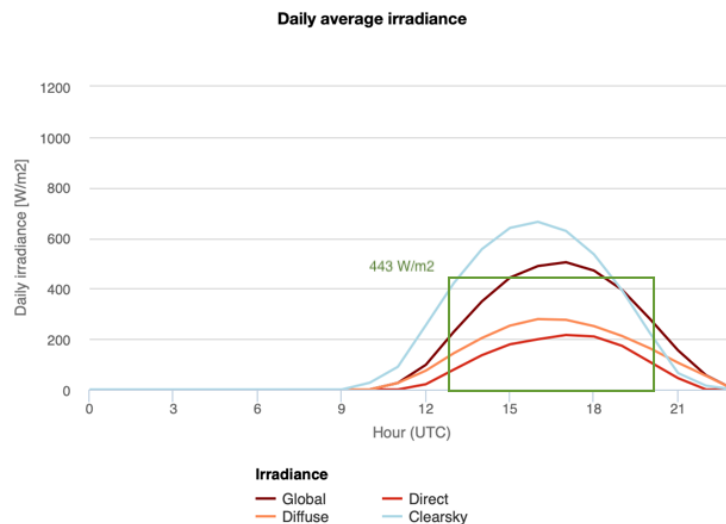


Figura 33. Curva de la distribución diaria de irradiación solar en el mes de junio de la estación pluviométrica de Apure [7.12, -70,77]. Fuente: European Comission, Photovoltaic Geographical Information System PVGIS Interactive Tool

$$HSP = (20 - 13)h * 443 \frac{W}{m^2} = 3.101 \frac{Wh}{m^2} = \frac{3,10 \frac{kWh}{m^2}}{día}$$

De esta manera, la energía generada por el panel solar en ese punto es de 83,48 Wh/día, según se muestra en la siguiente tabla resumen:

Cálculo del panel solar 30W	
Intensidad a máxima potencia [A]	1,7
Tensión a máxima potencia [V]	17,6
HSP [kWh/m2]	3,1
Rendimiento [%]	0,9
Energía diaria producida por el panel [Wh/día]	83,48
Nº de paneles solares	0,30

Tabla 19. Dimensionamiento panel solar estación pluviométrica de Apure [7.12, -70,77].

En total es necesarios **1 panel solare de potencia de 30 W y tensión de trabajo de 12 V** para cubrir la demanda eléctrica de dicha estación pluviométrica. Las características de los paneles seleccionados se encuentran en el Pliego de Condiciones del proyecto.

Además, se ha comprobado que las temperaturas en esa localización geográfica se encuentran dentro del rango de operatividad de los paneles seleccionados, es decir, entre -40°C y +85°, por tanto, el correcto funcionamiento de los paneles queda asegurado.

3. Estación hidrométrica de Anzoátegui:

Coordenadas geográficas: [7.70, -64,73]



Figura 34. Situación geográfica estación hidrométrica de Anzoátegui [7.70, -64.73]. Fuente: European Comission, Photovoltaic Geographical Information System PVGIS Interactive Tool

Al igual que en el resto de estaciones, se comprueba cual es el mes de menor radiación solar. En este caso, no hay un patrón claro de qué mes tiene menor radiación solar, tal y como se refleja en la curva posterior. No obstante, en el año 2015 se refleja que el peor mes es junio, y como es el mes que se ha considerado

para el resto de casos, se vuelve a seleccionar este mes para calcular las horas de sol pico de la estación de Anzoátegui.

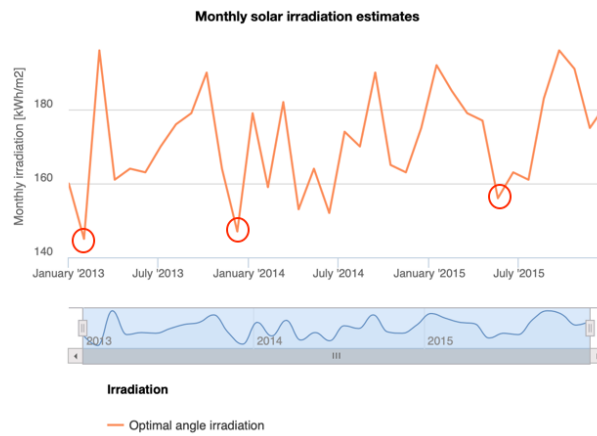


Figura 35. Curva de irradiación solar mensual de estación hidrométrica de Anzoátegui [7.70, -64.73]. Fuente: European Comission, Photovoltaic Geographical Information System PVGIS Interactive Tool

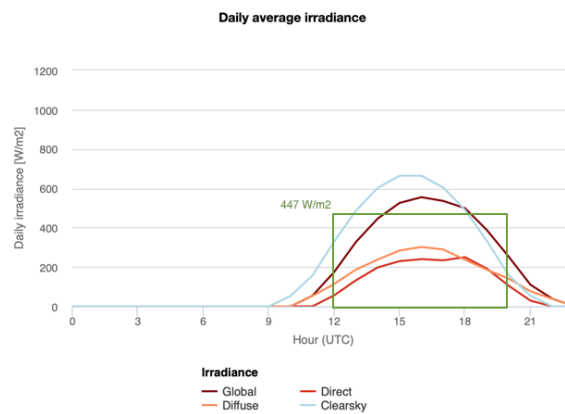


Figura 36. Curva de la distribución diaria de irradiación solar en el mes de junio de la estación hidrométrica de Anzoátegui [7.70, -64.73]. Fuente: European Comission, Photovoltaic Geographical Information System PVGIS Interactive Tool

A partir de esta curva se ha calculado la HSP, la energía generada por los paneles solares en esa ubicación y el número de paneles solares necesarios para abastecer a la estación hidrométrica.

$$HSP = (20 - 12)h * 447 \frac{W}{m^2} = 3.576 \frac{Wh}{m^2} = \frac{3,60 \frac{kWh}{m^2}}{día}$$

Cálculo del panel solar 30W	
Intensidad a máxima potencia [A]	1,7
Tensión a máxima potencia [V]	17,6
HSP [kWh/m2]	3,6
Rendimiento [%]	0,9
Energía diaria producida por el panel [Wh/día]	96,94
Nº de paneles solares	0,75

Tabla 20. Dimensionamiento panel solar de la estación hidrométrica de Anzoátegui de coordenadas [7.70, -64.73].

En total es necesarios **1 panel solar de potencia 30 W y tensión de trabajo de 12 V** para cubrir la demanda eléctrica de dicha estación hidrométrica. Las características de los paneles seleccionados se encuentran en el Pliego de Condiciones del proyecto.

Además, se ha comprobado que las temperaturas en esa localización geográfica se encuentran dentro del rango de operatividad de los paneles seleccionados, es decir, entre -40°C y $+85^{\circ}$, por tanto, el correcto funcionamiento de los paneles queda asegurado.

4. Estación de tipo embalse de Aragua:

Coordenadas geográficas: [9.79, -66.97]



Figura 37. Situación geográfica estación de Embalse de Aragua de coordenadas [9.79, -66.97]

Fuente: European Commission, Photovoltaic Geographical Information System PVGIS Interactive Tool

Al igual que en el caso de la estación hidrométrica anterior, no hay un patrón concreto de un mes con menor irradiación solar. Se ha ampliado el espectro y se han examinado las irradiaciones mensuales desde el año 2009 hasta el 2015, sin encontrarse tampoco un mes que se repita. Los meses que más se repiten con

menos horas de sol al año son noviembre y junio, tal y como se puede comprobar con la tabla y la curva siguientes:

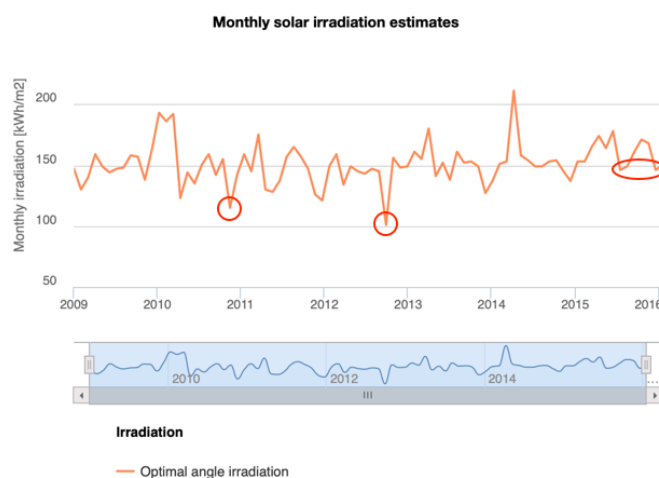


Figura 38. Curva de irradiación solar mensual de estación de Embalse de Aragua de coordenadas [9.79, -66.97]. Fuente: European Comission, Photovoltaic Geographical Information System PVGIS Interactive Tool

Global irradiation optimum angle

Month	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
January	147	193	159	149	161	151	153
February	130	186	145	159	155	153	165
March	140	192	175	134	180	211	174
April	159	123	130	149	141	158	164
May	149	144	128	145	152	154	178
June	144	135	137	143	138	149	146
July	147	150	157	147	161	149	149
August	148	159	165	145	152	153	161
September	158	142	157	101	153	154	171
October	157	155	147	156	149	145	168
November	138	115	126	148	127	137	146
December	163	142	121	149	137	153	150

Tabla 21. Datos de irradiación solar mensual de estación de Embalse de Aragua de coordenadas [9.79, -66.97]Fuente: European Comission, Photovoltaic Geographical Information System PVGIS Interactive Tool

Como la diferencia entre los meses de noviembre y junio es muy pequeña, se va a considerar de nuevo el mes de junio como mes con menor irradiación solar, con el objetivo de obtener resultados más homogéneos con respecto al resto de estaciones.

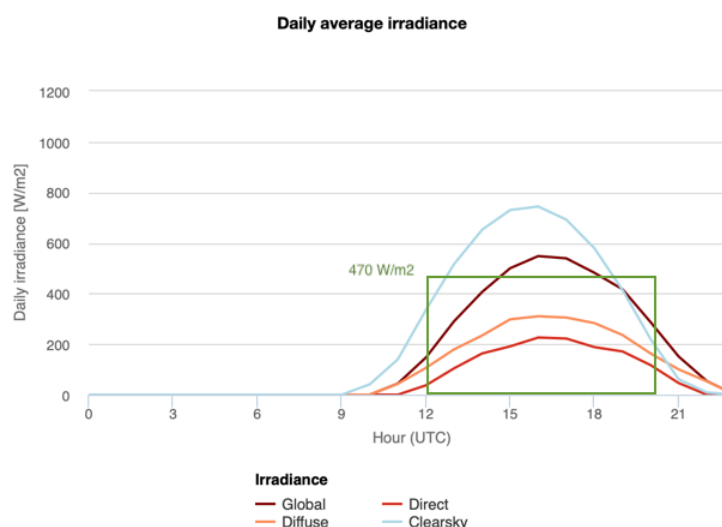


Figura 39. Curva de la distribución diaria de irradiación solar en el mes de junio de la estación de Embalse de Aragua de coordenadas [9.79, -66.97]. Fuente: European Comission, Photovoltaic Geographical Information System, PVGIS Interactive Tool

A partir de la curva de distribución diaria se calcula la HSP con la misma fórmula empleada anteriormente, la producción de energía por parte de los paneles solares y el número de paneles necesarios, obteniéndose unos resultados muy similares al resto de estaciones.

$$HSP = (20 - 12)h * 470 \frac{W}{m^2} = 3.760 \frac{Wh}{m^2} = \frac{3,80 \frac{kWh}{m^2}}{día}$$

Cálculo del panel solar 30W	
Intensidad a máxima potencia [A]	1,7
Tensión a máxima potencia [V]	17,6
HSP [kWh/m²]	3,8
Rendimiento [%]	0,9
Energía diaria producida por el panel [Wh/día]	102,33
Nº de paneles solares	0,89

Tabla 22. Dimensionamiento panel solar de la de Embalse de Aragua de coordenadas [9.79, -66.97].

En total es necesarios **1 panel solar con una potencia de 30 W y una tensión de trabajo de 12 V** para cubrir la demanda eléctrica de dicha estación de tipo Embalse. Las características de los paneles seleccionados se encuentran en el Pliego de Condiciones del proyecto.

Además, se ha comprobado que las temperaturas en esa localización geográfica se encuentran dentro del rango de operatividad de los paneles seleccionados, es decir, entre -40°C y +85°, por tanto, el correcto funcionamiento de los paneles queda asegurado.

Como todos los cálculos se realizan considerando el mes con menor radiación al año, siempre va a haber un excedente de producción de energía. Este excedente se almacena principalmente en las baterías del sistema. No obstante, se plantea la alternativa de vender este excedente de energía eléctrica a la red, convirtiendo así a las estaciones hidrometeorológicas en prosumidoras. De esta manera, los puntos de control consumirían energía, pero también la producirían. Esto es uno de los principios de la existencia de las llamadas microrredes en la actualidad.

Cálculo de baterías:

Para el cálculo de baterías se atenderán a los siguientes criterios:

- La autonomía de las baterías sin ningún aporte energético será de 120 horas.
- La tensión de trabajo es de 12 V.
- La capacidad de las baterías a plena carga será del 100% del valor nominal.
- Se sobredimensionarán las baterías en un 15% para tener en cuenta la profundidad de descarga y un coeficiente de seguridad.
- La máxima descarga permitida de las baterías será del 80% con la finalidad de no producir alteraciones permanentes en las mismas.

El cálculo de la capacidad de las baterías se desarrolla a partir de la siguiente fórmula:

$$CB [Ah] = \frac{\text{Consumo diario} \left[\frac{Wh}{\text{día}} \right] * \text{Autonomía} [\text{días}]}{\text{Profundidad de descarga} [\%] * V_n} * 1,15$$

siendo,

CB	Capacidad de la batería	[Ah]
V _n	Tensión de trabajo	[V]

A continuación, se presenta el dimensionamiento de las baterías correspondientes a las cuatro estaciones estudiadas anteriormente.

1. Estación climatológica del Amazonas con coordenadas [3.11, -65.78]:

Cálculo de la batería	
Autonomía [días]	5
Demanda energética [Wh/día]	175,91
Descarga máxima[%]	0,80
Eficiencia baterías [%]	0,85
Tensión de trabajo [V]	12
Potencia total baterías [Wh]	1.293,49
Capacidad total [Ah]	107,79

Tabla 23. Dimensionamiento de la batería de la estación climatológica del Amazonas

Por tanto, se requiere una batería con una capacidad de aproximadamente 110Ah con tensión de trabajo de 12V.

2. Estación pluviométrica de Apure de coordenadas [7.12, -70.77]:

Cálculo de la batería	
Autonomía [días]	5
Demanda energética [Wh/día]	24,76
Descarga máxima[%]	0,80
Eficiencia baterías [%]	0,85
Tensión de trabajo [V]	12
Potencia total baterías [Wh]	182,08
Capacidad total [Ah]	15,17

Tabla 24. Dimensionamiento de la batería de la estación pluviométrica de Apure

Por tanto, se requiere una batería con una capacidad de aproximadamente 20Ah con tensión de trabajo de 12V.

3. Estación hidrométrica de Anzoátegui de coordenadas [7.70, -64.73]:

Cálculo de la batería	
Autonomía [días]	5
Demanda energética [Wh/día]	72,80
Descarga máxima[%]	0,80
Eficiencia baterías [%]	0,85
Tensión de trabajo [V]	12
Potencia total baterías [Wh]	535,31
Capacidad total [Ah]	44,61

Tabla 25. Dimensionamiento de la batería de la estación hidrométrica de Anzoátegui

Por tanto, se requiere una batería con una capacidad de aproximadamente 45Ah con una tensión de trabajo de 12V

4. Estación de embalse de Aragua de coordenadas [9.79, -66.97]:

Cálculo de la batería	
Autonomía [días]	5
Demanda energética [Wh/día]	91,27
Descarga máxima[%]	0,80
Eficiencia baterías [%]	0,85
Tensión de trabajo [V]	12
Potencia total baterías [Wh]	671,13
Capacidad total [Ah]	55,93

Tabla 26. Dimensionamiento de la batería de la estación de embalse de Aragua

Por tanto, se requiere una batería con una capacidad de aproximadamente 60Ah con una tensión de trabajo de 12V.

Las baterías seleccionadas para cada una de las estaciones y sus especificaciones técnicas se encuentran detalladas en el pliego de condiciones del proyecto. Se ha decidido escoger una batería diferente para cada tipología de estación según la capacidad en Amperios-hora necesaria para cada caso. Esto se debe a que el ciclo de vida de una batería es muy corto, entre tres y cinco años, y no interesa

sobredimensionarlas para ahorrar lo máximo posible en costes cuando sea necesario reponer alguno de los equipos.

Cálculo de los reguladores de carga:

El cálculo del regulador debe ser suficiente para soportar la intensidad generada por el panel solar. El IDAE recomienda que los reguladores sean capaces de aguantar un 25% más de la intensidad de cortocircuito de los paneles.

En caso de que existiesen varios paneles solares en un mismo punto, la corriente de cortocircuito se calcula multiplicando la corriente de cortocircuito de un panel por el número de paneles instalados.

Por tanto, la intensidad de carga del regulador se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$I_{cargadelregulador} = 1,25 * I_{cc_{total}} [A]$$

donde

$$I_{cc_{total}} = N * I_{cc_{panel}} [A]$$

siendo:

$I_{cargadelregulador}$	Intensidad del regulador	[A]
$I_{cc_{panel}}$	Intensidad de cortocircuito del panel solar	[A]
N	Número de paneles solares	[-]

A continuación, se muestra el dimensionamiento de los reguladores de carga de las cuatro estaciones hidrometeorológicas anteriores. En el caso del regulador, nada más es necesario calcular un tipo de regulador para la estación climatológica, donde es necesario instalar dos paneles solares en paralelo y por tanto la intensidad de carga del regulador será mayor, y otro para el resto de estaciones.

1. Estación climatológica del Amazonas con coordenadas [3.11, -65.78]:

Cálculo del regulador	
Intensidad de cc de los paneles [A]	1,84
Nº de paneles	2
Factor de corrección	1,25
Intensidad de carga del regulador[A]	4,60

Tabla 27. Dimensionamiento del regulador de carga para las estaciones climatológicas

Se necesita un regulador de 12V con una intensidad de carga superior a 5A y MPPT.

2. Estación pluviométrica de Apure de coordenadas [7.12, -70.77], estación hidrométrica de Anzoátegui de coordenadas [7.70, -64.73] y Estación de embalse de Aragua de coordenadas [9.79, -66.97]:

Cálculo del regulador	
Intensidad de cc de los paneles [A]	1,84
Nº de paneles	1
Factor de corrección	1,25
Intensidad de carga del regulador[A]	2,30

Tabla 28.Dimensionamiento del regulador de carga para las estaciones pluviométricas, hidrométricas y de embalse.

Se necesita un regulador de 12V con una intensidad de carga superior a 3A y MPPT

Las baterías y los reguladores de carga seleccionados se encuentran en el pliego de condiciones del proyecto, en el cual se detallan todas las especificaciones técnicas de los equipos y las dimensiones de los mismos.

En el caso de los reguladores, finalmente se ha elegido un regulador único de 12V e intensidad de carga de 15A para todas las estaciones hidrometeorológicas. Además, el regulador seleccionado no cuenta con la tecnología MPPT, tal y como se había estimado en un principio.

Puntos críticos

Cabe resaltar la existencia de puntos críticos en la red hidrometeorológica. Se trata de puntos de control cuya información es indispensable y, por tanto, se debe garantizar que la información que se recibe desde esas estaciones es veraz y fiable. Para conseguir esto, es necesario garantizar una continuidad de suministro asegurando así la seguridad de los poblados localizados cerca de dichos puntos de control. En este sistema, estos puntos críticos suelen ser los sensores de nivel de agua colocados en presas y embalses y requieren mayor nivel de protección.

Se proponen tres alternativas para solventar la problemática de los puntos críticos:

- *Redundar el suministro de energía en el punto de control:*

Todos los componentes (sensores, data loggers y transmisores) de las estaciones hidrometeorológicas o puntos de control, necesitan de suministro eléctrico para su funcionamiento, tal y como se ha especificado anteriormente. Por ello, si alguna de las partes no recibe la energía necesaria para cubrir su demanda energética, esta dejará de funcionar. Por esta razón, resulta evidente redundar el suministro de los puntos críticos para reducir la probabilidad de fallo del sistema de alimentación.

Dentro de las posibles soluciones, la opción más razonable parece conectar los puntos de control al panel solar y a la red convencional, asegurando la continuidad de suministro en caso de fallo del conjunto de: panel y batería. De esta forma la configuración sería, por un lado, conectar la estación a un panel solar + regulador eléctrico + batería, y, por otro lado, redundar el suministro mediante la conexión de la estación a la red con un rectificador eléctrico y una batería. Otra opción es instalar una batería común de mayor capacidad en Amperios-hora (Ah) como tercera fuente para la transmisión de datos.

También se puede garantizar la continuidad de suministro instalando una segunda fuente renovable que sirva de alternativa en caso de que falle el panel solar. Esta solución es óptima para este sistema, dado que, la mayoría de los puntos de control se encuentran aislados y lejos de la zona donde llega la red eléctrica convencional. Y la poca corriente eléctrica que llega a las estaciones hidrometeorológicas es muy inestable y de poca intensidad. Sería necesario añadir un rectificador para mejorar la calidad de la señal, y, aun así, no sería una apuesta segura y fiable. En cambio, con otra fuente de autoconsumo sí que se garantiza la continuidad y la seguridad del suministro eléctrico. Esta fuente alternativa podría ser un aerogenerador pequeño que se instalaría en la superficie junto a los sensores y el resto de equipos que conforman la estación, o incluso una turbina que se instalaría en los ríos y aprovecharía la energía cinética que lleva el propio río para dar suministro a los sensores de dicho punto de control. No obstante, el uso de la turbina está más limitado dado que solo sería útil en las estaciones hidrométricas que se colocan cerca de ríos. Para el resto de estaciones con distintas tipologías resulta más eficiente la alternativa de emplear aerogeneradores.

Cálculo y dimensionamiento de los aerogeneradores:

En este apartado se ha estudiado la opción de tener una instalación eléctrica mixta con paneles solares y aerogeneradores para el suministro de energía de los puntos críticos de la red hidrometeorológica.

Para ello, se ha seleccionado un aerogenerador de pequeña potencia con un sistema de monitorización electrónica que se emplea en este tipo de instalaciones. Normalmente, este tipo de generadores se usan para instalaciones de autoconsumo, para conexiones a la red o para instalaciones de alimentación mixtas, como es este caso.

El aerogenerador seleccionado es del fabricante español Bornay y tiene una potencia nominal de 1500 Watios. Es uno de los aerogeneradores más pequeños del mercado eólico actual.

Para el cálculo de la energía producida diariamente por el aerogenerador seleccionado, se ha calculado primeramente la energía producida anualmente, gracias a la gráfica de la AEP (Annual Energy Production) facilitada por el fabricante y que se muestra en la siguiente figura.

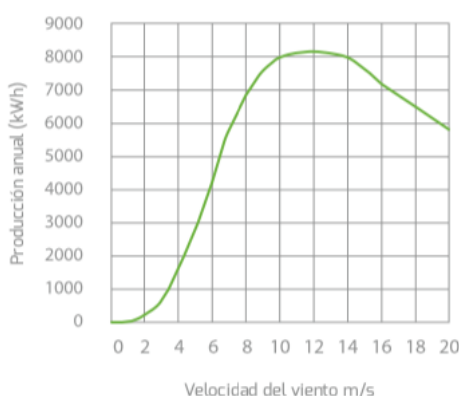


Figura 40. Curva de la energía producida por el aerogenerador. Fuente: Bornay, Catálogo Wind Plus

A partir de la curva anterior y de la velocidad media del viento en la región de Venezuela, se obtiene la energía producida diariamente por el aerogenerador en dicha región determinada. Se han efectuado los cálculos para una estación hidrometeorológica de tipología de Embalse dado que es en este tipo de estaciones donde se encuentran más puntos críticos.

El punto de control escogido se encuentra en el estado de Aragua, con coordenadas [10.45, -67.77] y se ha estimado una velocidad media del viento de 3,5 m/s. Por esta razón la energía diaria producida por el aerogenerador es de 2.780,82 Wh. Con esta energía se cubriría satisfactoriamente la demanda de energía diaria de esta estación de embalse, que equivale a 60,24 W, con la instalación de un único aerogenerador. En la siguiente tabla se resumen los cálculos explicados en este párrafo:

Cálculo de aerogenerador Wind 13+	
Velocidad de viento [m/s]	3,5
AEP (Annual Energy Production) [kWh]	1015
Consumo diario previsto estación de embalse [Wh/día]	91,27
Energía diaria producida por aerogenerador [Wh/día]	2.780,82
Nº aerogeneradores	0,033

Tabla 29. Cálculo aerogenerador Wind 13+ para estación de embalse

Tal y como se demuestra de manera numérica, la instalación de un aerogenerador podría suministrar toda la energía necesaria para la estación en caso de fallo del panel solar o de las baterías. La energía producida por el mismo es cuarenta veces mayor a la energía demandada por la estación, sin embargo, las prestaciones del aerogenerador Wind 13+ son las adecuadas para este tipo de instalación y no se ha encontrado en el mercado eólico un aerogenerador de menor potencia que tengas las mismas características. Las especificaciones técnicas del aerogenerador, así como las dimensiones del mismo, se encuentran adjuntas en el pliego de condiciones del proyecto.

- *Redundar las comunicaciones:*

La información proveniente de un punto crítico puede no llegar al centro de control (INAMEH) debido a un fallo en las comunicaciones. Este problema se puede solucionar de varias maneras. Por un lado, se puede reforzar la comunicación entre los sensores y el data logger o el data logger y el transmisor, y por otro lado, se puede redundar la comunicación con el satélite GOES.

Para redundar la comunicación se pueden emplear la tecnología GPRS y el sistema radio. La comunicación con GPRS es una solución muy barata y fácil, no obstante, sería necesario comprobar que hay cobertura GPRS en la zona donde se quiere instalar. La transmisión GPRS divide la información en pequeños bloques, que posteriormente se reagrupan cuando llegan al receptor. Esto permite tener mayor capacidad y mayor velocidad de transmisión.

- *Redundar la parte del sistema responsable de la captación de datos del medio:*

Por último, el fallo de un punto crítico puede venir por la falta de información captada del medio. Esta situación puede ser debido a que los sensores no funcionan correctamente o no son capaces de transmitir la información a los data loggers para que estos equipos almacenen los datos.

En estos casos, la solución que se plantea es duplicar los sensores y los data loggers. De esta forma se cotejan los datos que provienen de ambos puntos de control y se evita la transmisión de datos erróneos o confusos que pueden desencadenar en consecuencias drásticas. Además, se hace frente a los problemas de vandalismo, si roban uno de los equipos quedará el otro con la misma función y, por tanto, no se perderá información.

A simple vista, puede parecer una solución costosa y que implique duplicar la demanda energética de las estaciones hidrometeorológicas, sin embargo, el consumo de los sensores es muy pequeño y, por tanto, el consumo global de la estación es prácticamente el mismo. No sería necesario añadir más paneles solares

para el abastecimiento eléctrico. El coste sí que se vería algo más afectado, pero igualmente de manera mínima.

Esta solución ya se está poniendo en práctica en Alemania. Esta muy concienciados con la veracidad de los datos extraídos del medio y quieren evitar otra catástrofe natural como la que tuvo lugar tras la inundación del Elba.

Protecciones

En esta sección se describen las protecciones de la instalación eléctrica. Se ha prestado especial atención a la protección de la instalación contra todo tipo de sobretensiones, especialmente las provenientes de descargas atmosféricas directas o por la línea eléctrica. Por esta razón, se ha realizado un estudio específico de las características de estas sobretensiones y de los dispositivos de protección.

En una instalación de estas características, las protecciones se instalan principalmente para hacer frente a las **sobretensiones**. Las sobretensiones son causadas generalmente por la red eléctrica y los rayos. En este caso, la red eléctrica no llega a nuestros sensores, todo se alimenta con paneles solares, tal y como se ha detallado anteriormente.

Según el Instituto Sudafricano de Ingenieros Eléctricos, más del 32% de los daños de las placas solares son causados por la caída de rayos [26]. En el caso de instalaciones fotovoltaicas de capacidades más elevadas de más de 100MW también se conectan a la red eléctrica, por tanto, el impacto de un rayo afectaría no solo a la instalación sino también a la red. En este caso, estamos exentos de esta problemática porque se trata de instalaciones aisladas de poca potencia.

Esto significa que la principal causa de sobretensión a la que nos enfrentamos es la descarga de rayos. Independientemente de la causa de la sobretensión, ya sea impacto directo o el efecto inductivo del rayo, estas provocan defectos en los equipos o incluso fallos inesperados en la instalación. De esta manera, la protección contra sobretensiones evita estos efectos de manera efectiva.

Existe una amplia variedad de medidas y dispositivos de protección para hacer frente a descargas de rayos y sobretensiones. Se pueden clasificar de la siguiente manera [27]:

- *Protección contra rayos exterior:*
Este tipo de protección tiene como función captar los rayos cercanos al objeto que se quiere proteger y derivar de manera inmediata la corriente de rayo una vez choque a tierra.
- *Protección contra rayos interior:*
Esta tipología tiene como objetivo evitar la aparición de electricidad peligrosa dentro de la propia instalación.
- *Puesta a tierra y conexión equipotencial:*
La finalidad de la puesta a tierra es distribuir y derivar la corriente de rayo a tierra.
- *Sistema coordinado de dispositivos de protección contra sobretensiones:*
Este tipo de sistema de protección cuenta con la cooperación de varios niveles de dispositivos de protección contra sobretensiones para hacer frente a la sobretensión, se adaptan entre sí para conseguir derivar toda la energía causada por el rayo.

Conexión equipotencial:

En primer lugar, es imprescindible poner todas las estaciones en **una barra equipotencial**. De esta forma, cuando caiga un rayo en la estación y la tensión se eleve por encima de los valores permitidos, los equipos no se vean afectados ya que toda la estación se encontrará al mismo potencial y por tanto no se verá afectada. Es

imprescindible proteger, no solo el sistema de alimentación sino también los sensores y los equipos de adquisición y transmisión de datos.

En cuanto a la puesta a tierra, las instalaciones fotovoltaicas al contar con corriente continua, se deben conectar a tierra por un único punto, es decir, solo puede tener una tierra. En caso contrario, se podrían dañar los componentes más sensibles de la instalación como los reguladores de carga, los inversores, etc.

Descargadores de sobretensiones:

Los descargadores son dispositivos cuya finalidad es derivar a tierra las descargas producidas por sobretensiones de origen atmosférico, con el objetivo de proteger las instalaciones, los equipos, las líneas, etc.

Todo el cableado que sale de la instalación lleva una protección contra sobretensiones para conectar el cable a tierra. Es importante saber la cantidad de energía que deriva cada cable para la elección de los descargadores. El principio de funcionamiento de los descargadores de sobretensiones se presenta a continuación:

Los dispositivos que derivan mayor energía tardan más tiempo en activarse que los que derivan menor energía. Por ello se suelen colocar varios **descargadores en serie**, de esta forma, el descargador de mayor capacidad (D1) tarda t_1 en activarse y deriva toda la cantidad de energía que hay a partir de ese tiempo, dejando pasar únicamente el primer pico de energía. Tal y como se puede observar en el croquis posterior. Este pico de energía lo deriva el primer descargador (D2) que tiene menor capacidad de derivar energía, pero actúa mucho más rápido. Por tanto, gracias a la coordinación de los dos dispositivos se consigue minimizar la energía creada por el rayo.

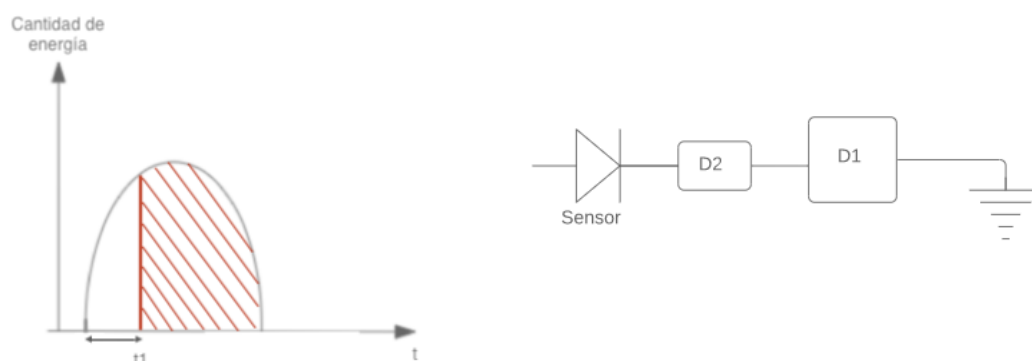


Tabla 30. Croquis de funcionamiento de los descargadores de sobretensión. Fuente:
Elaboración propia.

En la guía técnica del reglamento de baja tensión (BT-23) que hace referencia a la protección contra sobretensiones, se señala que según lo establecido en la norma UNE-EN 61643-11, se distinguen tres tipos de protectores de sobretensión transitoria: Tipo 1, Tipo 2 y Tipo 3 [28]. Estos descargadores se definen según los parámetros recogidos en la siguiente tabla:

	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
Capacidad de absorción de energía	Muy alta - Alta	Media - Alta	Baja
Rapidez de respuesta	Baja - Media	Media - Alta	Muy alta
Origen de la sobretensión	Impacto directo de rayo	Sobretensiones de origen atmosférico y conmutaciones, conducidas o inducidas	

Tabla 31. Parámetros más significativos de los protectores de sobretensión transitoria Tipo 1, Tipo 2 y Tipo 3. Fuente: Guía BT-23 [28]

La finalidad de estos protectores es reducir la sobretensión transitoria de origen atmosférico, a valores inferiores a la soportada por el equipo protegido. Para alcanzar este objetivo, se suelen emplear más de un dispositivo de protección a la vez. En el siguiente esquema se muestra un ejemplo de instalación en el que se incluyen los tres tipos de protectores. Es muy importante garantizar la adecuada coordinación entre los mismos.

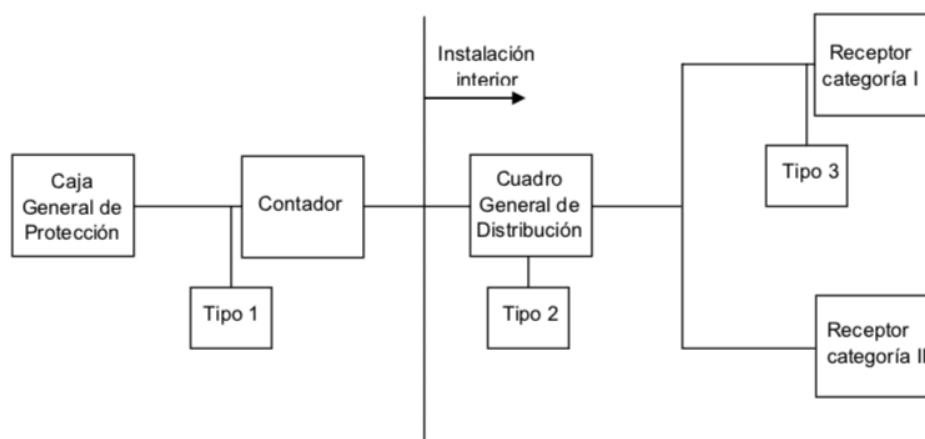


Figura 41. Esquema de una instalación que incluye los tres tipos de protecciones contra sobretensiones transitorias. Fuente: Guía BT-23 [28].

Estos dispositivos pueden ser descargadores de gas, varistores de óxido de zinc, diodos supresores, descargadores de arco o combinación de los anteriores.

Tipos de descargadores de sobretensión:

- Descargadores de gas:

Este tipo de descargadores están compuestos de unos electrodos dispuestos en un tubo de cerámico o en una bombilla de vidrio. Entre los electrodos se encuentra un gas noble, como el argón o el neón.

Principio de funcionamiento: al incidir una sobretensión en el descargador de gas, se produce la ignición y pasa del estado de alta resistencia al de baja resistencia. Este comportamiento depende de la pendiente de la sobretensión de entrada, es decir, cuanto mayor sea esta pendiente, más corto será el tiempo de encendido y más alta será la tensión de reacción de descarga de gas. Por

eso, con una curva de encendido muy rápida, se produce una tensión muy superior a la nominal.

Al encenderse el descargador tenemos la caída de tensión en el arco, con un valor entre 20 y 30V. Por ello, para interrumpir la posible corriente tiene que preverse un fusible antes del descargador de gas. Con la finalidad de evitar este comportamiento, los descargadores de gas no deben ser utilizados para tensiones de 220V. En general, presentan una tensión estática de hasta 90V.

- *Descargadores de contorno deslizante:*

Entre los últimos desarrollos de este tipo de descargadores, se encuentra un descargador en el que los electrodos, en forma de disco, están separados por un material aislante. Este tipo de descargadores están concebidos para poder interrumpir corrientes repetitivas de la red, gracias a su especial tecnología. Esto se debe a que el arco que se forma entre ambos electrodos gasea a lo largo del material aislante. Al ser este redondo, el arco rota hacia zonas más frías, se va debilitando y acaba extinguiéndose.

La corriente de encendido es por lo general superior a la del descargador de gas equiparable. El comportamiento de ambos es muy similar en el rango de 2 y 3kV.

Estos descargadores pueden derivar corrientes de hasta 100kA, siendo autoextinguibles y su tensión de servicio se puede establecer en 2kV.

- *Varistores:*

El varistor es básicamente una resistencia variable en función de la tensión. Según el tipo de construcción se puede distinguir entre varistores de carburo de silicio y varistores de óxido de metal. Actualmente, los varistores de óxido de metal son más predominantes debido a su comportamiento favorable para las protecciones de componentes electrónicos.

El poder de derivación de corriente de un varistor es inferior al del descargador de gas del mismo tamaño. La absorción de un varistor se puede comparar con la de un descargador de gas debido a que la tensión en los varistores no desciende a un valor inferior después reaccionar.

En conclusión, el varistor puede derivar corrientes de 5kA y hasta de 10kA. Pero presenta el inconveniente de que envejece con una sobrecarga y la corriente de pérdida se vuelve relativamente alta.

- *Diodo supresor*

Presenta una capacidad de carga mucho más alta que un diodo Zener. Su poder de derivación puede alcanzar más de 100 A, con un tiempo de actuación inferior a 10ps. Por esta razón, el diodo supresor constituye el elemento de protección de reacción más rápido. Además, disipa su corriente máxima característica con un aumento muy pequeño de la tensión nominal.

Instalación de equipos

En función de las características de los descargadores detallados en el punto anterior, se eligen los tipos de descargadores que se van a instalar en cada caso:

- *Salida del regulador de carga:*
A la salida del regulador de carga de la batería, es decir, el lado de 12V para alimentación de los equipos existentes dentro de la estación hidrometeorológica, se colocará un descargador de sobretensiones formador por la asociación en serie de un interruptor térmico y un varistor. Este elemento contará con una capacidad de derivación nominal bajo onda 8/20 de 20 kA y una corriente máxima de descarga de 40 kA.
- *Cable coaxial de antena:*
En el cable coaxial que conecta la antena con el transmisor GOES se instalará un descargador de gas con una capacidad de derivación de corriente de 5 kA para onda 10/350 y 20 kA para onda 8/20 con conectores N en ambos extremos. Este será intercalado en la conexión y el tercer conector del descargador se conectará a la toma de tierra de la instalación destinada para ello.
- *Señales analógicas:*
En las señales analógicas provenientes del sistema de adquisición de datos (data logger) existente, se instalarán protecciones constituidas por un descargador de gas y varistor. Estas tendrán una capacidad de derivación de 2,5 kA por hilo ante una onda 10/350 y 20 kA ante una onda 8/20.
- *Señales digitales:*
En el cableado de las señales digitales a la salida de los sensores y el data logger, se colocarán descargadores con capacidad de derivación de 2,5 kA de corriente para una onda de 10/350 y 20 kA ante una onda 8/20. Estos descargadores se deberán colocar a ambos extremos para garantizar una mayor protección.

Protección externa contra el rayo:

Con el objetivo de evitar que el rayo impacte directamente en los módulos de las plantas fotovoltaicas, se recomienda la instalación de un pararrayos. No obstante, es de destacar la importancia de optimizar la ubicación y el número de pararrayos instalados, con la finalidad de evitar que se formen sombras sobre los paneles fotovoltaicos y creen un efecto adverso en la producción de energía por parte de los módulos solares.

La aparición de sombras definidas en las placas solares, es decir, las sombras creadas por objetos situados cerca de la placa pueden producir un doble efecto negativo. Es decir, no solo reducirían la producción energética del panel, sino que además estas placas empezarían a consumir energía, creándose puntos de sobrecalentamiento. Esto solo pasa en caso de que los pararrayos se ubiquen cerca de la placa solar, en caso de situarlo más alejado, se crearía sombras difusas que no afectarían a la producción de energía ni dañarían los módulos fotovoltaicos. Esto explica la importancia de estudiar cuidadosamente la distribución de los pararrayos.

Diodos de bypass:

Las placas solares seleccionadas cuentan con un diodo llamado de bypass o de protección. Este tipo de diodos se emplean para proteger a los módulos solares de sobrecalentamiento, problemática explicada en el apartado anterior. Sin embargo, los diodos de paso no evitan el sombreado de las células solares ni ayudan a mejorar la respuesta eléctrica en ese tipo de situaciones, estos son simplemente una medida de protección que minimiza los efectos adversos creados por la aparición de puntos calientes en asociaciones en serie.

El principio de funcionamiento de estos sensores es muy sencillo. Los diodos bypass se activan en caso de sobrecalentamiento de la placa, ofreciendo a la corriente un camino alternativo, de forma que se minimicen los daños potenciales. Tal y como se observa en el siguiente esquema. En nuestra instalación las placas están conectadas en paralelo para mantener la misma tensión de 12V, pero el funcionamiento de los diodos es el mismo.

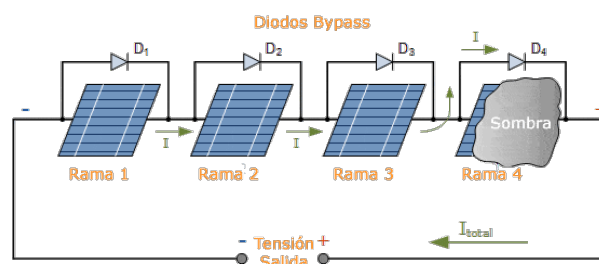


Figura 42. Ejemplo funcionamiento del diodo bypass de los paneles solares. Fuente: SFE Solar [29].

No obstante, la calidad de los diodos bypass y de las células solares es crucial para asegurar la protección de sobrecalentamiento.

Esquema del sistema de alimentación y protecciones

A continuación, se presenta el esquema de la instalación de las protecciones en una estación hidrometeorológica, en la cual se incluyen los distintos equipos mencionados en la sección anterior.

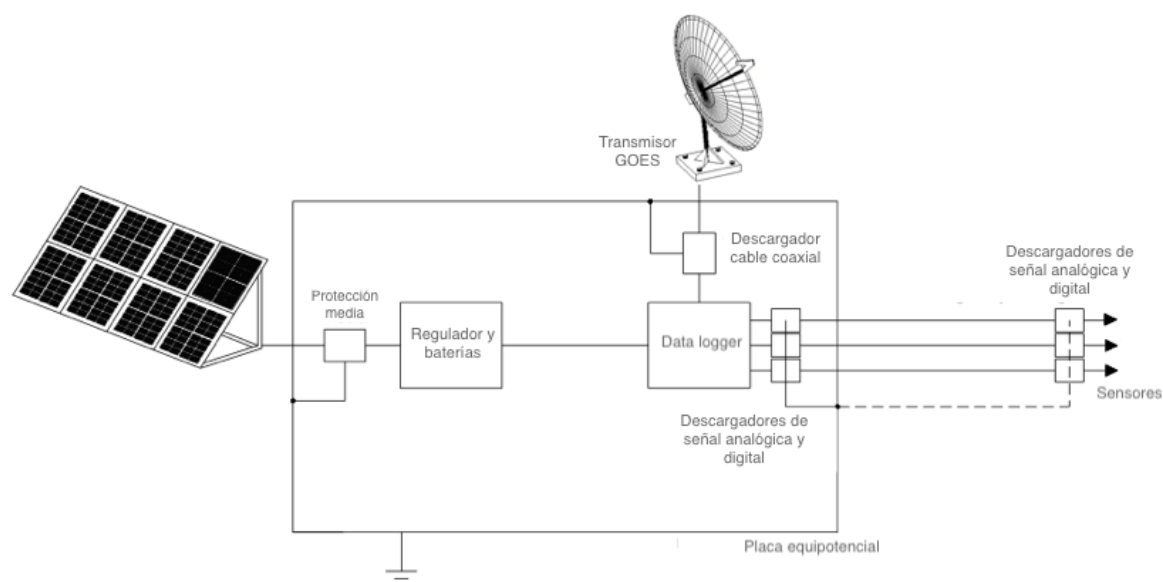


Figura 43. Esquema sistema de alimentación y protecciones estación hidrometeorológica.

Fuente: Elaboración propia.

En el Anexo 3, se adjuntan también los planos de cableado de las diferentes estaciones, en los que se puede ver el cableado a la fuente de tensión y de la puesta a tierra.

Capítulo 3. Sistema de comunicación e información

En este capítulo, se describe brevemente el sistema de comunicación e información existente en el proyecto de las estaciones hidrometeorológicas de Venezuela. En primer lugar, se describirá el sistema de comunicación interno en la propia estación, y posteriormente, se describirá de manera resumida el sistema de comunicación e información del satélite GOES.

Introducción

La finalidad de este proyecto es principalmente recolectar datos del medio exterior para poder procesarlos y analizarlos con el objetivo de mejorar la gestión de los recursos hídricos, la predicción de los fenómenos climatológicos extremos y el seguimiento hidrológico. Para ello, no es solo importante elegir el equipo adecuado (capítulo 1) y diseñar el sistema de suministro eléctrico para proveer la energía eléctrica necesaria (capítulo 2), sino que también es crucial establecer un sistema de comunicaciones adecuado que garantice la correcta transmisión de los datos. Pudiendo así, hacer llegar los datos al centro de control donde una vez allí, se almacenan, se procesan y se analizan por expertos en la materia. Estos datos son de gran utilidad para crear una estadística oficial de datos climatológicos e hídricos de Venezuela, actualmente inexistente. Por tanto, el sistema de comunicaciones es el tercer pilar fundamental para garantizar el éxito de este proyecto de gran repercusión en el país de Venezuela.

Sistema de comunicación por satélite

La comunicación predominante en esta red hidrometeorológica es la comunicación vía satélite a través del satélite geoestacionario GOES, del cual se hablará más adelante. Gracias a este satélite, los datos captados por los sensores llegan al centro de control del INAMEH.

La comunicación por satélites ha tardado muchos años en surgir, a pesar de que ya en 1960 ya había indicios de que el diseño de cuatro satélites poderosos sería capaz de aguantar más tráfico del que soportaba la compañía líder American Telephone and Telegraph Company (AT&T) con toda su red de larga distancia [30]. Con el paso de los años, los servicios de comunicación vía satélite se han hecho más accesibles y ofrecen mucha más flexibilidad que otros sistemas de comunicación como los cables subterráneos, la radio de microondas en línea vista, la radio de dispersión topográfica o el sistema de fibra óptica. A día de hoy, existen algunas de estas redes hidrometeorológicas cuyo sistema de comunicación es la fibra óptica, no obstante, el sistema de comunicación predominante en este campo es el enlace satelital. Además, hay otras industrias, como la navegación, la aviación o incluso la pesa, que emplean estos sistemas de comunicación por satélite para actividades de seguimiento, control y vigilancia.

Un satélite se puede definir esencialmente como un repetidor de radio colocado en el cielo. Los sistemas de comunicación por satélite están formados por un transponedor, una estación situada en la superficie terrestre y una red de usuarios. El principio de funcionamiento es muy sencillo: el satélite recibe la señal por medio de ondas electromagnéticas que provienen de la estación terrestre y este remite dichas señales a

otro satélite o directamente de vuelta a los receptores terrestres. De esta forma, se puede decir que en el enlace satelital se distinguen tres secciones básicas: un modelo de subida, un transponder satelital y un modelo de bajada. En ocasiones, se dan los enlaces cruzados, que tienen lugar entre satélites o enlaces intersatelitales (ISL).

Sistema de comunicación e información en la estación

Dentro de la estación hidrometeorológica se encuentran distintos sistemas de comunicación: mediante señales eléctricas analógicas, comunicación puerto serial, comunicación de enlace radio vía satélite. En el siguiente esquema se representa el tipo de comunicación existente entre cada equipo que forma la estación. A continuación, se describirán con mayor detalle las características de los distintos canales de comunicación.

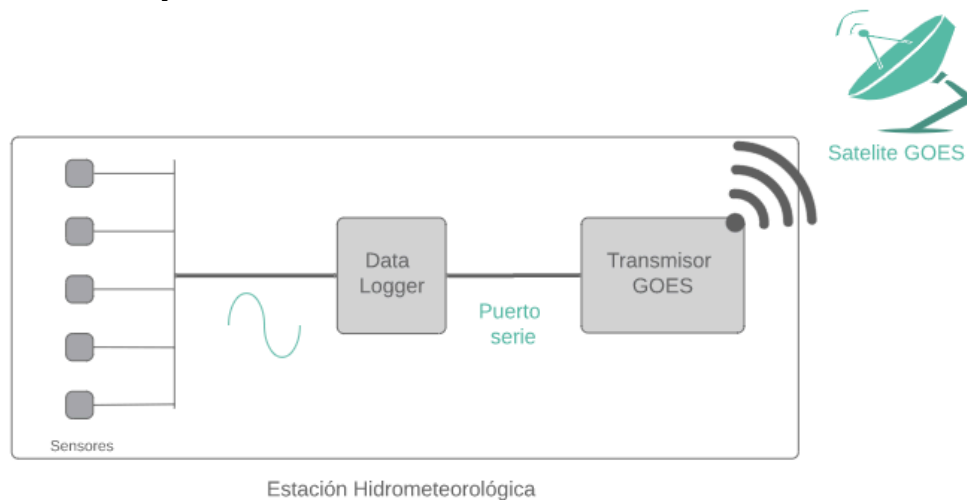


Figura 44. Croquis sistema de comunicación en la estación hidrometeorológica. Fuente: Elaboración propia

Sensores – Data logger

La comunicación entre los sensores y la unidad de adquisición de datos se lleva a cabo mediante señales eléctricas analógicas. El data logger que se instala en las estaciones hidrometeorológicas cuenta con ocho entradas analógicas para corriente y tensión ampliables hasta treinta y dos entradas, según especificaciones del fabricante SEBA Hydrometrie.

Los sensores captan la información del medio y generan como salida señales eléctricas de corriente de entre 4 y 20mA o de tensión de 0-1V. Posteriormente, estas señales son transmitidas a la unidad de adquisición de datos. Este tipo de señales son comúnmente empleadas en el mundo de la instrumentación y sirven para representar de manera proporcional el valor de la medida captada por los sensores del medio. Habitualmente, el valor de 4 mA de corriente hacer referencia a un 0% de la medida, mientras que 20mA de corriente representa un 100% de la medida. Esto permite detectar fácilmente un fallo en el sistema.

En la mayoría de los sensores instalados en la red, sensor de temperatura, de humedad o de nivel, se trata de una configuración en un **lazo de corriente de 4-20mA**. Este lazo se compone primero de un sensor que mide la variable del medio, después de un transmisor que convierte la medición del sensor en esta señal de corriente de 4-20mA; de una fuente de alimentación para que se produzca la señal; de un lazo, es decir, un alambre que

conecte el sensor al data logger y luego regresa al transmisor y, por último, de un receptor que recibe e interpreta la señal de corriente, es decir, el data logger [31] .

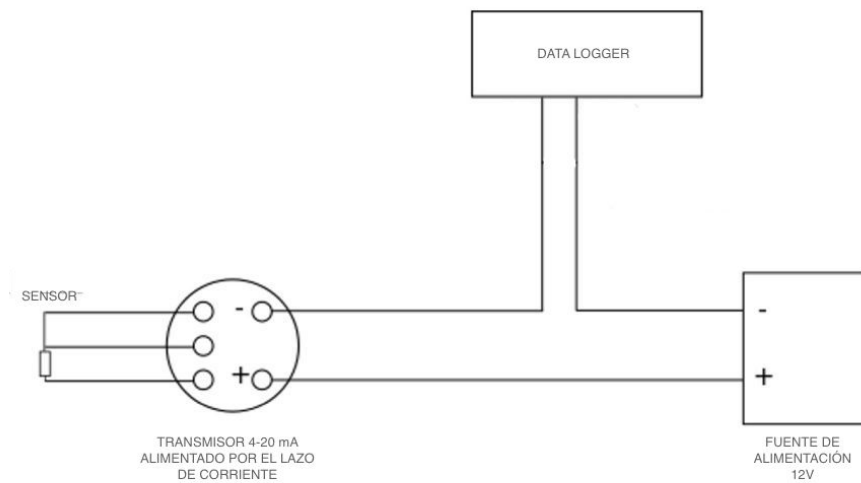


Figura 45. Lazo de corriente 4-20 mA. Fuente: IsoTest.net

En segundo lugar, cabe destacar el **interfaz de sensores RS-485** que posee el data logger que se va a instalar en el proyecto. Ese tipo de interfaz es muy común en instalaciones de redes industriales y es considerado la forma más eficiente y sencilla de supervisar de la comunicación tipo serie [32]. Las principales características son que con una única línea de comunicación RS-485 se pueden comunicar varios sensores al mismo tiempo y que la señal se transporta por dos cables. Esto permite que un cable transmita la señal original mientras que el otro lleve su copia inversa, proporcionando una resistencia muy alta a las interferencias.

El data logger seleccionado para este proyecto también cuenta con una entrada de sensor **SDI-12** opcional. Este tipo de tecnología permite hacer una transmisión digital sobre el bucle de corriente. La finalidad es autodiagnosticar el estado de los sensores. Es un tipo de interfaz de datos serie con una velocidad de transmisión de 1.200 bps. El SDI-12 surgió para facilitar la compatibilidad entre el data logger y los sensores en el sector hídrico gracias a que no es necesario conocer en profundidad las especificaciones de dichos equipos, como el formato de datos, el cableado, etc, para establecer la transmisión de datos.

Por último, cabe destacar que existen algunos sensores más sofisticados que cuentan con protocolos de comunicación específicos. No obstante, en este tipo de redes se instalan sensores menos complejos y no es necesario tener en cuenta este tipo de protocolos. A veces se pueden encontrar estos sensores en la monitorización de presas grandes, pero en este caso no se hace el seguimiento de la presa al completo, únicamente se miden las variables del nivel del agua y precipitaciones, tal y como se ha detallado en los capítulos anteriores.

Data logger - Unidad de transmisión GOES

La comunicación entre el equipo de adquisición de datos (dato logger) y el transmisor, se realiza mediante el **puerto serial RS-232**. Este interfaz RS-232, hace referencia a una norma de intercambio de datos binario serie entre un dispositivo terminal de datos, el data logger en este caso, y un dispositivo de comunicación de datos, el transmisor GOE S de las estaciones. El RS-232 es un conector de tipo DB-25 (25 pines) o DB-9 (9 pines). En la actualidad, este tipo de tecnología de transmisión se ha remplazado en la mayoría de computadoras modernas por el puerto USB. La principal desventaja de puerto serial RS-232, es su baja velocidad de transmisión, mientras que el USB es más rápido y consume menos energía [33] No obstante, en algunas industrias, como es el caso de las redes hidrometeorológicas, el servicio que aporta este puerto serial es irremplazable. El diseño del estándar RS-232, a pesar de tener un diseño menos complejo, permite decodificar los datos en serie sin necesidad de usar otro software externo. Esto es la principal razón por la que se sigue utilizando esta tecnología de puertos seriales en estas redes incluso conociendo sus limitaciones.

En el caso de este proyecto, se emplea de una tecnología de puerto serial RS-232 con un conector de tipo DB-9. Este dato aparece reflejado en las especificaciones técnicas del data logger y el transmisor GOES que se encuentra en el pliego de condiciones. El DB-9 se trata de un conector analógico de 9 clavijas de la familia de conectores D-Subminiature y se emplea fundamentalmente para conexiones serie, dado que permite una transmisión asíncrona de datos tal y como se establece en la norma RS-232 [34]. Hay conectores machos y hembras, tal y como se muestra en la figura.



Figura 46. Conector DB-9 Macho y hembra. Fuente: CCM [34]

En el caso del transmisor GOES seleccionado se emplea un conector DB9-macho para la conexión con el data logger externo. Y conectores DB9-hembra para conectar la pantalla táctil externa y los comandos DCP. Este tipo de comandos se emplean para copiar datos entre hosts de una misma red mediante protocolos peer-to-peer. En el caso del data logger

Cada una de las diferentes clavijas del conector DB9 tiene una funcionalidad específica para garantizar la correcta transmisión de los datos serie. En la siguiente tabla se recogen los distintos pines con su correspondiente nombre y designación.

Número de clavija	Nombre	Designación
1	CD (<i>Carrier Detect</i>)	Detector de transmisión
2	RXD (<i>Receive Data</i>)	Recepción de datos
3	TXD (<i>Transmit Data</i>)	Transmisión de datos
4	DTR (<i>Data Terminal Ready</i>)	Terminal de datos listo
5	GND (<i>Signal Ground</i>)	Señal de tierra
6	DSR (<i>Data Set Ready</i>)	Ajuste de datos listo
7	RTS (<i>Request To Send</i>)	Solicitud de envío
8	CTS (<i>Clear To Send</i>)	Listo para enviar
9	RI (<i>Ring Indicator</i>)	Indicador de llamada
	<i>Shield</i>	Protección

Tabla 32. Pines del conector DB-9

La comunicación entre el data logger y el transmisor GOES podría dividirse en tres fases:

- Fase 1: Preparar la conexión:
 1. El data logger activa la señal DTR (Terminal de datos listo)→ Data logger listo.
 2. El transmisor activa la señal DSR (Ajuste de datos listo) → Transmisor listo.
- Fase 2: Establecer la conexión y transferir los datos:
 1. El data logger activa la señal RTS (Solicitud de envío)→ Pide el envío de datos al transmisor.
 2. El transmisor activa la señal CTS (Listo para enviar) para indicar al data logger que está listo para que le envíe los datos→Transmisor listo para enviar.
 3. Tiene lugar la transferencia de datos a través de la línea de transmisión y recepción.
- Fase 3: Finalización de la conexión.
 1. El data logger desactiva la señal RTS → Indica que desea finalizar la conexión.
 2. El transmisor desactiva la señal CTS.

Transmisor GOES - Satélite GOES

La transmisión entre el transmisor GOES instalado en los puntos de control y el satélite geoestacionario GOES, se realiza mediante señales de radio de muy alta frecuencia. Se suele realizar la transmisión con radio enlaces de VHF y UHF. Donde, VHF (Very High Frequency) es una banda de frecuencia muy alta entre 30 y 300 MHz con una longitud de onda entre 1y 10 metros. VHF es la banda de frecuencia que se emplea habitualmente en radio meteorológica. Por otro lado, UHF (Ultra High Frequency) es una banda de ultra alta frecuencia entre 300 y 3.000 MHz con una longitud de onda entre 1 metro y 100 milímetros. Esta se suele emplear en redes inalámbricas, bluetooth, GPS, etc.

En resumen, las bandas de radio enlace VHF y UHF como medio de comunicación suelen cubrir una frecuencia desde 55 a 550 MHz [35]. Se trata de un medio de transmisión no guiado, lo cual significa que el espectro de frecuencia de la señal producida por la antena, limita más la transmisión que el medio de transmisión en sí.

La antena instalada en la estación es una antena Yagi, tal y como se detalló en el capítulo 1. Ella es la encargada de la transmisión de datos a través del transmisor satelital GOES. Es una antena de apuntamiento que debe estar dirigida hacia el satélite con la inclinación óptima. Esto se debe a que el satélite GOES es un satélite geoestacionario.

Existen dos tipos de satélites: orbitales y geoestacionarios. Los satélites orbitales están continuamente orbitando y no siempre les puedes “ver”. Por eso se suelen colocar varios satélites a la vez creándose constelaciones de satélites. Por lo contrario, los geoestacionarios se encuentran permanentemente en la misma posición con respecto a la tierra. Teóricamente se dice que el satélite ocupa un punto fijo (respecto a un punto sobre el suelo), pero en la práctica no es verdad. A este tipo de satélites se le da una tolerancia equivalente a un cubo espacial con la finalidad de tenerlos siempre ubicados en un punto determinado. Para gestionar el ligero movimiento del sistema se colocan unos motorcitos de propulsión en el satélite, ayudando al mismo a posicionarse siempre dentro de dicho cubo espacial ficticio. En el caso del satélite GOES, este se encuentra situado en el ecuador. Para que un satélite puede permanecer siempre en su órbita, es necesario que su velocidad sea lo suficientemente mayor como para vencer la gravedad y menor que la velocidad necesaria para escapar de la gravedad.

Una problemática que presentan los satélites geoestacionarios es que necesitan tener libre el canal donde tiene lugar el radioenlace entre la estación y el satélite, y esta es siempre una línea recta. Si existe un obstáculo que obstruya el camino entre ambos, se pierde parte de la señal y la transmisión no es válida. Por tanto, es necesario calcular la zona del espacio que debe estar libre de obstáculos, entre el emisor y el receptor, para evitar el fenómeno de cancelación de la señal [36]. Esta área libre se ha denominado con el nombre de “zona de Fresnel” y tiene forma de elipsoide. Cuanto más cerca se encuentren los objetos de la línea de transmisión, más afectará a la intensidad de la señal.

Las zonas de Fresnel se calculan según la siguiente expresión:

$$F_n = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}}$$

Siendo:

F_n	Distancia o radio de una zona de Fresnel a la distancia del obstáculo	[m]
n	Número de zona	
d_1	Distancia del punto donde se calcula el valor de la zona de la antena emisora al obstáculo	[m]
d_2	Distancia del punto donde se calcula el valor de la zona de la antena receptora al obstáculo	[m]
λ	Longitud de onda de la señal emitida	[m]

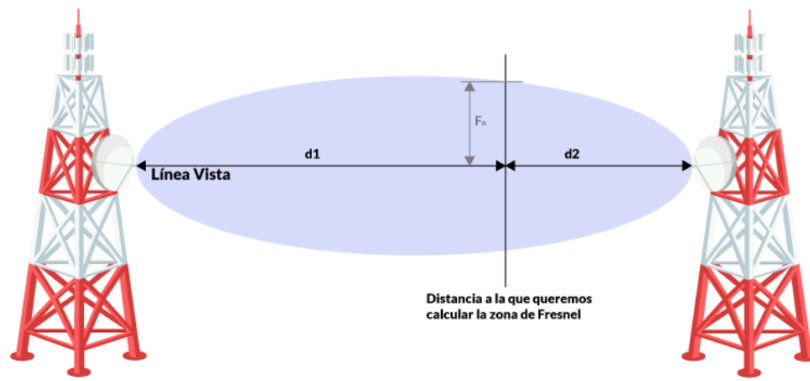


Figura 47. Elipsoide de Fresnel. Fuente: [36]

Normalmente, el criterio de diseño para considerar un radioenlace aceptable, es que la primera zona de Fresnel esté despejada en al menos un 60% a lo largo de toda su extensión. Esto significa, que si entre la antena receptora y la emisora, existe un obstáculo, la distancia entre el punto más alto del obstáculo y la línea recta debe ser superior al 60% de la primera zona de Fresnel calculada previamente para ese punto. A continuación, se explica gráficamente ese criterio de diseño:

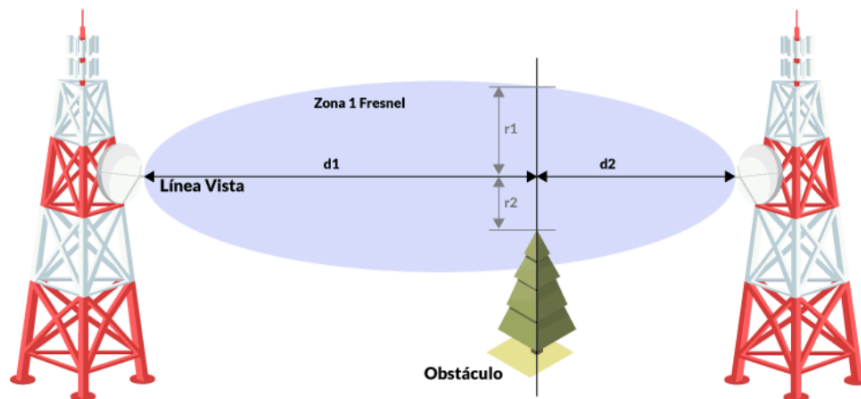


Figura 48. Criterio de diseño de Fresnel para radioenlaces. Fuente: [36].

Donde,

- | | | |
|-------|---|-----|
| r_1 | Distancia de la primera zona de Fresnel al obstáculo. | [m] |
| r_2 | Distancia desde el punto más elevado del obstáculo hasta la línea recta de transmisión. | [m] |

De esta forma, el diseño de criterio es que $r_2 > 0,6 r_1$.

En el caso de la red hidrometeorológica, si consideramos que todos los puntos se encuentran aproximadamente a la misma distancia del satélite GOES, es decir, a 35.875 kilómetros de distancia, que es a la distancia en la que el satélite GOES tiene su órbita ecuatorial fija. Se calcularía la primera zona de Fresnel de la siguiente manera:

Donde,

D Distancia entre la estación hidrometeorológica y la antena GOES. [km]

$$D = 35.875 \text{ km}$$

 f Frecuencia de la señal de transmisión [GHz]

$$f = 330 \text{ Mhz} = 0,33 \text{ Ghz}$$

$F_1 = 2.854,01$ metros con $r_2 > 1.712,41$ metros

Aparte de la problemática de las zonas de Fresnel existente en los satélites geoestacionarios, este tipo de satélites cuentan con numerosas ventajas. En primer lugar, gracias a que permanecen fijo con respecto a un punto terrestre, no es necesario emplear equipos de rastreo para localizarlos. Además, se encuentran disponibles el cien por cien de su tiempo para todas las estaciones que se encuentren dentro de su sombra terrestre, a diferencia de los satélites orbitales que no siempre pueden verse. Otra ventaja con respecto a los satélites orbitales, es que permiten una transmisión continua sin ningún tipo de interrupción relacionada con el cambio de satélite. Por último, son despreciables a los efectos de desplazamiento Doppler [37]. Este efecto tiene lugar cuando hay un cambio de frecuencia aparente en una onda causada por el movimiento relativo de la fuente respecto al observador. Este efecto es muy común en los satélites orbitales que están en continuo movimiento, sin embargo, el movimiento de los satélites geoestacionarios es casi despreciable desde la superficie terrestre.

En cuanto a las desventajas de los satélites geoestacionarios como el GOES, cabe destacar que requieren de mayor potencia de transmisión y receptores más sensibles, dado que las distancias son muy grandes y puede haber pérdidas en la trayectoria. Además, poseen pequeños retardos de propagación, alrededor de 500 milisegundos, causados por su gran altura y requieren de artificios espaciales de alta precisión para colocarlos y mantenerlos en órbita, aparte de los motores de propulsión para mantener su posición fija, tal y como se mencionó anteriormente.

Sistema de comunicación e información entre en Satélite y el centro de control

El operador del satélite GOES es la NASA, no obstante, el servicio de operación de datos es gratuito para el INAMEH, dado que es una transmisión de datos de uso público y ambiental. Además, se Venezuela se trata de un país en fase de desarrollo.

A pesar de todo, ponen muchas restricciones para las comunicaciones. En primer lugar, la comunicación entre la estación hidrometeorológica y el satélite GOES tiene que ser unidireccional. Es decir, ellos pueden mandar la información, pero no pueden recibir ningún tipo de respuesta para verificar que la información se ha recibido correctamente. Debido a esta restricción de comunicación, cada estación se configura de forma que en cada estación tenga asignada una banda de tiempo para transmitir sus datos. Para coordinar esta operación de manera exacta, cada estación cuenta con un reloj muy preciso que se configura mediante GPS. De esta manera, se consigue que cada estación siempre transmita cuando le corresponde, en su slot de tiempo determinado. Así se evita que las estaciones se pisen la información, lo que provocaría el envío de datos erróneos y

confusos o la pérdida de datos. Por tanto, como cada estación solo tiene asignado un slot de tiempo determinado, es importante conocer y programar la cantidad de información que se transmite cada vez, cuanto tiempo ocupas el canal y con cuantas estaciones compartes el mismo canal. Esta restricción te limita mucho el tipo de dato que puedes transmitir y, sobre todo, la cantidad.

Como se comparte un mismo canal de transmisión entre distintas estaciones, la información de cada estación se transmite únicamente una vez cada hora. La velocidad de transmisión en estos canales no será muy elevada, será de 1.200 bits por segundo.

No se pueden enviar los datos directamente al centro de control del INAMEH. El satélite GOES manda primero los datos al operador de la NASA donde son enviados de nuevo a un HUB para almacenar y controlar todos los datos que pasan por el operador. En el Hub se microprocesan los datos del GOES para regular la operación y después reenviarla. Es necesario que toda la información pase primero por el hub de la NASA por temas de protocolos. No podría rebotarse la información directamente desde el satélite GOES hasta el centro de procesamiento y control. Una vez realizada la operación de procesamiento de datos, es la propia NASA la que envía estos datos regulados a través de otros satélites al centro del INAMEH.

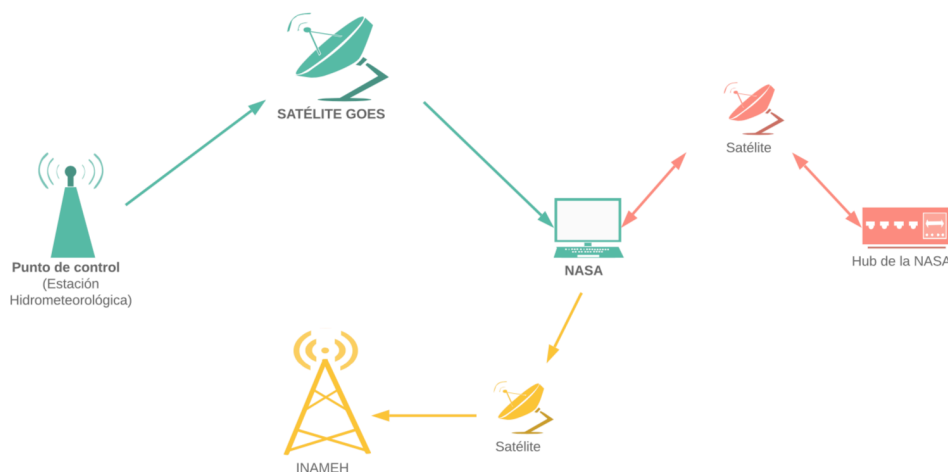


Figura 49. Croquis sistema de comunicación e información de la estación hidrometeorológica, el satélite GOES, la Nasa y el INAMEH. Fuente: Elaboración propia

El centro de recepción, procesamiento y almacenamiento digital está instalado en la sede del INAMEH. Además, en este mismo lugar se está llevando a cabo la creación de un laboratorio de calibración. Este servicio de calibración busca garantizar que las mediciones son confiables y trazables a los patrones meteorológicos nacionales. Se pretende dar apoyo al INAMEH para alcanzar productos y servicios de mejor calidad que resulten beneficiosos para la sociedad.

El INAMEH posee dos canales de comunicación: por un lado, un canal segmentado en tiempos de slot, a través del cual recibe información regulada de cada estación procedente de la NASA; y, por otro lado, un canal de alarmas que está abierto a todas las estaciones y no está regulado por la NASA. Este último canal también es unidireccional, sin embargo, para asegurar que la alarma llega al centro de control, esta se manda $n=3$ veces en tiempos aleatorios para verificar que no es una alarma proveniente de otra estación.

Plazo de ejecución

El **plazo de ejecución** total del proyecto es de **veinticuatro (24) meses**. Este se divide en un plazo de nueve (9) meses destinados a la ingeniería básica, tres (3) meses para llevar a cabo la ingeniería de detalle, y por último doce (12) meses para la ejecución del proyecto.

Presupuesto

El costo total estimado del proyecto es de un monto de **un millón trescientos once mil novecientos catorce euros con cuarenta y tres céntimos (1.311.914,43 €)**. En este monto se incluye el precio de ejecución material, los gastos generales y el beneficio industrial, tal y como se muestra en la siguiente tabla resumen.

Presupuesto de Ejecución Material [€]	1.049.531,54 €
6% Gastos Generales [€]	62.971,89 €
19% Beneficio Industrial [€]	199.410,99 €
Coste total de Ejecución por Contrata [€]	1.311.914,43 €

Tabla 33. Tabla resumen coste total del proyecto

En el documento 3 del proyecto, se realizan los cálculos detallados del presupuesto, en el cual se incluyen: las mediciones, los costes unitarios de cada uno de los equipos, el coste parcial de cada estación según tipología, y, por último, se calcula el coste total de ejecución material y el coste total de ejecución por contrata en euros.

Conclusiones

Tras el análisis realizado sobre las oportunidades que presenta Venezuela para instalar redes hidrometeorológicas en sus cuencas hidrográficas y el futuro hacia el que camina la OMM con sus nuevas reformas en materia de recursos hídricos y meteorológicos, resulta evidente la necesidad de explotación de este tipo de tecnologías en este país. Sin embargo, tal y como se ha demostrado a lo largo de la memoria, la red hidrometeorológica cuenta con un diseño complejo, ya que está compuesta por componentes de distinta naturaleza los cuales deben coordinarse correctamente entre ellos, para garantizar el funcionamiento idóneo de la totalidad de la red.

Por esta razón, se han seleccionado criterios de muy conservadores con el objetivo de garantizar la robustez y estabilidad que la red hidrometeorológica necesita. Los criterios de diseño que se han priorizado han sido: la alta fiabilidad de los equipos; pocos requerimientos de mantenimiento, tanto de los equipos de adquisición de datos como de los equipos de la instalación fotovoltaica; y la elevada disponibilidad del sistema de alimentación y de la red de comunicaciones, para garantizar la continuidad del suministro eléctrico y la adquisición y transmisión de datos con la finalidad de tener acceso a información veraz y de calidad en tiempo real.

Para concluir, me gustaría señalar la enorme repercusión que tiene la instalación de esta red hidrometeorológica en Venezuela por varias razones. En primer lugar, para ampliar y optimizar la red hidrometeorológica nacional llevando esto a la modernización de los sistemas de recopilación, transmisión y control de los datos hidrometeorológicos. Por otro lado, promueve la creación de una estadística oficial, inexistente en la actualidad, que recopile tanto datos climatológicos como el estado en tiempo real de los ríos y embalses del país. La posibilidad de poder acceder a estos datos, sería de gran utilidad para futuros proyectos: la construcción de presas, defensas de inundaciones, puentes..., así como para ayudar a una mejor gestión del sistema eléctrico venezolano donde el 70% de la generación es hidroeléctrica.

DOCUMENTO 2:
PLIEGO DE CONDICIONES

PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS Y PARTICULARES

Especificaciones técnicas de las estaciones y equipos

En este apartado se describirán detalladamente los fabricantes seleccionados para cada uno de los sensores y de los equipos que conforman las estaciones hidrometeorológicas. Estos equipos son los propuestos para la ejecución del proyecto y con los cuales se ha planificado el presupuesto y los tiempos de ejecución y entrega. No obstante, se podrían emplear equipos similares siempre y cuando cuenten con las mismas especificaciones técnicas.

Sensores

Los sensores seleccionados para cumplir con los requisitos del INAMEH son los siguientes:

I. Sensor de la velocidad del viento

Tras realizar un análisis de mercado, el anemómetro elegido es del fabricante SEBA Hydrometrie, que ya viene integrado en la estación climatológica.

Las especificaciones técnicas del anemómetro son las recogidas en la siguiente tabla:

Rango de medición	0...75 m/s
Precisión	± 0,5 m/s
Resolución	< 0,1 m/s
Velocidad de puesta en marcha	< 0,4 m/s
Salida	4...20 mA
Temperatura de funcionamiento	-40 °C...+70 °C
	Sin calentador: sujeto a la ausencia de nieve y hielo en el sensor
Humedad relativa permitida	0...100 % h.r.
Calentador opcional	24 V CA/CC autorregulable
Dimensiones	Ø 212 mm, altura 130 mm
Material	Aluminio

Tabla 34. Datos técnicos sensor de la velocidad del viento SEBA Hydrometrie. Fuente: Instrucciones para el uso AWS. Número de artículo: MET 460X

II. Sensor de la dirección del viento

También se ha seleccionado un sensor de la marca SEBA Hydrometrie cuyos datos técnicos se detallan en la siguiente tabla:

Rango de medición	0...360 °
Precisión	± 2,5 °
Resolución	1 °
Velocidad de puesta en marcha	< 0,4 m/s
Salida	4...20 mA
Temperatura de funcionamiento	-40 °C...+70 °C
	Sin calentador: sujeto a la ausencia de nieve y hielo en el sensor
Humedad relativa permitida	0...100 % h.r.
Calentador opcional	24 V CA/CC autorregulable
Dimensiones	Longitud de la veleta: 338 mm
	Altura de la veleta: 86 mm
	Altura total: 405 mm
Material	Aluminio

Tabla 35. Datos técnicos sensor de la dirección del viento SEBA Hydrometrie. Fuente: Instrucciones para el uso AWS. Número de artículo: MET 460X

III. Sensor de viento por ultrasonido combinado

Este sensor también es del fabricante SEBA Hydrometrie. A pesar de ser una tipología de sensor más robusta y compacta, los rangos de medida y la precisión del mismo es ligeramente peor a los dos primeros sensores. Los datos técnicos se muestran en la siguiente tabla:

Velocidad del viento	
Rango de medición	0...60 m/s
Precisión	+/- 2 %
Resolución	0,01 m/s
Dirección del viento	
Rango de medición	0...359 ° (sin vacíos)
Precisión	+/- 3 °
Resolución	1 °
Suministro eléctrico	9...30 VCC @ 14,5 mA típico
Salida	0...5 V, 4...20 mA o de DI-12
Condiciones de uso	
Clase de protección	IP65
Temperatura de funcionamiento	-35 °...+70 °C
Temperatura de almacenamiento	-40 °...+80 °C
Humedad del aire	<5 %...100 %
Dimensiones	
Tamaño	142 x 160 mm
Peso	0,5 kg

Tabla 36. Datos técnicos sensor de viento por ultrasonido combinado SEBA Hydrometrie. Fuente: Instrucciones para el uso AWS. Número de artículo: MET 460X

IV. Sensor de la temperatura y la humedad del aire

A continuación, se muestran los datos técnicos del mismo, también se ha elegido un sensor del fabricante SEBA Hydrometrie.

	Humedad del aire:	Temperatura del aire:
Rango de medición	0 ... 100 % de h. r.	-40...60 °C
Precisión	± 2,5 % de h. r.	± 0,3 °C
Salida		0...1 V
Temperatura de funcionamiento y almacenamiento		-40...+60 °C
Carcasa	Policarbonato/IP65	

Tabla 37. Datos técnicos sensor de la temperatura y la humedad (combinado) SEBA Hydrometrie. Fuente: Instrucciones para el uso AWS. Número de artículo: MET 460X

En la tabla de especificaciones, el rango de medición entre el 0% y el 100% de h.r. hace referencia a una humedad relativa sin condensación.

V. Sensor de la temperatura del aire

Se ha seleccionado un sensor del fabricante SEBA Hydrometrie que forma parte de la estación climatológica presentada previamente. Las especificaciones técnicas del mismo quedan recogidas en la siguiente tabla.

Rango de medición	-40 °...+70 °C
Precisión	+/- 0,3 °C
Salida	0-100 mV
Suministro eléctrico	5,2...30 V CC
Temperatura de funcionamiento y almacenamiento	-40...+70 °C

Tabla 38. Datos técnicos sensor de la temperatura del aire SEBA Hydrometrie. Fuente: Instrucciones para el uso AWS. Número de artículo: MET 460X

VI. Sensor de la temperatura del suelo

También se escogerá un sensor del proveedor SEBA Hydrometrie y los datos técnicos se recogen en la siguiente tabla.

Profundidad de trabajo	20, 30, 60, 110, 160, 210, 310 cm
Rango de medición	de -30 °C a +70 °C
Precisión	+/- 0,3 °C
Suministro eléctrico	5...24 V CC
Salida	0-100 mV
Material	Plástico
Temperatura de funcionamiento y almacenamiento	-30...+70 °C

Tabla 39. Datos técnicos sensor de la temperatura del suelo SEBA Hydrometrie. Fuente: Instrucciones para el uso AWS. Número de artículo: MET 460X

VII. Sensor de la radiación solar

El sensor seleccionado es de marca SEBA Hydrometrie, al igual que el resto de sensores que forman la estación de tipo climatológica. Las especificaciones técnicas del sensor se recogen en la siguiente tabla.

Clasificación ISO	Clase 2
Espectro de frecuencias	285...3000 x 10 ⁻⁹ m
Sensibilidad (nominal)	15 x 10 ⁻⁶ V/(W/m ²)
Temperatura de funcionamiento	-40...+80 °C
Dependencia de la temperatura	< ± 3 % (-10...+40 °C)

Tabla 40. Datos técnicos sensor de la radiación solar SEBA Hydrometrie. Fuente: Instrucciones para el uso AWS. Número de artículo: MET 460X

VIII. Sensor de las horas de sol

El sensor seleccionado es de marca SEBA Hydrometrie, al igual que el resto de sensores que forman la estación de tipo climatológica. Las especificaciones técnicas del sensor se recogen en la siguiente tabla.

Espectro de frecuencias	400...1100 nm
Tiempo de repuesta	< 1 ms
Señal: presencia de sol	1 ±0,1 V (señal directa > 120 W/m ²)
Señal: ausencia de sol	0 ±0,1 V (señal directa <120 W/m ²)
Precisión de las horas de sol	> 90 % (horas mensuales de sol)
Señal de salida analógica	1 mV/Vm ² (radiación solar directa)
Precisión de la señal directa	> 90 % @ 1000 V/m ²
Estabilidad	< 2 % de desviación anual
Dependencia de la temperatura	< 0,1 %/K
Impedancia	1 kΩ
Clase de protección	IP67
Temperatura de funcionamiento	-40 °...70 °C
Peso	0,9 kg

Tabla 41. Datos técnicos sensor de las horas de sol SEBA Hydrometrie. Fuente: Instrucciones para el uso AWS. Número de artículo: MET 460X

IX. Sensor de la presión de aire

Para este sensor también se recomienda un sensor del fabricante SEBA Hydrometrie cuyas especificaciones técnicas se recogen en la siguiente tabla.

Rango de medición	10...1100 hPa
Salida estándar ¹	4...20 mA a 700...1100 hPa
	Otros rangos son disponibles
Suministro eléctrico	10...28 V directamente al sensor (Consideren la resistencia del cable)
Resolución	16000 pasos (a 700...1100 hPa: 0,025 hPa)
Precisión absoluta	±1,5 hPa (700...1100 hPa, 25°C)
Precisión relativa	±0,5 hPa (700...1100 hPa, 25°C)
Fallo de temperatura	±1 hPa, 0...+50°C +3/-1 hPa, -40°C...+85°C
Temperatura de funcionamiento y almacenamiento	-40°...+85°C
Carcasa	Aluminio, IP65

¹ Para el área estándar (4-20 mA) de 700 a 1100 mbar permite clasificar un área de altura de -200 m (1037 mbar) a 2300m (765 hPa). Para el valor mínimo y el valor máximo hay un tope de 63 mbar o -65 mbar para registrar las variaciones de presión atmosférica relacionadas con las condiciones meteorológicas.

Tabla 42. Datos técnicos sensor de la presión de aire SEBA Hydrometrie. Fuente: Instrucciones para el uso AWS. Número de artículo: MET 460X

X. Tanque de evaporación

El fabricante seleccionado es SEBA Hydrometrie y las especificaciones técnicas se recogen a continuación. El tanque evaporímetro forma parte de la estación de tipo climatológica y está integrado en la misma.

Rango de medición	0...300 mm
Linealidad	±0,15 %
Salida	0...1 V
Suministro eléctrico	5...24 V CC, corriente <1 mA
Coeficiente de temperatura	40 ppm
Temperatura de funcionamiento y almacenamiento	-20 °...+70 °C
Clase de protección	IP54

Tabla 43. Datos técnicos tanque de evaporación SEBA Hydrometrie. Fuente: Instrucciones para el uso AWS. Número de artículo: MET 460X

XI. Pluviómetro

Tal y como se ha indicado en la memoria del proyecto, se han considerado dos tipos de pluviómetros dependiendo de si se iban a instalar junto con otros sensores o si se instalaban de forma aislada. Para tener menos problemas de instalación y mantenimiento de los mismos, también se han escogido sensores del fabricante alemán SEBA Hydrometrie.

En las estaciones climatológicas y de embalse se instalarán pluviómetros modelo RG50, número de artículo: RG425. Los datos técnicos se recogen en la siguiente tabla:

Carcasa:	Aluminio, revestido
Cubeta basculante:	Plástico
Superficie de recogida:	200 cm ² , opcional 400 cm ²
Resolución:	1 impulso = 0,1 mm de lluvia o 1 impulso = 0,2 mm de lluvia
Duración del pulso:	0,3 ... 0.6 s
Calefactor (opcional):	15 W, 24 V
Conmutador de temp. bimetalico:	Activación 3,3 °C ± 3,3 °, desactivación 11,7 °C ± 2,8 °C
Carga soportada por el contacto:	10 A / 250 V CA
Salida:	Contacto tipo Reed generador de impulsos (flotante)
Carga soportada por el int. Reed:	máx. 10 W / 200V CC / 0,5 A CC
Dimensiones:	346 mm de altura, 205 mm de diámetro
Temperatura de funcionamiento:	-20 °C ...60 °C (con calefactor)
Temperatura de almacenamiento:	-20 °C ...+60 °C

Tabla 44. Datos técnicos pluviómetro modelo RG50 SEBA Hydrometrie. Fuente: Instrucciones para el uso RG 50 SEBA Hydrometrie.

El cableado del sensor RG 50 se presenta en el siguiente croquis:

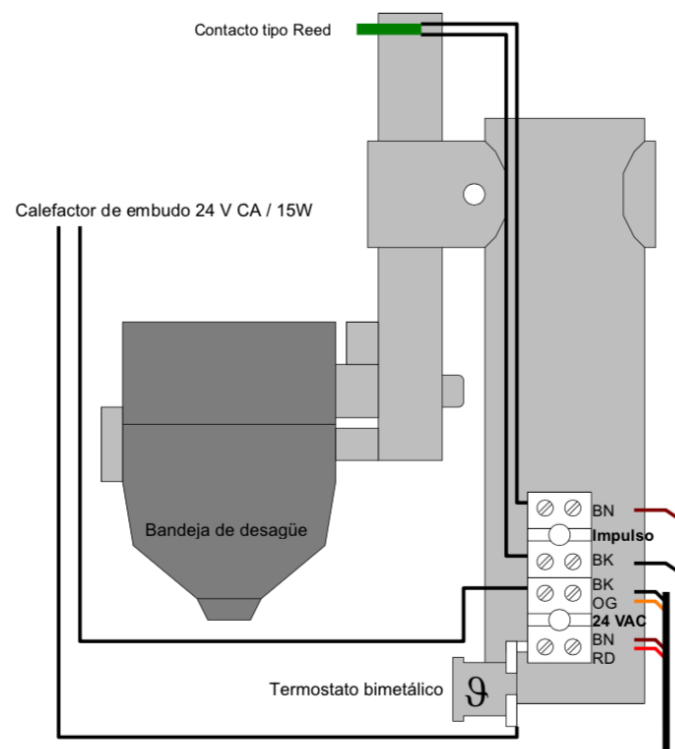


Figura 50. Croquis conexión pluviómetro modelo RG50 SEBA Hydrometrie. Fuente: Instrucciones para el uso RG 50 SEBA Hydrometrie.

En las estaciones pluviométricas se instalarán pluviómetros modelo RG100, número de artículo: RG410. Estos sensores se consideran puntos de control independientes, las dimensiones del equipo son ligeramente mayores y las

conexiones a la red también dado que ya está todo integrado en el sensor, tal y como se muestra a continuación. Los datos técnicos se recogen en la siguiente tabla:

Carcasa:	aluminio fundido, barnizado
Balde de inflexión:	plástico
Superficie de recogida:	200 cm ² , opcional 400 cm ²
Resolución:	1 impulso = 0,1 mm de lluvia o 1 impulso = 0,2 mm de lluvia
Duración del pulso:	0,3 ...0.6 s
Calefactor de embudo (opcional):	15W, 24V
Calefactor de carcasa (opcional):	60W, 24V
Temperatura de conmutación	
Termostato	+7°C, histéresis 1°C
Fuente de alimentación para el calefactor (opcional):	230VAC/24VAC (IP54)
Salida:	generador de impulsos del contacto de tipo reed (flotante)
Carga de interruptor de tipo reed:	máx. 10W / 200VDC / 0,5A DC
Dimensiones:	620 x 225 x 285 mm (Alto x Ancho x Largo)
Peso:	13 kg
Temperatura de funcionamiento:	-20 °C ...+60 °C (con calefactor)
Temperatura de almacenamiento:	-20 °C ...+60 °C

Tabla 45. Datos técnicos pluviómetro modelo RG100 SEBA Hydrometrie. Fuente: Instrucciones para el uso RG 100 SEBA Hydrometrie.

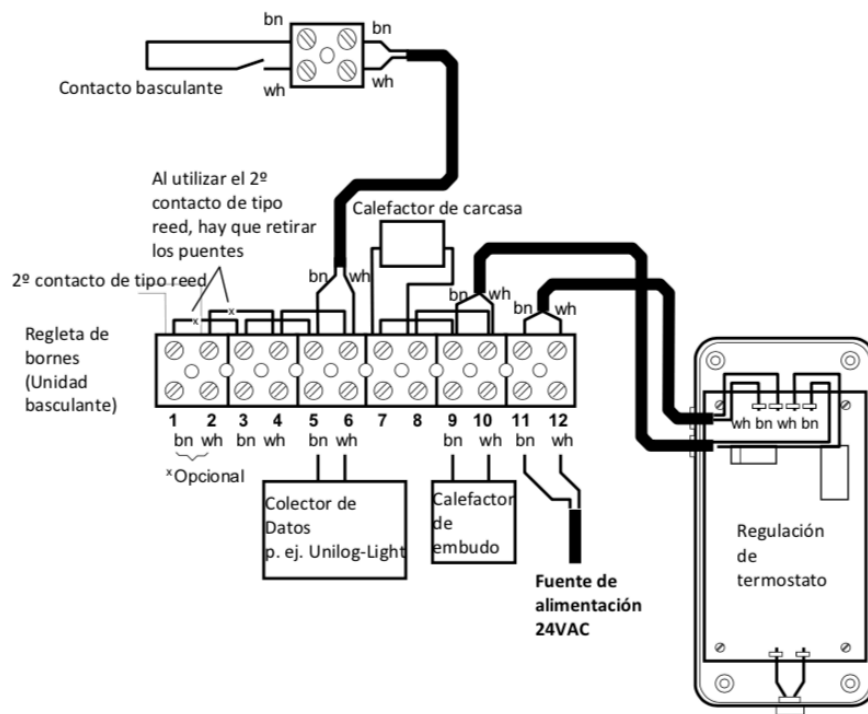


Figura 51. Croquis conexión pluviómetro modelo RG100 SEBA Hydrometrie. Fuente: Instrucciones para el uso RG 100 SEBA Hydrometrie.

XII. Sensor del nivel de agua en ríos

En este caso se emplea un sensor cuyo principio de medición se basa en una variante del principio de burbujeo. Se ha seleccionado el modelo de sensor PS-Light-2-sensor de la marca SEBA Hydrometrie (ver Figura 52). Este modelo se puede suministrar con compresores de diferentes tamaños en función del área de medición: 0-10 m, 0-20 m y 0-40 m. Además, en algunas coordenadas geográficas se instalará una variante especial del PS-light-2-sensor denominada ML que cuenta con un módulo de múltiples rangos que permite modificar el sensor de presión montado para diferentes profundidades de tubos de presión, de forma que se amplía el área de medición entre 2 y 4 veces.

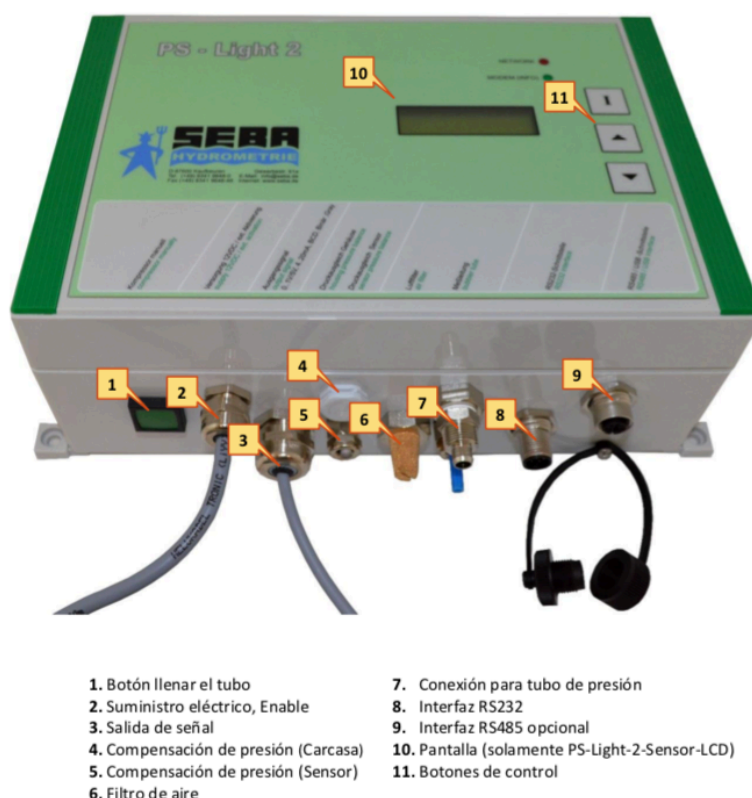


Figura 52. PS-light-2-sensor (único rango) SEBA Hydrometrie. Fuente: Instrucciones para el uso PS-light-2-sensor. Número de artículo: PSL 538 SEBA Hydrometrie.

A continuación, se presentan los datos técnicos del sensor seleccionado y un croquis de la conexión eléctrica:

Alimentación:

Tensión de suministro: 11...15VDC
 Máx. consumo de energía: 1A/12VDC, compresor para el área de medición de 0..10 m
 3A/12VDC, compresor para el área de medición de 0..20 m
 5A/12VDC, compresor para el área de medición de 0..40 m
 Corriente en reposo: 20µA con 12VDC

Operación y Pantalla:

Pantalla gráfica (solamente PS-Light-2-Sensor-LCD) 3 filas de 16 caracteres, 3,65 mm para mostrar medidas la actuales e indicador de estado
 Teclado con 3 teclas de función

Interfaces:

RS 232

Precisión:

Dispositivo	Número de tubos de presión	Rango de medición [m]	Precisión relativa del sensor (rango completo)* +/- [%]
PS-Light-2-Sensor	1	0...10	0,050
PS-Light-2-Sensor-ML	2	0...19	0,026
PS-Light-2-Sensor-ML	3	0...28	0,018
PS-Light-2-Sensor-ML	4	0...37	0,014
PS-Light-2-Sensor	1	0...20	0,050
PS-Light-2-Sensor-ML	2	0...39	0,026
PS-Light-2-Sensor-ML	3	0...58	0,017
PS-Light-2-Sensor-ML	4	0...77	0,013
PS-Light-2-Sensor	1	0...40	0,050
PS-Light-2-Sensor-ML	2	0...79	0,025
PS-Light-2-Sensor-ML	3	0...118	0,017
PS-Light-2-Sensor-ML	4	0...157	0,013

*) Condición previa: 1 m de solapamiento de los tubos de presión; corrección de offset sin imprecisiones

Precisión del sensor de presión:

Linealidad del sensor: +/- 0,05 %
 Precisión de la linealidad,
 Histéresis y repetibilidad: máx. ±0,1%
 Margen de la influencia de temp.: máx. ±0,05% / 10°C
 Offset de la influencia de temp.: compensa
 Margen de la estabilidad a largo plazo: ±0,1% / año

Tiempo:

Duración de medición: tipo 5..15s, máx. 50 (dependiendo de las condiciones ambientales y de instalación)

Área de medición:

Ámbito específico	Múltiples rangos
0..10 m	0..37 m
0..20 m	0..77 m
0..40 m	0..157 m

Salida analógica (opcional):

Salida de tensión ajustable: 0...+1V/5V
 Salida de corriente ajustable: 0/4...20mA

Salida digital:

RS485 (estándar), SDI-12 (opcional)

Carcasa:	Polycarbonato (robusto / resistente a la intemperie)
Clase de protección:	IP65
Dimensiones y peso	
Aparato 0..10 m:	240 x 160 (190)x90mm, 2,1 kg
Aparato 0..20 m:	240 x 160 (190)x130mm, 2,5 kg
Aparato 0..40 m:	270x420x100mm, 4,3 kg
Módulo múltiples rangos:	240x160 (190)x90mm
Condiciones ambientales:	
Temp. de funcionamiento:	-20°C...+50°C
Temp. de almacenamiento:	-20°C...+60°C
Humedad:	máx. 90% rel.H, sin condensación
Tubo de presión:	
Longitud:	10..130 m
Diámetro interior:	6 mm
Inclinación mínima:	5°

El PS-Light en esta tubería de presión estándar ha sido optimizado. No se garantiza un funcionamiento correcto si se utilizan tubos con otras características. Al utilizar tubos que tengan más de 130 m, se debe utilizar un diámetro de tubo más grande que 6 mm; al mismo tiempo, aumenta la inclinación mínima en el área elevada del cuerpo de agua.

Tabla 46. Datos técnicos PS-light-2-sensor SEBA Hydrometrie. Fuente: Instrucciones para el uso PS-light-2-sensor. Número de artículo: PSL 538 SEBA Hydrometrie.

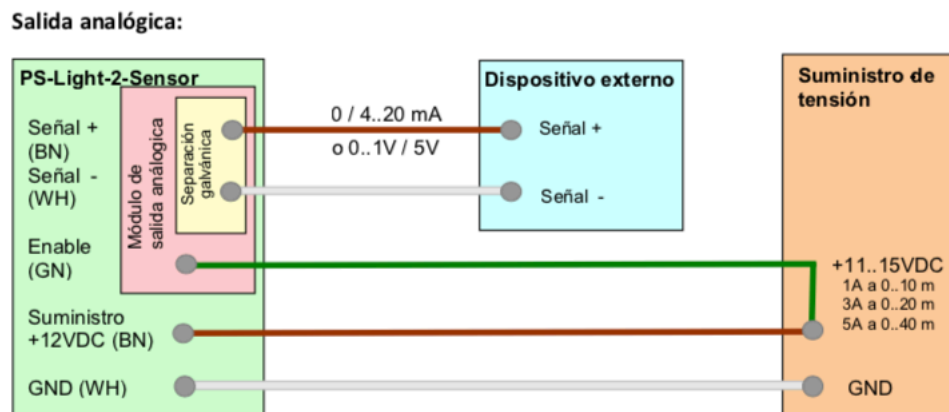
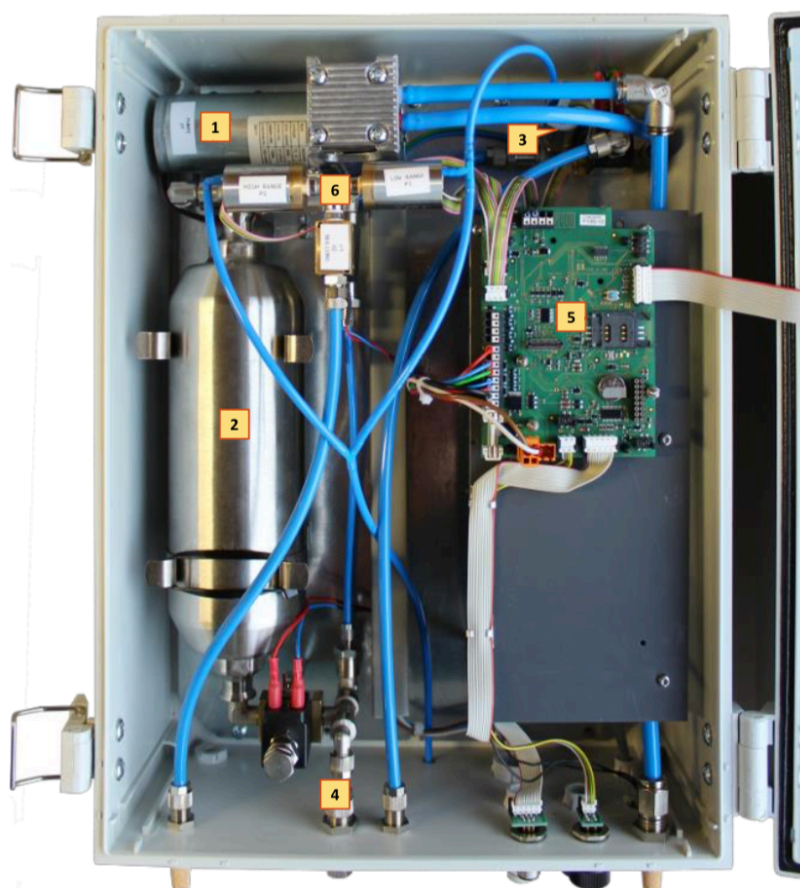


Figura 53. Croquis conexión eléctrica PS-light-2-sensor SEBA Hydrometrie. Fuente: Instrucciones para el uso PS-light-2-sensor. Número de artículo: PSL 538 SEBA Hydrometrie.

En este caso el suministro de tensión es a 12 V en C mediante paneles solares.

XIII. Sensor del nivel del agua en embalses

Se ha seleccionado un sensor modelo PS-sensor, artículo: PSB 533 del fabricante SEBA Hydrometrie. Los componentes que forman este sensor se pueden identificar en la siguiente figura:



*Figura 54. Croquis PS-sensor SEBA Hydrometrie. Fuente: Instrucciones para el uso PS-sensor.
Número de artículo: PSB 533 SEBA Hydrometrie.*

Siendo la leyenda de la figura anterior:

- | | |
|---|---------------------------------------|
| 1 | Compresor |
| 2 | Tanque |
| 3 | Sensor de presión (tanque de presión) |
| 4 | Tubo de medición de presión de salida |
| 5 | Unidad de procesado |
| 6 | Sensor de presión (nivel del agua) |

A continuación, se muestran las especificaciones técnicas del sensor PS-sensor:

Power supply:	
Supply voltage:	12VDC battery operation
Peak current:	7 A (compressor active)
Consumption typical:	544 mAh/day (bubble rate 4, hourly measurement, 1 purge per day)
Operation and display:	Three function keys and LCD. Separate key for manual purging
Configuration Interface:	RS232
Output:	RS485 (standard), SDI-12 (optional)
Sensor unit:	
Sensor type:	micro-processor compensated, high accurate pressure transducer with auto offset correction
Measuring ranges:	
Water level:	0...40 m
Accuracy:	
Pressure sensor:	0.05% = 1 cm at 20 m measuring range
Measurement interval:	1 min up to 48 h
Operating temperature:	-25°C...+60°C
Housing:	
Material:	Polycarbonate
Dimensions:	housing 430 x 330 x 190 mm (LxWxH),
Weight:	9,6 kg
Protection class:	IP65
Pressure tube:	
Material:	tube PA12 W; protective sleeve W-PVC
Inner diameter:	6 mm
Outside diameter:	10 mm
Max length:	0-100 m (optional 0-300m)
Pneumatic unit:	
Proportioning valve:	Initially calibrated by manufacturer. Setting airflow by software in steps from 2..10 (approx. 1-6ml/min)
Compressor:	Integrated max. pressure 7 bar
Air storage tank:	0.75 liter
Automatic purging mechanism:	Regular purging of the pressure tube prevents from silting resp. mudding up of the outlet orifice. Different purging intervals and alignment can be set (from 1h to 24h)
Manual purging:	By function key or software SEBAConfig

Tabla 47. Datos técnicos PS-sensor SEBA Hydrometrie. Fuente: Instrucciones para el uso PS-sensor. Número de artículo: PSB 533 SEBA Hydrometrie.

XIV. Sensor radar del nivel del agua

Para este tipo de sensor se ha seleccionado un modelo de sensor de radar para la medición continua de nivel de líquidos del fabricante español VEGA, modelo VEGAPULS 64. Los datos técnicos del se encuentran en la siguiente tabla:

Rango de medida hasta	30 m (98.43 ft)
Error de medición	≤ 1 mm
Conexión a proceso	Roscas a partir de G $\frac{3}{4}$, $\frac{3}{4}$ NPT, bridas a partir de DN 50, 2", soporte de montaje, bridas de adaptación a paretir de DN 100, 4"
Presión de proceso	-1 ... 25 bar (-100 ... 2500 kPa/-14.5 ... 362.6 psig)
Temperatura de proceso	-196 ... +200 °C (-321 ... +392 °F)
Temperatura ambiente, de almacenaje y de transporte	-40 ... +80 °C (-40 ... +176 °F)
Tensión de alimentación	12 ... 35 V DC

Tabla 48. Datos técnicos sensor radar del nivel del agua VEGAPULS 64. Fuente: Hoja de datos del producto VEGAPULS64. 4-20mA/HART

Las piezas de los equipos que se encuentran en contacto con el medio exterior son de materiales tipo acero 316L, PP, PTEF y PEEK, mientras que la junta de proceso puede ser de FKM, FFKM, EPDM o PTFE.

La carcasa de este fabricante se puede suministrar en versiones de una o dos cámaras compuesta por uno de los materiales: plástico, acero inoxidable o aluminio. Todas ellas con grado de protección IP68. Para este proyecto se ha seleccionado la carcasa de material plástico.

En la siguiente figura se muestran las conexiones eléctricas del sensor y las dimensiones del mismo.

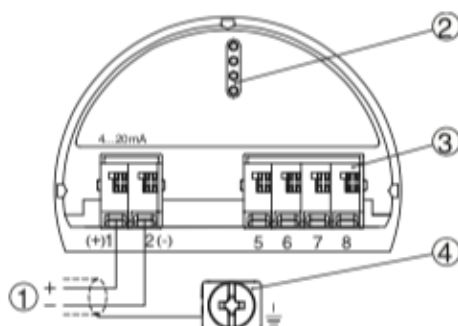


Figura 55. Conexiones eléctricas sensor radar VEGAPULS 64. Fuente: Hoja de datos del producto VEGAPULS64. 4-20mA/HART

Siendo la leyenda de la figura anterior:

- | | |
|---|--|
| 1 | Alimentación de tensión/ salida de señal |
| 2 | Salida para el módulo de visualización y configuración de la interface |
| 3 | Salida para la unidad de indicación y ajuste externo |
| 4 | Terminal de puesta a tierra para la conexión del blindaje del cable |

Unidad de adquisición de datos (UAD)

La unidad de adquisición de datos es la parte de la estación encargada de registrar los datos tomados del medio exterior por los sensores y transmitirlos a la unidad de transmisión para poder procesar y analizar dicha información, tal y como quedó definido en la memoria del proyecto.

Dependiendo del tipo de dato que registren se deben usar unos equipos u otros. En este proyecto se ha considerado como solución más óptima emplear el modelo UNILOG MDS 111 para las estaciones de tipo climatológicas e hidrométricas y el modelo UNILOG LIGHT MDS 55X para las estaciones de tipo pluviométricas y de embalse. Ambos modelos son del fabricante SEBA Hydrometrie y cumplen los requisitos y características detallados en la memoria.

En primer lugar, el **modelo Unilog MDS 111** es un colector de datos que se emplea exclusivamente para la grabación digital de datos tanto hidrológicos como meteorológicos, por lo que su uso es adecuado para las estaciones climatológicas e hidrométricas. Para la alimentación de estos equipos se emplea una batería de litio interna que almacenaría los datos (principio de “Battery Sentry” detallado en la memoria) en caso de una falta de tensión externa. Además, el dispositivo está alimentado por una fuente de tensión externa de 12 VDC, los paneles solares, y se vigila la tensión de alimentación externa a través de canal interno número 32 del Unilog. Como se ha mencionado anteriormente, si esta tensión baja el umbral predeterminado (10,8 V en este caso), el registro de datos se detiene automáticamente.

A continuación, se presentan los umbrales de monitoreo para la gestión de la energía del Unilog:

V < 11,0 V	Umbral de desconexión del módem: <i>El módem se desactiva y numerosas funciones de transmisión se ven afectadas</i>
V < 10,8 V	Umbral de desconexión del registrador: <i>Se detiene automáticamente el registro de datos en todos los canales</i>
V > 11,6 V	Umbral de advertencia: <i>Se reanuda el registro de datos en caso de que previamente se hubiese desactivado.</i>

Tabla 49. Umbral de tensión para monitoreo Unilog MDS 111

En la siguiente tabla se recogen todos los datos técnicos del registrador de datos Unilog MDS 111.

Electrónica:	Consumo (corriente en reposo): 150µA; 75 mA con módulo LAN Memoria Flash de 4 MB (para aprox. 280.000 medidas) Expandible mediante unidad flash USB hasta 32GB Flashcontroller de 32 bits con Watchdog integrado RTC (reloj de tiempo real, batería comp.) Canales lógicos: hasta 32 canales Intervalo de medida*: 30 segundos...99 horas Convertidor A/D de 16 bits
Operación y Pantalla:	Pantalla gráfica (3 filas de 16 caracteres, 3,65 mm) (para mostrar medidas la actuales, hora, fecha e indicador de estado) Teclado con 3 teclas de función
Entradas:	Interfaz de sensores RS485 (SHWP) Contador Up/down, medidor de fase, impulsos (precipitación) 2 entradas de contacto (monitoreo, registro) 8 analógicas (bi/unipolar) para corriente/tensión (p. ej. 0-1 V, 4-20 mA etc.) ampliables hasta 32 entradas analógicas (opcional) con un módulo externo 1 entrada de sensor SDI-12 (opcional)
Interfaces:	RS232 RS485 USB mini LAN (opcional) USB Memory Stick (opcional) Bluetooth opcional (a través de módulo adicional externo SEBA BlueCon)
Alimentación:	12 VDC
Carcasa:	Polycarbonato (robusto / resistente a la intemperie)
Clase de protección:	IP65
Dimensiones:	166 x 185 x 105 mm (Largo x Ancho x Alto)
Temp. de funcionamiento:	-40°...+70°C (Función de la pantalla hasta -20°C)
Temp. de almacenamiento:	-40°...+60°C

**Dependiendo del tiempo de medición del sensor conectado*

Tabla 50. Datos técnicos Unilog MDS 111 SEBA Hydrometrie. Fuente: Instrucciones para el uso Unilog, Número de artículo: MDS 111

En segundo lugar, el **Unilog-light MDS 55X de SEBA Hydrometitre** se trata de un colector de datos que se emplea únicamente para la grabación digital de los niveles de agua, además de otros parámetros como la precipitación y la calidad del agua. Por esta razón, en este proyecto se utilizan este tipo de data logger en las estaciones pluviométricas y de embalse.

Este dispositivo, a diferencia del otro Unilog, cuenta con dos fuentes de alimentación: por un lado, puede ser alimentado a través del bloque de terminales por un tipo de fuente de alimentación externa de 12VDC (paneles solares en nuestro caso) y, por otro lado, a través de la batería interna de 9V.

La única operación que se puede llevar a cabo empleando únicamente la batería de 9V interna es el uso de un sensor de lluvia RG50, este tipo de sensor se encuentra en las estaciones de embalse.

En la siguiente tabla se muestran los umbrales de monitoreo y las acciones que controlan el sistema de gestión de energía del Unilog-light. Mediante el canal interno (habitualmente el canal 31) se controla la tensión de la batería de litio interna y a través del canal 32, se muestra la tensión externa.

V < 11,0 V (medido desde la fuente de alimentación externa)	Umbral de desconexión del módem: <i>El módem se desactiva y numerosas funciones de transmisión se ven afectadas</i>
V < 6,5 V (medido desde la batería interna de 9V)	Umbral de desconexión del registrador: <i>Se detiene automáticamente el registro de datos en todos los canales</i>
V > 7,5 V (medido desde la batería interna de 9V)	Umbral de advertencia: <i>Se reanuda el registro de datos en caso de que previamente se hubiese desactivado.</i>

Tabla 51. Umbral de tensión para monitoreo Unilog-light MDS 55X

El umbral de desconexión del registrador y de advertencia, también se aplica también a los sistemas cuya energía adicional provenga desde una fuente de alimentación externa de 12 V.

A diferencia del otro data logger, Unilog-light cuenta con un tiempo máximo de grabación dependiendo si se trate de una transmisión con el transmisor de lluvia RG50 o con codificador.

A continuación, se muestran los datos técnicos del Unilog-light MDS 55X de SEBA:

<u>Carcasa</u>	
Material:	aluminio
Clase de protección:	IP65
Dimensiones:	143mm x 85mm x 38mm
Peso (sin batería)	aprox. 0,25Kg
<u>Electrónica</u>	
	Flashcontroller de 32 bits
	RTC (reloj de tiempo real, batería comp.)
1 <u>Alimentación</u>	
externa:	9...15V DC (typ. 12V DC) Necesario para sensores suministrados
Interna:	Batería 9V 6LR61 alcalina de manganeso (estándar) Batería 9V 6AM6 Litio (opcional)
<u>Consumo de corriente</u>	
En reposo:	< 40 µA
En activo:	5...15 mA
<u>Rango de temperatura/ Condiciones ambientales</u>	
Funcionamiento:	-40°C...+70°C
Almacenamiento:	-40°C...+60°C
Pantalla de funcionamiento:	-20°C...+70°C
Humedad del aire	5 %...95 % (sin condensación)
<u>Almacenamiento de datos</u>	
	8 MB de memoria flash (aprox. 560 000 lecturas)
<u>Intervalo de medida*</u>	
	30 segundos...99 horas
<u>Pantalla</u>	
Estándar:	Matriz de puntos con gráficos (132x32 píxeles)
Opción:	Retroiluminación LED
<u>Operación local</u>	
	3 operaciones de teclas
<u>Interfaces de comunicación</u>	
	2x RS-232 (1x operación, 1x módem opcional)
<u>Interfaces de sensor</u>	
Estándar (dependiendo de la variante):	RS-485, SDI-12
Salidas opcionales:	MODBUS, SDI-12
<u>Opciones de entrada</u>	
Entrada de impulsos:	1x contacto de lluvia 2x contacto incremental / contacto de evento
Entradas analógicas: (Con alimentación del sensor)	50 mV / 1,25 V / 5 V / 10 V 0-20 / 4-20 mA (configurable)
<u>Opciones de salida</u>	
Salida de impulsos:	1x máx. 48 V / 100 mA de conmutación a GND
Salidas analógicas:	0 ... 1 V / 5 V o 0/4 ... 20 mA con aislamiento galvánico

Tabla 52. Datos técnicos Unilog-light MDS 55X SEBA Hydrometrie. Fuente: Instrucciones para el uso Unilog-light, Número de artículo: MDS 55X SEBA Hydrometrie

Unidad de transmisión GOES

Tal y como se ha detallado en la memoria del proyecto, la transmisión de datos se realizará vía satélite GOES y la unidad de transmisión, junto con la antena correspondiente, desempeñan un papel crucial en la transmisión y la comunicación de los datos recolectados a través de los sensores para poder ser almacenados y procesados en los centros de control.

Con la finalidad de cumplir los requerimientos establecidos con el cliente, se ha seleccionado una unidad de transmisión de datos del fabricante americano Stevens y una antena del mismo fabricante para evitar problemas de compatibilidad.

El modelo de transmisor seleccionado es el **Stevens SatComm GOES CS2/v2.0**. Este transmisor permite enviar datos tanto a 300 como a 1200 baudios. Siendo el baudio la unidad de medida empleada en telecomunicaciones para hacer referencia al número de símbolos por segundo en un medio de transmisión digital. Además, este transmisor tiene la gran ventaja de que es capaz de operar con cualquier tipo de data logger capaz de exportar paquetes de datos a través del puerto serial independientemente del formato de los datos, siempre y cuando esté permitido por la NOAA o NESDIS. Esto se traduce en que este transmisor es compatible con la tercera parte de los data loggers existentes en el mercado actualmente, entre ellos, los dos data loggers escogidos para este proyecto y detallados en el apartado anterior. Su conexión es muy sencilla a través del puerto estándar RS-232, compatible con nuestros data loggers.

El transmisor Stevens SatComm usa un oscilador de cuarzo con compensación de temperatura (TCXO), tal y como se especificó en la memoria. Esto proporciona una alta eficiencia energética, un envejecimiento mínimo de la frecuencia y una excelente vida útil. Estas características se alcanzan gracias a que:

- El TCXO reduce el consumo global de potencia gracias a que elimina el uso de hornos de alta corriente, eliminando el tiempo y la necesidad de calentamiento.
- El TXCO no es vulnerable a la rotura gracias a su ciclo de potencia.
- El TXCO mantiene la frecuencia a lo largo del tiempo sin desviaciones.
- Por último, el TXCO minimiza el riesgo de fallo en las estaciones gracias a que la curva de potencia es constante y que asegura que la transmisión ocurre siempre en el espacio de tiempo asignado.

Por otro lado, se pueden destacar otras características que hacen especial a este transmisor. En primer lugar, la información sobre el estado de la estación (tensión de la batería, número de mensaje, temperatura interna, etc.) se puede seleccionar por el usuario y puede anteponerse a cada transmisión, permitiendo alertas remotas de posibles problemas. Además, cuenta con un sistema de datos redundantes, de forma que el conjunto de datos anteriores viene acompañado al conjunto de datos actual, de forma que se aumenta la posibilidad de recuperar los datos en caso de perder una transmisión. Finalmente, cabe resaltar que el transmisor SatComm presenta dos puertos COM secundarios (puerto de pantalla táctil y puerto de comando DCP (Discovery and Configuration Protocol), es parte del protocolo Profinet) tal y como se observa en la siguiente figura. Esto permite una telemetría dual para mayor redundancia y tener una estación bidireccional remota para configuración y diagnóstico de la misma.

La antena seleccionada es una antena Yagi RHCP (Right Hand Circular Polarized) del mismo fabricante Stevens. Esta cuenta con una ganancia de +11dB. Este tipo de antenas reduce el radio de interferencia mediante un proceso conocido como “multipathing”, de esta forma se bloquean todas las señales radio no deseadas y se obtiene una señal de mayor calidad.

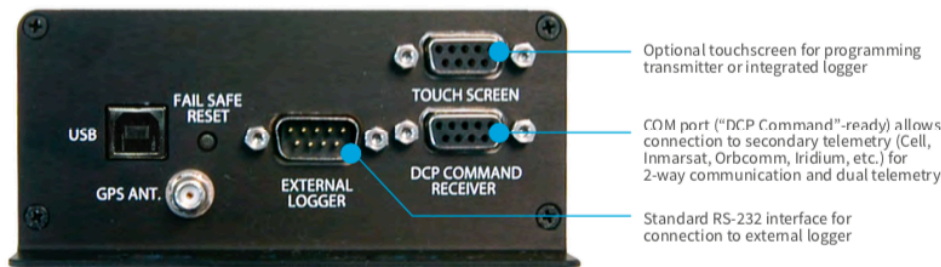


Figura 56. Puertos del transmisor Stevens SatComm GOES. Fuente: Catálogo Stevens SatComm GOES CS2/v2.0 Transmitter

A continuación, se presentan los datos técnicos extraídos del catálogo de Stevens, en el aparecen reflejadas todas las especificaciones técnicas del transmisor y la ganancia de la antena seleccionada. Aparecen los requerimientos de potencia, la potencia de salida, las interfaces y los parámetros físicos del instrumento como la temperatura, la humedad y las dimensiones del mismo.

Stevens SatComm TECHNICAL SPECIFICATIONS			
POWER REQUIERMENTS		TIMEKEEPING	
Input voltage range	10.5 to 16 VDC	Transmission timing accuracy	Meets NESDIS specifications
Quiescent	< 2.0 mA (in CTS trigger mode)	GPS time accuracy	Within 0.01 s (10 ms) UTC
During GPS acquisition	350 mA	CERTIFIED ANTENNAS	
300 BPS transmission	2.4 A (3 W max. with V2TH antenna)	Stevens V2TH	+5.5 dBic gain, RHCP
1200 BPS transmission	3.5 A (10 W max. with V2TH antenna)	Stevens V4TH	+10 dBic gain, RHCP
MAXIMUM OUTPUT POWER		Stevens Yagi	+11 dBic gain, RHCP
300 baud transmission	34.77 dBm (3 W max.)	DATA TRANSMISSION	
1200 baud transmission	40.0 dBm (10 W max.)	Reporting	Self-timed or random reporting
EXTERNAL INTERFACES		Format	ASCII or pseudo binary
Computer interface	USB type-B	PHYSICAL PARAMETERS	
External logger	DB9-m connector interface	Temperature	-40° to +149° F (-40° to +65° C)
External touch Screen	DB9-f connector interface	Humidity	0 - 95% relative humidity non-condensing
DCP command	DB9-f connector interface	Dimensions (W x L x H)	4.625" x 8.81" x 2.096" (11.75 x 22.38 x 5.32 cm)
LED indicators	Transmit, receive, failsafe, power, GPS lock status, built in self test (BIST)	Including mounting plate	7.169" long face-to-face

Tabla 53. Datos técnicos transmisor via satélite GOES. Fuente: Catálogo Stevens SatComm GOES CS2/v2.0 Transmitter.

Especificaciones técnicas de los sistemas de alimentación y protecciones

En este apartado se detallan las especificaciones técnicas de los equipos seleccionados para el sistema de alimentación y las protecciones de la instalación. Dentro del sistema de alimentación se encuentran los paneles solares, los reguladores, las baterías y los aerogeneradores de pequeña potencia como fuente de energía alternativa para los puntos críticos de la red hidrometeorológica. Se detallan los fabricantes y los datos técnicos de los equipos.

Paneles solares

Los paneles solares escogidos para este proyecto son el **modelo Sun Plus 30** del fabricante **Phaesun**. Son módulos solares diseñados para aplicaciones industriales y profesionales que emplean marcos de doble pared de aluminio anodizado resistente a los arañazos. Las células cristalinas se colocan entre láminas de vidrio solar templado con bajo contenido de hierro y papel de aluminio de doble capa y alta resistencia.

La potencia nominal de las placas des de 30W con 12V de tensión nominal. Las dimensiones son las siguientes:

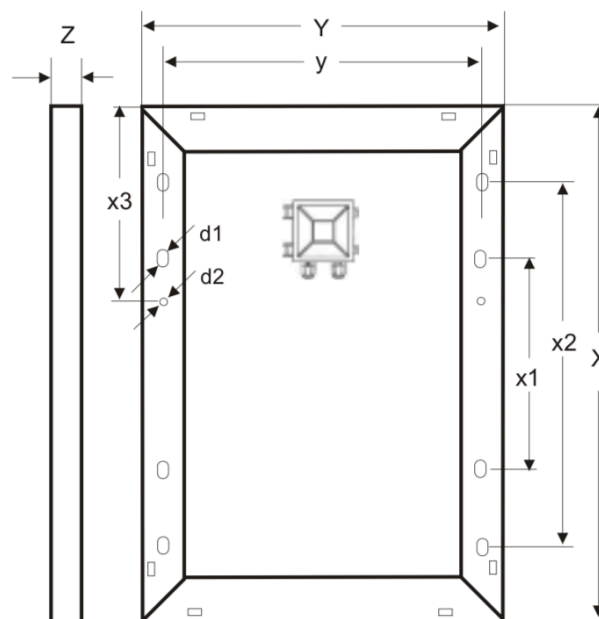


Figura 57. Croquis dimensiones placa solar Sun Plus 30. Fuente: Catálogo Phaesun Solar Modules

Siendo:

X:	633	mm
Y:	427	mm
Z:	35	mm
x1:	433	mm
x2:	594	mm
y:	388	mm

A continuación, se muestra los datos técnicos de los paneles fotovoltaicos:

Tensión nominal	(V _{cc})	[V]	12
Potencia nominal	(P _{mp})	[W]	30
Tensión a máxima potencia	(V _{mp})	[V]	17,6
Corriente a máxima potencia	(I _{mp})	[A]	1,7
Tensión de cortocircuito	(V _{oc})	[V]	21,9
Intensidad de cortocircuito	(I _{sc})	[A]	1,84
Celdas			36 x mono
Eficiencia de las celdas			17,1
Eficiencia de los módulos		[%]	11,1
Tolerancia máxima		[%]	+/- 3
Máxima tensión del sistema		[V]	70
Rango de temperatura de funcionamiento		[° C]	- 40 ... + 85
Marco frontal			Vidrio templado
Protección de la caja de conexiones			Aluminio anodizado de plata
Dimensiones (l x w x h)	(X,Y,Z)	[mm]	633 x 427 x 35
Paso de agujeros de montaje	(x1/y/x2)	[mm]	433 / 388 / 594
Agujeros de montaje Ø		[mm]	9 x 15
Peso		[kg]	3,7
Número de diodo By-Pass			1
Coeficiente de temperatura	Potencia	[%]	-0,43
	V _{oc}	[%]	-0,33
	I _{sc}	[%]	0,05
Tipo de paquete			Caja individual
Certificados			CE, RoHS
Número de artículo			310250

Tabla 54. Datos técnicos módulos solares Sun Plus 30. Fuente: Catálogo Phaesun Solar Modules

Baterías

Las baterías seleccionadas son unas baterías de gel estacionario de electrolito gelificado del fabricante **ME Baterías**. El modelo seleccionado es **MEBG12**. Se caracteriza principalmente por ser una batería hermética que no necesita mantenimiento. Esto resulta muy ventajoso frente a otro tipo de baterías como las baterías de litio que, aunque son más eficientes requieren mayor mantenimiento. El mantenimiento en esta instalación es complejo debido a que los puntos de control se encuentran en puntos remotos de difícil acceso.

Otra de las ventajas es que cuentan con una elevada vida útil y un ratio muy bajo de autodescarga. Posee una excelente capacidad de recuperación tras una descarga profunda, teniendo un rendimiento del 80% de profundidad de descarga.

El rango de temperaturas de la batería es de -15°C a 50°C.

En cuanto al gel de la batería, se trata de un electrolito estabilizado en estado gel que no tiene ni fugas ni estratificación. Posee un ratio de descarga bajo, estabilidad a alta temperatura, un rango de temperatura: -20 °C a 55°C y una excelente capacidad de

recuperación tras una descarga profunda. La vida útil del gel es de hasta cinco años para aplicaciones renovables conforme a la norma española IEC61427.

En la siguiente tabla se recogen los modelos empleados para cada tipo de estación según la capacidad en Amperioshora y las dimensiones correspondientes:

Modelo	Voltaje	Capacidad Ah 1,80 UPC 20° C	Dimensiones (largo x ancho x alto)	Peso
MEBG12-20	12	20 Ah C ₂₀	181 x 76 x 167 (167) mm	5.8 kg
MEBG12-22	12	22 Ah C ₂₀	181 x 76 x 170 (170) mm	6.1 kg
MEBG12-24	12	24 Ah C ₂₀	175 x 165 x 125 (125) mm	7.2 kg
MEBG12-26	12	26 Ah C ₂₀	165 x 125 x 175 (180) mm	8.0 kg
MEBG12-28	12	28 Ah C ₂₀	165 x 125 x 175 (180) mm	8.2 kg
MEBG12-33	12	33 Ah C ₁₀	196 x 130 x 157 (200) mm	10.2 kg
MEBG12-38	12	38 Ah C ₁₀	197 x 165 x 175 (175) mm	12.2 kg
MEBG12-50	12	50 Ah C ₁₀	228 x 137 x 207 (213) mm	15.5 kg
MEBG12-55	12	55 Ah C ₁₀	228 x 137 x 207 (213) mm	16.5 kg
MEBG12-65	12	65 Ah C ₁₀	350 x 166 x 175 (175) mm	19.5 kg
MEBG12-70	12	70 Ah C ₁₀	260 x 168 x 210 (215) mm	21.0 kg
MEBG12-75	12	75 Ah C ₁₀	260 x 168 x 210 (215) mm	22.0 kg
MEBG12-80	12	80 Ah C ₁₀	330 x 171 x 217 (220) mm	27.0 kg
MEBG12-90	12	90 Ah C ₁₀	330 x 171 x 217 (220) mm	28.0 kg
MEBG12-100	12	100 Ah C ₁₀ - 125 Ah C ₁₀₀	330 x 171 x 217 (220) mm	29.5 kg
MEBG12-120	12	120 Ah C ₁₀	412 x 173 x 237 (237) mm	35.0 kg
MEBG12-150	12	150 Ah C ₁₀ - 190 Ah C ₁₀₀	484 x 170 x 241 (241) mm	42.5 kg
MEBG12-200	12	200 Ah C ₁₀	522 x 240 x 219 (225) mm	59.5 kg
MEBG12-220	12	220 Ah C ₁₀	522 x 260 x 220 (225) mm	69.0 kg

Tabla 55. Datos técnicos y dimensiones de las baterías modelo MEBG12-X de ME.

Fuente: Ficha técnica Baterías gel del fabricante ME

Las baterías seleccionadas son las que aparecen remarcadas en la tabla anterior, todas ellas con una tensión de trabajo de 12 V. Cada modelo corresponde al siguiente tipo de estación:

Tipo de estación	Modelo de batería
Climatológica	MEGB12-110
Pluviométrica	MEGB12-20
Hidrométrica	MEGB12-50
De embalse	MEGB12-65

Regulador de carga

El regulador de carga seleccionado es del fabricante **Atersa** y se ha escogido el modelo **MINO V2 12/24V 15A**. Se ha seleccionado un único regulador para todas las estaciones escogiendo un modelo cuya intensidad de carga era mayor a 7 A, que es la intensidad de carga de las estaciones climatológicas que cuentan con 3 placas solares en su instalación.

Se trata de un modelo de regulador de carga que cuenta con una gestión y control óptimo de la carga de las baterías de un sistema solar fotovoltaico, además de proteger todos los elementos de la instalación. Este modelo se emplea principalmente para instalaciones de pequeña potencia, como es el caso de este proyecto. Por ello, no requiere de

instrumentación adicional para su correcto funcionamiento. Se trata de un sistema de regulación sencillo, fiable, flexible, de bajo consumo y precio reducido.

El sistema que implementan para regular la carga es PWM (modulación del ancho de pulso) mediante relés de estado sólido que proporcionan mayor fiabilidad y duración que los sistemas tradicionales de regulación electromecánicos. Este regulador detecta la tensión de la batería y activará la carga del panel en función de la misma. Con este tipo de reguladores no es posible usar el máximo rendimiento de la placa solar [38].

Inicialmente, se quería instalar un regulador con tecnología MPPT (Punto de máxima potencia de panel), dado que se trata de un regulador más avanzado que es capaz de suministrar el 100% de la energía del panel solar, siempre y cuando haya capacidad. El regulador MPPT obtiene rendimientos un 30% superiores al PWM. No obstante, el regulador PWM posee menor coste y es más adecuado para el uso en instalaciones de baja potencia donde el rendimiento de ambos es muy parecido y un regulador de altas prestaciones MPPT no se amortizaría.

Otra gran ventaja de este regulador es que incorpora protecciones tanto para el propio regulador como para todos los equipos que estén conectados al mismo. Se protege contra cortocircuitos de los paneles y los consumos, frente a descargas excesivas, contra inversiones de polaridad en el panel y la batería, frente a sobrecargas y sobretemperaturas y contra la función diodo de bloqueo.

En la siguiente tabla se muestran los datos técnicos del regulador **MINO V2 12/24V 15 A** facilitados por el fabricante, en este caso la tensión nominal es de 12V.

MINOV2

MODELOS

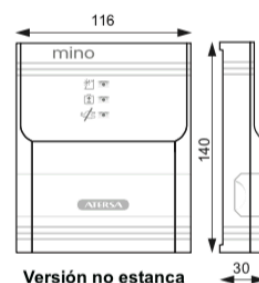
CARAC. ELÉCTRICAS	MINO V2 12/24V 15	MINO V2 12/24V 30
Tensión Nominal (V)	12 / 24 Bitensión	
Tensión máxima Trabajo (V)	16 / 32	
Consumo medio regulador (mA)	6	
Corriente máxima Paneles Constante (A) I_N	12	21
Corriente máxima Consumo Constante (A) I_N	16	28
Corriente máxima Paneles durante 1 minuto (A) $1,2 \times I_N$	14,4	25,2
Corriente máxima Consumo durante 1 minuto (A) $1,2 \times I_N$	19,2	33,6
PROTECCIONES		
Cortocircuito en Panel y en Consumo	Sí	
Sobretensiones	Sí (varistores)	
Sobrecargas	Sí	
Carga profunda	Sí	
Inversión de polaridad	Sí	
Sobret temperatura	Sí	
Función Diodo de Bloqueo	Sí	
OTROS DATOS TÉCNICOS		
Rango de Temperatura de Funcionamiento	-10... +40 °C	
Rango de Temperatura de Almacenamiento	-20... +75 °C	
Humedad Relativa (sin condensaciones)	< 90%	
Máxima Sección admisible en las bornas (mm ²)	10	
Altura máxima de trabajo	2500m	

(*) IP 65: disponible bajo pedido

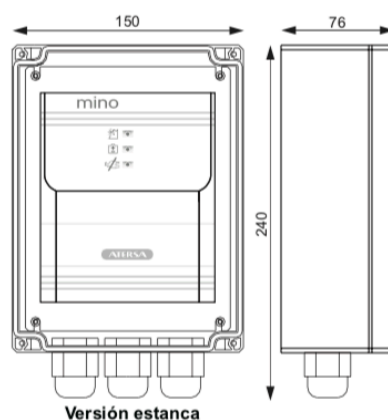
I_N = Corriente nominal a 40°C

Tabla 56. Datos técnicos regulador de carga MINO V2 12/24V 15A. Fuente: Catálogo regulador Mino V2 ATERSA

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS	
Envolvente	ABS plástico Polydac
Peso	250 g.
Dimensiones (H x W x L)	140x116x30 mm
Grado Protección (*)	IP 20



Versión no estanca



Versión estanca

Tabla 57. Características mecánicas del regulador MINO V2 12/24V 15A. Fuente: Catálogo regulador Mino V2 ATERSA.

Aerogenerador

El aerogenerador seleccionado es del fabricante español Bornay. Son fabricantes que destacar por su innovación continua, fabrican aerogeneradores compactos, con altas prestaciones y sencillos de instalar.

El aerogenerador seleccionado es Wind 13+, es un aerogenerador de pequeña potencia (1500W) y monitorización electrónica. Se trata de un aerogenerador de imanes permanentes con dos palas de fibra de vidrio. A continuación, se recogen los datos técnicos con su correspondiente curva de potencia y un croquis con las dimensiones del aerogenerador.

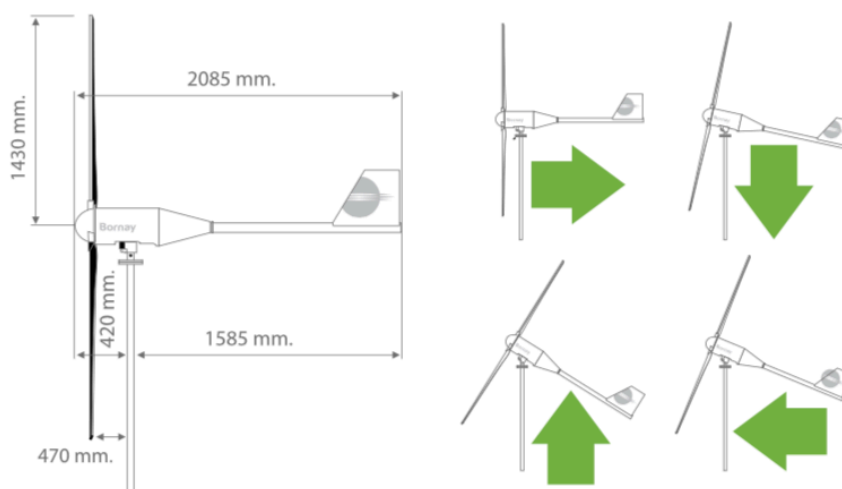


Figura 58. Croquis del aerogenerador Wind 13+. Fuente: Bornay - Catalogo Wind Plus

Como se puede observar en la figura anterior, se trata de un molino eólico muy compacto con pequeñas dimensiones.

Número de hélices	2
Diámetro	2.86 m
Material	Fibra de vidrio / carbono
Dirección de rotación	En sentido contrario a las agujas del reloj
Sistema de control	1) Regulador electrónico 2) Pasivo por inclinación
Características eléctricas	
Alternador	Trifásico de imanes permanentes
Imanes	Neodimio
Potencia nominal	1500 W
Voltaje nominal	220 Vac
RPM	@ 600
Controladores	Regulador MPPT Wind+ Multitensión: 12, 24, 48 Vdc Intensidad: Max. 125 Amp Tipo de batería: Inundada, AGM, Gel Lithio Interface Wind+ Bombeo directo de agua AC ó DC Telecom Conexión a red
Velocidad de viento	
Rango de funcionamiento	2 -30 m/s
Para arranque	3 m/s
Para potencia nominal	12 m/s
Para frenado automático	14 m/s
Máxima velocidad de viento	60 m/s
Características físicas	
Peso aerogenerador	41kg
Peso regulador	30 kg
Peso interface	20 kg
Embalaje	50 x 77 x 57 cm - 79 Kg
Dimensiones - peso	153 x 27 x 7 cm - 7 Kg
Total	0.22 m³ - 86 Kg
Garantía	3 años

Tabla 58. Datos técnicos aerogenerador Wind 13+. Fuente: Bornay - Catálogo Wind Plus

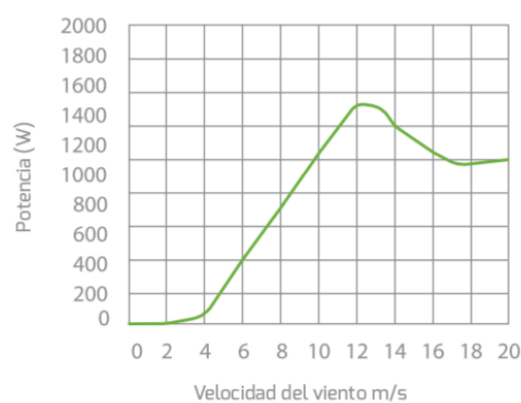


Figura 59. Curva de potencia del aerogenerador Bornay 13+. Fuente: Bornay - Catálogo Wind Plus

Para calcular la energía producida por el aerogenerador, se ha empleado la curva de la energía anual producida por el aerogenerador que se obtiene a partir de la curva de potencia y la curva de probabilidad de la distribución del viento. Esta curva aparece en la memoria del proyecto, en el capítulo del sistema de alimentación en el apartado de puntos críticos.

Protecciones

La instalación fotovoltaica se ha protegido contra sobretensiones causadas principalmente por la caída de un rayo. Para proteger al sistema de este tipo de daños se han colocado una serie de descargadores de sobretensiones en distintos puntos de las estaciones, tal y como queda reflejado en el capítulo 2. Los descargadores seleccionados son los siguientes:

Descargadores a la salida del regulador:

Para estos casos se ha seleccionado un descargador de sobretensión modelo **DG MOD 275** del fabricante alemán **Dehn**. Se trata de un descargador de tipo 2, capaz de derivar a tierra altas corrientes (20kA) en curva 8/20 μ s, con una corriente de descarga máxima de 40 kA. El uso de este dispositivo asegura la continuidad del flujo eléctrico en la instalación.

En la siguiente tabla se muestran los datos técnicos más relevantes facilitados por el fabricante:

	DG MOD 275
Nominal discharge current (8/20 μ s) [I_n]	20 kA
Max. discharge current (8/20 μ s) [I_{max}]	40 kA
Max. continuous operating a.c. voltage [U_{cl}]	275 V
Max. continuous operating d.c. voltage [U_{cl}]	350 V

Tabla 59. Datos técnicos descargador de sobretensiones modelo DG MOD 275. Fuente: Catálogo Protection module for DEHNguard

A continuación, se detallan las dimensiones y el circuito básico de la protección basada en un varistor.

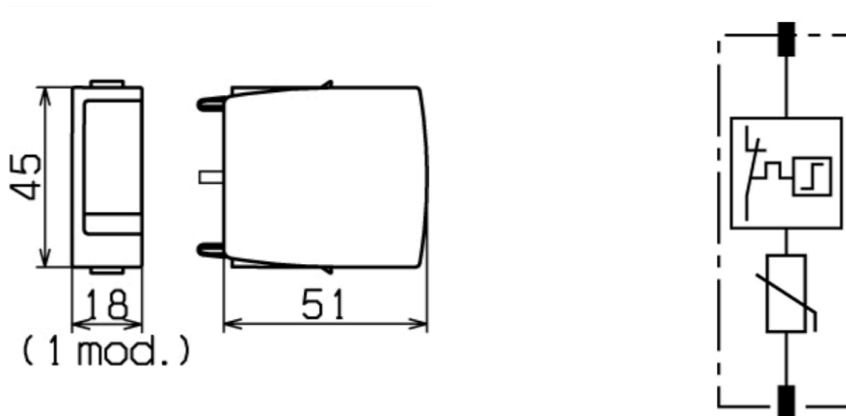


Figura 60. Dimensiones en mm y circuito básico del descargador DG MOD 275. Catálogo Protection module for DEHNguard.

Descargadores cable coaxial de la antena:

Este tipo de descargadores cuentan con una tecnología $\lambda/4$ como protección contra sobretensiones para interfaces de señales coaxiales. La tecnología $\lambda/4$ se emplea para detectar la composición del gas de escape, por eso tiene vital importancia en este tipo de descargadores de gas. Este descargador cuenta con un tipo de conexión N-conector 50 Ω . El modelo seleccionado es **CN-LAMBDA/4-2.25-BB-2801057** del fabricante **Phoenix Contact**.

Estos descargadores son capaces de derivar a altas corrientes de 50kA en curva 8/20 μ s y de 20kA en curva 10/350 μ s.

En la tabla a continuación, se recogen las especificaciones técnicas más destacadas del descargador Phoenix facilitadas por el fabricante:

Circuito de protección

Clase de ensayo IEC	C2
	C3
	D1
Corriente nominal I_n	5 A (25 °C)
Corriente transitoria nominal I_n (8/20) μ s	50 kA
Corriente transitoria nominal I_n (8/20) μ s (conductor-tierra)	50 kA
Corriente transitoria nominal I_n (8/20) μ s (conductor-pantalla)	50 kA
Corriente transitoria suma (8/20) μ s	60 kA
Corriente transitoria suma (10/350) μ s	20 kA
Corriente de sobrecarga momentánea de derivación I_{max} (8/20) μ s máximo	60 kA
Corriente transitoria I_{max} (8/20) μ s máximo (conductor-tierra)	60 kA
Corriente transitoria I_{max} (8/20) μ s máximo (conductor-pantalla)	60 kA
Corriente de rayo de prueba (10/350) μ s, corriente de pico I_{mp}	20 kA
Limitación de la tensión de salida para 1 kV/ μ s, (conductor-tierra) spike	≤ 1 V
Limitación de la tensión de salida para 1 kV/ μ s, (conductor-pantalla) spike	≤ 1 V
Nivel de protección U_p (conductor-tierra)	≤ 25 V (C2 - 10 kV / 5 kA)
	≤ 5 V (C1 - 1 kV / 500 A)
	≤ 18 V (6 kV / 3 kA)
Nivel de protección U_p (conductor-blindaje)	≤ 5 V (C1 - 1 kV / 500 A)
	≤ 25 V (C2 - 10 kV / 5 kA)
	≤ 18 V (6 kV / 3 kA)
Atenuación de inserción aE, asim.	tip. 0,1 dB
Gama de frecuencias	0,8 GHz ... 2,25 GHz
Relación de ondas estacionarias VSWR en el sistema de 50 Ω	tip. 1,2
	máx. 1,25
Potencia HF admisible P_{max} con VSWR=xx (sistema de 50 ohmios)	≤ 500 W
	≤ 4 kW (pico)
Mensaje Protección contra sobretensiones defectuosa	ninguna
A prueba de sobrecorrientes momentáneas (puesta a tierra por conductor)	C1 - 1 kV / 500 A
	C2 - 10 kV / 5 kA
	D1 - 2,5 kA

Datos de conexión

Tipo de conexión	N-Connector 50 Ω
Tipo de conexión IN	Conector N, hembra
Tipo de conexión OUT	Conector N, hembra

Tabla 60. Datos técnicos descargador CN-LAMBDA/4-2.25 BB de Phoenix. Fuente: Catálogo de productos Phoenix Contact artículo: 280205.

Dimensiones

Altura	77,5 mm
Anchura	25 mm
Longitud	78,7 mm

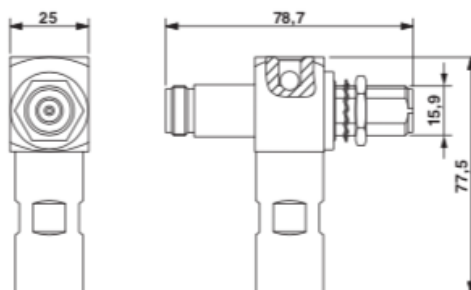


Figura 61. Dimensiones descargador CN-LAMBDA/4-2.25 BB de Phoenix. Fuente: Catálogo de productos Phoenix Contact artículo: 280205.

Descargadores de señal analógica y digital:

Para proteger los equipos de adquisición de datos se han seleccionado unos descargadores de sobretensión **modelo PT-IQ-2X1-24DC-PT** del fabricante **Phoenix Contact**. Estos dispositivos se colocan a ambos extremos de los sensores. Estos descargadores están formados por una protección enchufable y un elemento base que cuenta con una indicación de diagnóstico y estado de varios niveles en módulo

Estos descargadores son capaces de derivar a altas corrientes de 20kA en curva 8/20 μ s y de 2,5kA en curva 10/350 μ s.

El resto de datos técnicos se encuentran recogidos en la siguiente tabla que ha facilitado el fabricante:

Dimensiones

Altura	109,3 mm
Anchura	17,7 mm
Profundidad	77,5 mm (Con carril de 7,5 mm)
Unidad	1 UD

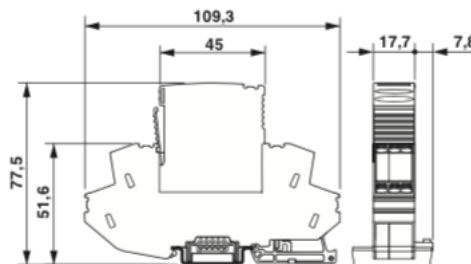


Figura 62. Dimensiones del descargador PT-IQ-2X1-24DC-PT de Phoenix. Fuente: Catálogo de productos Phoenix Contact artículo: 2801247.

Circuito de protección

Clase de ensayo IEC	C1
	C2
	C3
	D1
Tensión nominal U_N	24 V DC
Tensión constante máxima U_C	30 V DC
	21 V AC
Corriente asignada	1000 mA (40 °C)
Corriente activa de servicio $I_{CA} U_C$	≤ 1 mA (por pista)
Corriente de conductor de protección I_{PE}	≤ 1 mA (por pista)
Corriente transitoria nominal I_n (8/20) μ s (conductor-tierra)	10 kA
Corriente transitoria de impulso I_{imp} (10/350) μ s (conductor-tierra)	2,5 kA
Corriente transitoria total I_{total} (8/20) μ s	20 kA
Nivel de protección U_p (conductor-tierra)	≤ 75 V (C1 - 1 kV / 500 A)
	≤ 135 V (C2 - 10 kV / 5 kA)
	≤ 55 V (C3 - 25 A)
	≤ 60 V (C3 - 50 A)
Tiempo de reacción t_A (conductor-tierra)	≤ 1 ns
Atenuación de inserción a_E , asim.	típ. 0,3 dB (≤ 300 kHz / 150 Ω)
Frecuencia límite fg (3dB), asim. (PE) en el sistema de 150 ohmios	típ. 1,1 MHz
Capacidad (hilo-masa de señales)	típ. 2 nF
Resistencia en serie	1,2 $\Omega \pm 5$ %
Mensaje Protección contra sobretensiones defectuosa	Indic. óptica, varios niveles
Fusible previo máximo requerido	1 A (FF)
A prueba de sobrecorrientes momentáneas (puesta a tierra por conductor)	C1 - 1 kV / 500 A
	C2 - 10 kV / 5 kA
	C2 - 10 kA
	C3 - 50 A
	D1 - 2,5 kA
Tiempo de reinicialización de impulso (puesta a tierra por conductor)	≤ 350 ms

Datos de conexión

Tipo de conexión	Conexión push-in
Longitud a desaislar	10 mm
Sección de conductor flexible	0,2 mm ² ... 2,5 mm ²
Sección de conductor rígido	0,2 mm ² ... 4 mm ²
Sección de conductor AWG	24 ... 12

Conexión equipotencial

Tipo de conexión	Carril simétrico DIN NS35
------------------	---------------------------

Tabla 61. Datos técnicos descargador PT-IQ-2X1-24DC-PT de Phoenix. Fuente: Catálogo de productos Phoenix Contact artículo: 2801247.

DOCUMENTO 3:

PRESUPUESTO

PRESUPUESTO

En este documento, se presenta el presupuesto de los equipos y materiales necesarios para el diseño de la red hidrometeorológica. Se detallan las cantidades necesarias, los costos unitarios, el importe total de cada estación y el costo total del proyecto.

Mediciones

En esta sección se presenta una tabla con las cantidades necesarias de los diferentes equipos de adquisición y transmisión de datos y los equipos empleados para la instalación fotovoltaica.

Tipo de estación	Sensores	Cantidad
Climatológica	Sensor de velocidad del viento	10
	Sensor de la dirección del viento	10
	Senor de viento por ultrasonido combinado	10
	Sensor de la temperatura y la humedad del aire (combinado)	10
	Sensor de temperatura del aire	10
	Sensor de la temperatura del suelo	10
	Sensor de la radiación solar	10
	Sensor de las horas de sol	10
	Sensor de la presión de aire	10
	Tanque de evaporación	10
	Pluviómetro _RG50	10
Pluviométrica	Pluviómetro _RG100	26
Hidrométrica	PS-Light-2-Sensor (nivel del agua en rios)	39
Embalses	Pluviómetro _RG50	5
	PS-Sensor (nivel del agua en embalses y presas)	5
	Sensor radar medida nivel de agua	5
TOTAL:		190

Tabla 62. Tabla de mediciones de sensores

Tipo de estación	Data loggers	Cantidad
Climatologicas e	Unilog MDS 111	49
Pluviométricas y de Embalse	Unilog light MDS 55X	31
TOTAL:		80

Tipo de estación	Transmisor	Cantidad
Todas las estaciones	Stevens SatComm GOES CS2/v2.0 Transmitter	80
TOTAL:		80

Tabla 63. Tabla de mediciones de los equipos de adquisición y transmisión

Tipo de estación	Instalación fotovoltaica	Cantidad
Todas las estaciones	Panel solar: Sun Plus 30W, 12V	91
	Batería: MEBG12-20	26
	Batería: MEBG12-50	39
	Batería: MEBG12-65	5
	Batería: MEBG12-110	10
	Regulador de carga: MINO V2 12/24V 15A Atersa	80
	Protecciones	
	Descargador a la salida del regulador: DG MOD 275 Dehn	80
	Descargador cable coaxial: CN-LAMBDA/4-2.25-BB-2801057 Phoenix	80
	Descargador de señal analógica y digital:PT-IQ-2X1-24DC-PT Phoenix	160
TOTAL:		571

Tabla 64. Tabla de mediciones de los equipos de la instalación fotovoltaica

Precios unitarios

A continuación, se presentan las tablas con los diferentes equipos que forman las estaciones hidrometeorológicas, junto con sus cantidades, el costo unitario de los equipos y el coste total según el tipo de instrumento.

Tipo de estación	Sensores	Cantidad	Precio unitario [€/ud.]	Precio total [€]
Climatológica	Sensor de velocidad del viento	10	1.293,00 €	12.930,00 €
	Sensor de la dirección del viento	10	1.621,00 €	16.210,00 €
	Sensor de viento por ultrasonido combinado	10	3.423,00 €	34.230,00 €
	Sensor de la temperatura y la humedad del aire (combinado)	10	1.352,00 €	13.520,00 €
	Sensor de temperatura del aire	10	398,00 €	3.980,00 €
	Sensor de la temperatura del suelo	10	1.317,00 €	13.170,00 €
	Sensor de la radiación solar	10	2.366,00 €	23.660,00 €
	Sensor de las horas de sol	10	2.817,00 €	28.170,00 €
	Sensor de la presión de aire	10	1.754,00 €	17.540,00 €
	Tanque de evaporación	10	6.534,00 €	65.340,00 €
	Pluviómetro _RG50	10	2.139,00 €	21.390,00 €
Pluviométrica	Pluviómetro _RG100	26	4.437,00 €	115.362,00 €
Hidrométrica	PS-Light-2-Sensor (nivel del agua en ríos)	39	4.530,00 €	176.670,00 €
Embalses	Pluviómetro _RG50	5	2.139,00 €	10.695,00 €
	PS-Sensor (nivel del agua en embalses y presas)	5	4.770,00 €	23.850,00 €
	Sensor radar medida nivel de agua	5	3.670,00 €	18.350,00 €
TOTAL:				595.067,00 €

Tabla 65. Tabla de precios unitarios de sensores

Tipo de estación	Data loggers	Cantidad	Precio unitario [€/ud.]	Precio total [€]
Climatológicas e	Unilog MDS 111	49	3.402,00 €	166.698,00 €
Pluviométricas y de	Unilog light MDS 55X	31	1.341,00 €	41.571,00 €
TOTAL:				208.269,00 €

Tipo de estación	Transmisor	Cantidad	Precio unitario [€/ud.]	Precio total [€]
Todas las estaciones	Stevens SatComm GOES CS2/v2.0 Transmitter	80	2.395,00 €	191.600,00 €
TOTAL:				191.600,00 €

Tabla 66. Tabla de precios unitarios de los equipos de adquisición y transmisión

En la siguiente tabla se muestra el coste de los equipos de la instalación fotovoltaica acompañado de las cantidades requeridas de cada uno de los equipos.

Tipo de estación	Instalación fotovoltaica	Cantidad	Precio unitario [€/ud.]	Precio total [€]
Todas las estaciones	Panel solar: Sun Plus 30W, 12V	91	31,85 €	2.898,35 €
	Batería: MEBG12-20	26	56,74 €	1.475,24 €
	Batería: MEBG12-50	39	106,10 €	4.137,90 €
	Batería: MEBG12-65	5	140,19 €	700,95 €
	Batería: MEBG12-110	10	191,11 €	1.911,10 €
	Regulador de carga: MINO V2 12/24V 15A Atersa	80	47,09 €	3.767,20 €
	Protecciones			
	Descargador a la salida del regulador: DG MOD 275 Dehn	80	48,05 €	3.844,00 €
	Descargador cable coaxial: CN-LAMBDA/4-2.25-BB-2801057 Phoenix	80	103,34 €	8.267,20 €
	Descargador de señal analógica y digital:PT-IQ-2X1-24DC-PT Phoenix	160	172,46 €	27.593,60 €
TOTAL:				54.595,54 €

Tabla 67. Tabla de precios unitarios de los equipos de la instalación fotovoltaica

Sumas parciales

En esta sección, se presenta el coste parcial de cada una de las estaciones hidrometeorológicas según su tipología. Se ha calculado en primer lugar el coste total destinado a cada tipología de estación y después, el coste unitario de cada estación según tipología. Primero se presenta el coste de la estación climatológica, seguido de la pluviométrica y la hidrométrica y, por último, se muestra el costo total de la estación de tipo embalse.

Tipo de estación	Componentes	Cantidad	Precio unitario [€/ud.]	Precio total [€]
Climatológica	Sensores			
	Sensor de velocidad del viento	10	1.293,00 €	12.930,00 €
	Sensor de la dirección del viento	10	1.621,00 €	16.210,00 €
	Senor de viento por ultrasonido combinado	10	3.423,00 €	34.230,00 €
	Sensor de la temperatura y la humedad del aire (combinado)	10	1.352,00 €	13.520,00 €
	Sensor de temperatura del aire	10	398,00 €	3.980,00 €
	Sensor de la temperatura del suelo	10	1.317,00 €	13.170,00 €
	Sensor de la radiación solar	10	2.366,00 €	23.660,00 €
	Sensor de las horas de sol	10	2.817,00 €	28.170,00 €
	Sensor de la presión de aire	10	1.754,00 €	17.540,00 €
	Tanque de evaporación	10	6.534,00 €	65.340,00 €
	Pluviómetro _RG50	10	2.139,00 €	21.390,00 €
	Data loggers			
	Unilog MDS 111	10	3.402,00 €	34.020,00 €
	Transmisor GOES			
	Stevens SatComm GOES CS2/v2.0 Transmitter	10	2.395,00 €	23.950,00 €
	Instalación fotovoltaica			
	Panel solar: Sun Plus 30W, 12V	21	31,85 €	668,85 €
	Batería: MEBG12-110	10	191,11 €	1.911,10 €
	Regulador de carga: MINO V2 12/24V 15A	10	47,09 €	470,90 €
	Protecciones			
	Descargador a la salida del regulador: DG MOD 275 Dehn	10	48,05 €	480,50 €
	Descargador cable coaxial: CN-LAMBDA/4-2.25-BB-2801057 Phoenix	10	103,34 €	1.033,40 €
	Descargador de señal analógica y digital:PT-IQ-2X1-24DC-PT Phoenix	20	172,46 €	3.449,20 €

Precio total de estaciones climatológicas [€]	316.123,95 €
Nº de estaciones	10
Precio total por estación [€/Estación]	31.612,40 €

Tabla 68. Tabla de costes de las estaciones climatológicas

Tipo de estación	Componentes	Cantidad	Precio unitario [€/ud.]	Precio total [€]
Pluviométrica	Sensores			
	Pluviómetro RG100	26	4.437,00 €	115.362,00 €
	Data loggers			
	Unilog light MDS Light 55X	26	1.341,00 €	34.866,00 €
	Transmisor GOES			
	Stevens SatComm GOES CS2/v2.0 Transmitter	26	2.395,00 €	62.270,00 €
	Instalación fotovoltaica			
	Panel solar: Sun Plus 30W, 12V	26	31,85 €	828,10 €
	Batería: MEBG12-20	26	56,74 €	1.475,24 €
	Regulador de carga: MINO V2 12/24V 15A	26	47,09 €	1.224,34 €
	Protecciones			
	Descargador a la salida del regulador: DG MOD 275 Dehn	26	48,05 €	1.249,30 €
	Descargador cable coaxial: CN-LAMBDA/4-2.25-BB-2801057 Phoenix	26	103,34 €	2.686,84 €
	Descargador de señal analógica y digital:PT-IQ-2X1-24DC-PT Phoenix	52	172,46 €	8.967,92 €

Precio total de estaciones pluviométricas [€]

228.929,74 €

Nº de estaciones

26

Precio total por estación [€/Estación]

8.804,99 €

Tabla 69. Tabla de costes de las instalaciones pluviométricas

Tipo de estación	Componentes	Cantidad	Precio unitario [€/ud.]	Precio total [€]
Hidrométrica	Sensores			
	PS-Light-2-Sensor (nivel del agua en ríos)	39	4.530,00 €	176.670,00 €
	Data loggers			
	Unilog MDS 111	39	3.402,00 €	132.678,00 €
	Transmisor GOES			
	Stevens SatComm GOES CS2/v2.0 Transmitter	39	2.395,00 €	93.405,00 €
	Instalación fotovoltaica			
	Panel solar: Sun Plus 30W, 12V	39	31,85 €	1.242,15 €
	Batería: MEBG12-50	39	106,10 €	4.137,90 €
	Regulador de carga: MINO V2 12/24V 15A	39	47,09 €	1.836,51 €
	Protecciones			
	Descargador a la salida del regulador: DG MOD 275 Dehn	39	48,05 €	1.873,95 €
	Descargador cable coaxial: CN-LAMBDA/4-2.25-BB-2801057 Phoenix	39	103,34 €	4.030,26 €
	Descargador de señal analógica y digital:PT-IQ-2X1-24DC-PT Phoenix	78	172,46 €	13.451,88 €

Precio total de estaciones hidrométricas [€]

429.325,65 €

Nº de estaciones

39

Precio total por estación [€/Estación]

11.008,35 €

Tabla 70. Tabla de costes de las instalaciones hidrométricas

Tipo de estación	Componentes	Cantidad	Precio unitario [€/ud.]	Precio total [€]
De Embalse	Sensores			
	Pluviómetro _RG50	5	2.139,00 €	10.695,00 €
	PS-Sensor (nivel del agua en embalses y presas)	5	4.770,00 €	23.850,00 €
	Sensor radar medida nivel de agua	5	3.670,00 €	18.350,00 €
	Data loggers			
	Unilog light MDS 55X	5	1.341,00 €	6.705,00 €
	Transmisor GOES			
	Stevens SatComm GOES CS2/v2.0 Transmitter	5	2.395,00 €	11.975,00 €
	Instalación fotovoltaica			
	Panel solar: Sun Plus 30W, 12V	5	31,85 €	159,25 €
	Batería: MEBG12-65	5	140,19 €	700,95 €
	Regulador de carga: MINO V2 12/24V 15A	5	47,09 €	235,45 €
	Protecciones			
	Descargador a la salida del regulador: DG MOD 275 Dehn	5	48,05 €	240,25 €
	Descargador cable coaxial: CN-LAMBDA/4-2.25-BB-2801057 Phoenix	5	103,34 €	516,70 €
	Descargador de señal analógica y digital:PT-IQ-2X1-24DC-PT Phoenix	10	172,46 €	1.724,60 €

Precio total de estaciones de embalse [€]	75.152,20 €
Nº de estaciones	5
Precio total por estación [€/Estación]	15.030,44 €

Tabla 71. Tabla de costes de las instalaciones de embalse

Presupuesto general

Por último, se muestra una tabla resumen con el coste total de cada una de las estaciones hidrometeorológicas, su repercusión sobre el costo total y el costo total del proyecto.

Tipo de estación	Cantidad	Precio unitario [€/ud.]	Precio total [€]	Porcentaje [%]
Estación Climatológica	10	31.612,40 €	316.123,95 €	30,12%
Estación Pluviométrica	26	8.804,99 €	228.929,74 €	21,81%
Estación Hidrométrica	39	11.008,35 €	429.325,65 €	40,91%
Estación de Embalse	5	15.030,44 €	75.152,20 €	7,16%
TOTAL	80		1.049.531,54 €	100,00%

Tabla 72. Tabla resumen coste ejecución material

Tal y como se observa, las estaciones que mayor repercusión tienen sobre el monto total son las climatológicas (30,12%) en comparación con el número de estaciones instaladas (10). Esto se debe a que se instalan mayor número de sensores, de alta calidad y precisión, que es la parte más costosa de la estación, que en las demás tipologías. Además, al aumentar el número de sensores, las estaciones necesitan mayor suministro de energía para funcionar y, por tanto, en la mayoría de casos es necesario instalar dos paneles solares, en vez de uno, como en las otras estaciones y esto también aumenta el coste. Por otro lado, las baterías empleadas son más costosas dado que tienen mayor capacidad en amperios-hora para alimentar la estación durante cinco días en caso de fallo en el panel.

De esta forma, el costo total de la ejecución material del proyecto es del monto de **un millón cuarenta y nueve mil quinientos treinta y un euros con cincuenta y cuatro céntimos de euro (1.049.531,54 €)**. Este precio incluye los equipos y la instalación. No obstante, falta incluir un 6% de gastos general y un 19% de beneficio industrial, tal y como se muestra en la siguiente tabla resumen:

Presupuesto de Ejecución Material [€]	1.049.531,54 €
6% Gastos Generales [€]	62.971,89 €
19% Beneficio Industrial [€]	199.410,99 €
Coste total de Ejecución por Contrata [€]	1.311.914,43 €

Tabla 73. Tabla resumen coste total del proyecto

Para concluir, el costo total del proyecto es **de un millón trescientos once mil novecientos catorce euros con cuarenta y tres céntimos (1.311.914,43 €)**.

ANEXOS

Anexo 1: Coordenadas geográficas de las estaciones hidrometeorológicas objeto de estudio.

Estado	Coordenada y	Coordenada x	Tipo
AMAZONAS	5,06	-65,21	P
AMAZONAS	3,11	-65,78	C
AMAZONAS	2,80	-65,25	C
AMAZONAS	5,68	-67,64	HPNS
AMAZONAS	3,15	-65,86	HPNS
ANZOÁTEGUI	9,92	-65,13	P
ANZOÁTEGUI	9,89	-64,53	P
ANZOÁTEGUI	9,72	-64,01	P
ANZOÁTEGUI	7,70	-64,73	HPNS
ANZOÁTEGUI	9,86	-64,35	HPNS
ANZOÁTEGUI	8,41	-64,39	HPNS
ANZOÁTEGUI	9,88	-64,46	HPNS
ANZOÁTEGUI	9,92	-64,09	HPNS
ANZOÁTEGUI	9,96	-65,17	HPNS
ANZOÁTEGUI	10,15	-64,68	HPNS
ANZOÁTEGUI	10,09	-64,57	HPNS
ANZOÁTEGUI	8,79	-64,64	HRAD
ANZOÁTEGUI	8,90	-64,15	HRAD
ANZOÁTEGUI	9,37	-64,66	HRAD
ANZOÁTEGUI	9,75	-64,02	HRAD
ANZOÁTEGUI	9,09	-64,32	HRAD
APURE	7,12	-70,77	P
APURE	7,00	-67,19	C
APURE	6,17	-69,27	C
APURE	7,89	-67,44	HPNS
APURE	7,91	-68,71	HPNS
APURE	7,07	-69,50	HPNS
APURE	7,58	-67,63	HPNS
APURE	7,49	-68,42	HPNS
APURE	6,98	-67,40	HPNS
APURE	7,33	-67,73	HPNS

APURE	7,09	-70,74	HPNS
APURE	6,52	-67,40	HPNS
ARAGUA	9,48	-66,97	P
ARAGUA	10,42	-67,23	P
ARAGUA	10,37	-67,23	P
ARAGUA	10,03	-67,46	P
ARAGUA	10,05	-67,67	P
ARAGUA	10,00	-67,03	P
ARAGUA	10,23	-67,25	P
ARAGUA	10,16	-67,39	P
ARAGUA	10,10	-67,58	P
ARAGUA	10,40	-67,29	C
ARAGUA	10,45	-67,77	HRAD
ARAGUA	10,09	-67,23	HRAD
ARAGUA	9,91	-67,11	HRAD
ARAGUA	9,79	-66,97	E
BARINAS	8,78	-70,10	P
BARINAS	8,91	-70,45	P
BARINAS	8,47	-70,54	P
BARINAS	8,93	-70,18	P
BARINAS	8,52	-70,44	P
BARINAS	8,71	-70,32	P
BARINAS	8,04	-70,03	P
BARINAS	8,50	-70,09	P
BARINAS	8,93	-70,08	C
BARINAS	8,06	-69,99	HPNS
BARINAS	8,66	-70,25	HPNS
BARINAS	8,51	-68,37	HRAD
BARINAS	8,83	-70,08	HRAD
BARINAS	7,78	-71,24	HRAD
BARINAS	8,38	-70,67	HRAD
BARINAS	8,97	-70,13	HRAD
BARINAS	8,82	-70,07	E
BOLIVAR	7,31	-61,46	E
BOLIVAR	8,03	-61,83	E
BOLIVAR	7,87	-63,00	E
BOLÍVAR	7,12	-65,61	P

BOLÍVAR	7,32	-65,51	P
BOLÍVAR	7,28	-65,79	P
BOLÍVAR	7,87	-62,07	P
BOLÍVAR	6,76	-61,17	C
BOLÍVAR	6,75	-61,63	C
BOLÍVAR	8,12	-61,89	C
BOLÍVAR	8,02	-62,43	C
BOLÍVAR	7,08	-65,00	HPNS
BOLÍVAR	8,13	-63,53	HPNS
BOLÍVAR	7,65	-66,18	HPNS
BOLÍVAR	8,36	-62,69	HPNS
BOLÍVAR	8,15	-63,59	HPNS

Tabla 74. Coordenadas geográficas de las ochenta estaciones hidrometeorológicas objeto de estudio

Siendo,

- C
 P
 HPNS
 HRAD
 E

Estación climatológica
 Estación pluviométrica
 Estación hidrométrica sensor PNS
 Estación hidrométrica sensor Radar
 Estación de embalse

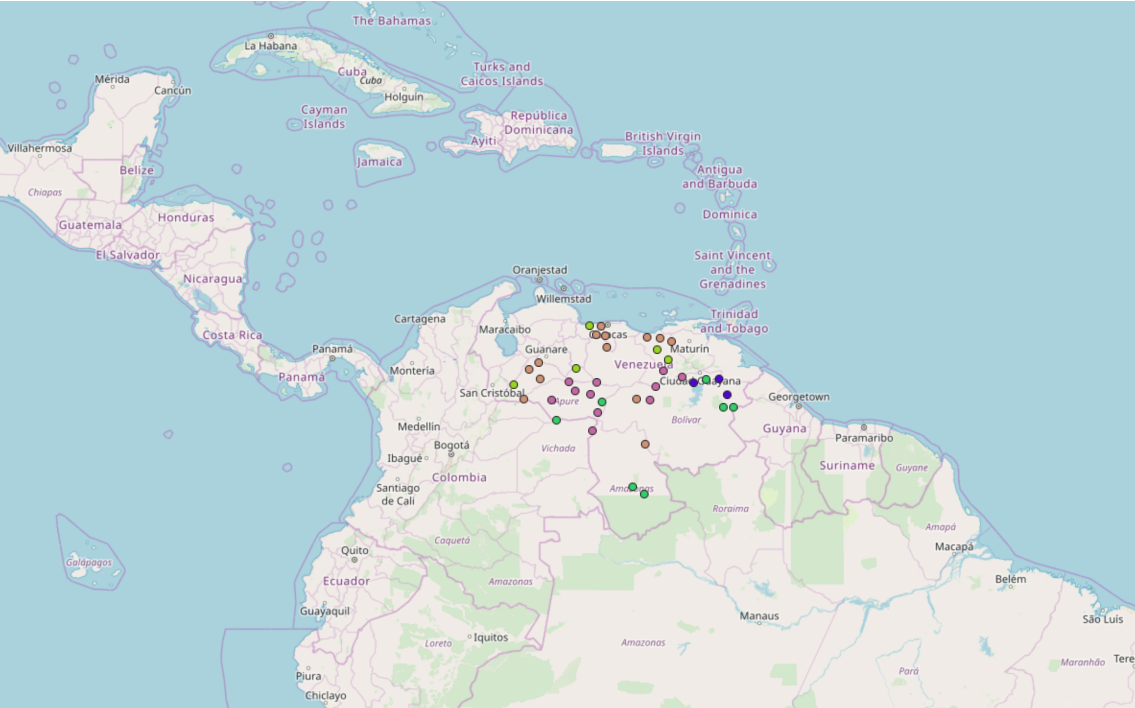


Figura 63. Visión global Venezuela. Fuente: Elaboración propia.

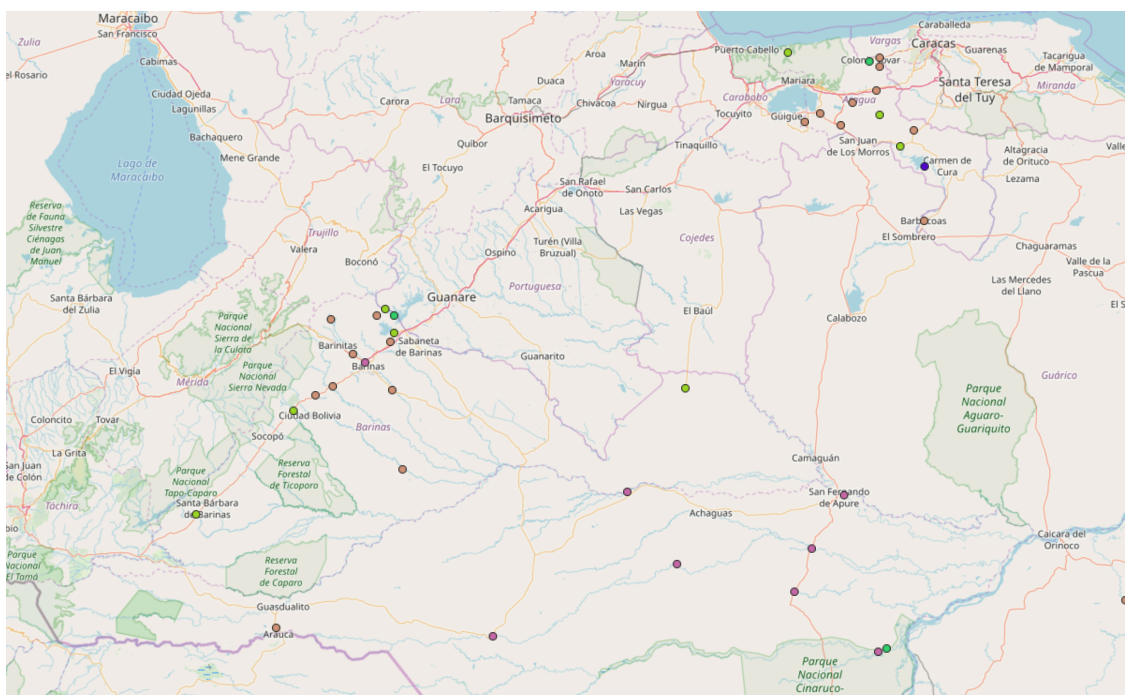


Figura 64. Mapa de estaciones del estado de Barinas, Apure y Aragua. Fuente: Elaboración propia.

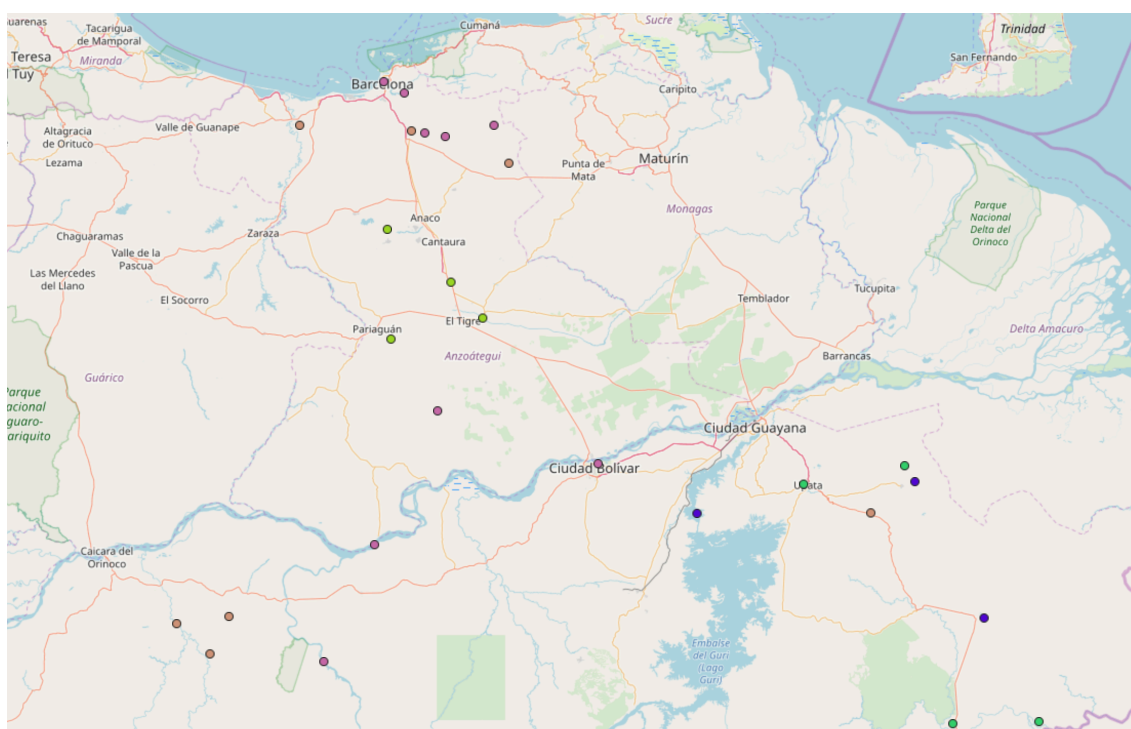


Figura 65. Mapa de estaciones del estado de Aragua, Anzoátegui y Bolívar. Fuente: Elaboración propia.

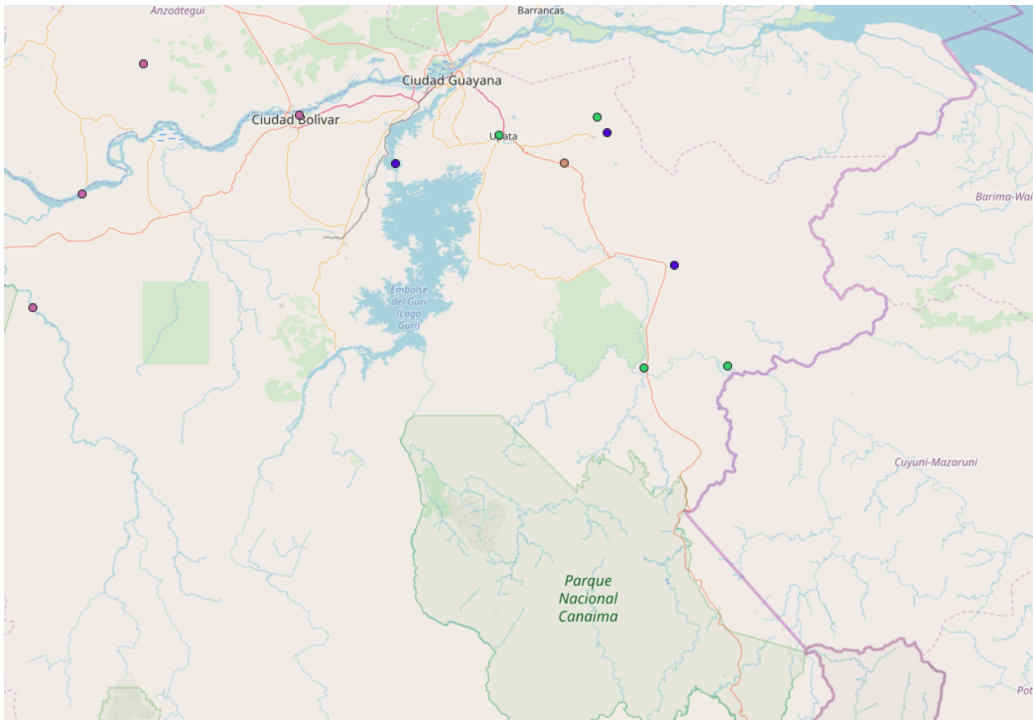


Figura 66. Mapa de estaciones del estado de Bolívar. Fuente: Elaboración propia.

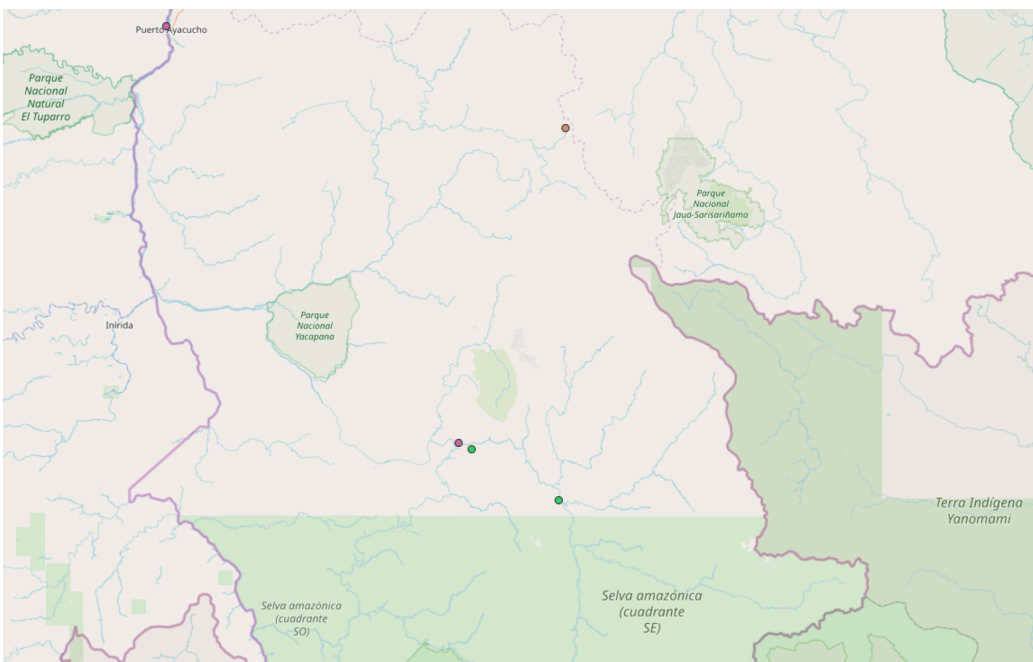
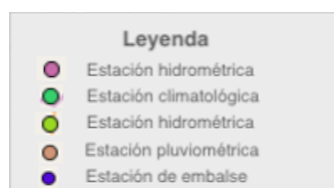


Figura 67. Mapa de estaciones del estado de Amazonas. Fuente: Elaboración propia.



Anexo 2: Cálculo de paneles solares para todas las ochenta estaciones hidrometeorológicas

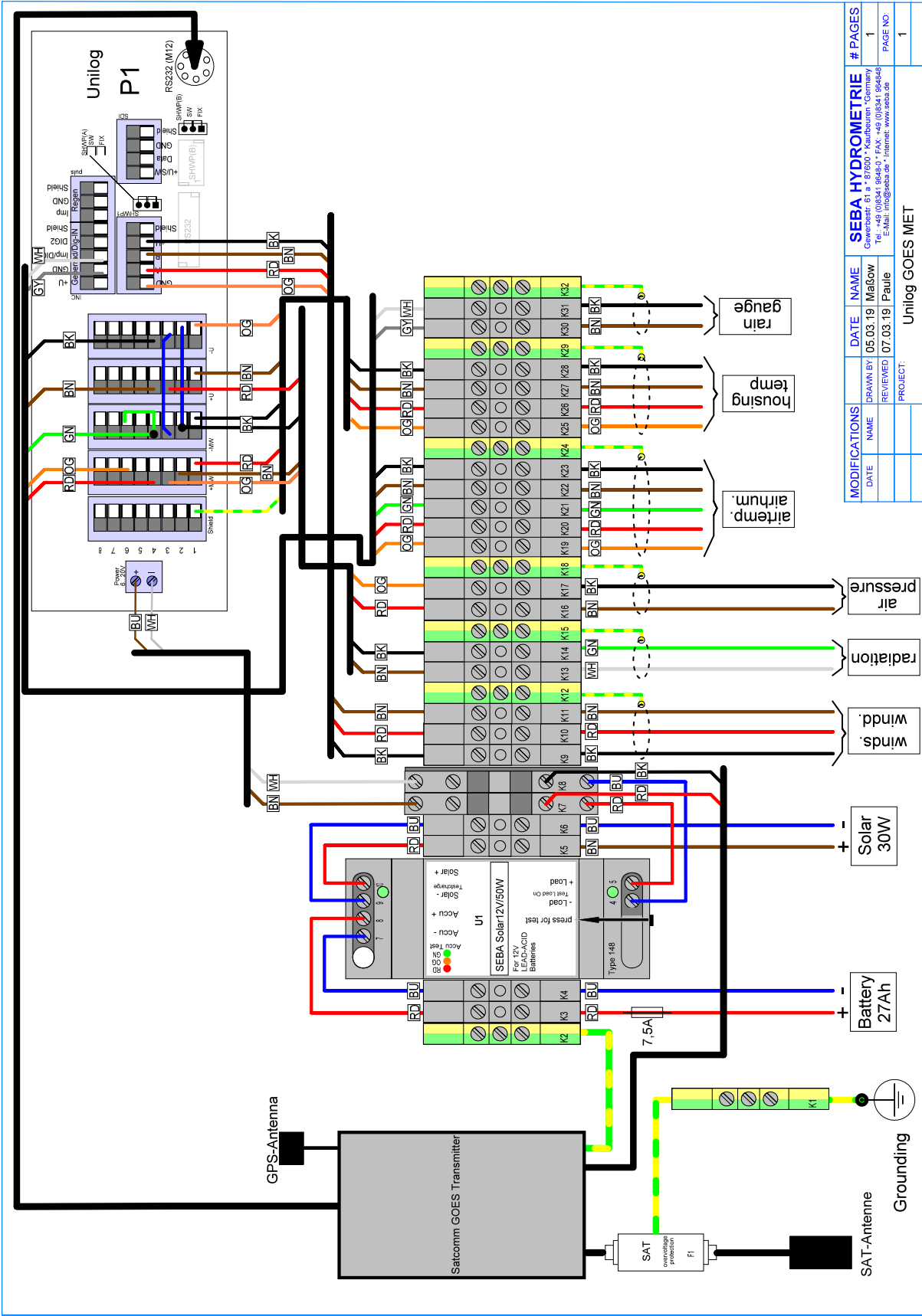
Estado	Y	X	Tipo	Consumo diario de la estación [Wh/día]	HP5	Energía diaria producida por el panel [Wh/día]	Nº de paneles solares estimado	Nº de paneles solares Sun Plus 30W/12V	Potencia total baterías [Wh]	Capacidad total [Ah] (batería 12V)	Modelo batería 12V MEBG12 - X	Intensidad de carga del regulador[A]	Regulador de carga
AMAZONAS	5,06	-65,21	P	24,76	3,54	95,33	0,26	1	182,08	15,17	MEBG12-20	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	3,11	-65,78	C	175,91	3,15	84,82	2,07	2	1,293,49	107,79	MEBG12-110	4,60	MINO V2 12/24V 15A
	2,80	-65,25	C	175,91	3,09	83,21	2,11	2	1,293,49	107,79	MEBG12-110	4,60	MINO V2 12/24V 15A
	5,68	-67,64	HPNS	72,80	3,62	97,48	0,75	1	535,31	44,61	MEBG12-50	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	3,15	-65,86	HPNS	72,80	3,17	85,36	0,85	1	535,31	44,61	MEBG12-50	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	9,92	-65,13	P	24,76	4,01	107,98	0,23	1	182,08	15,17	MEBG12-20	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	9,89	-64,53	P	24,76	3,95	106,37	0,23	1	182,08	15,17	MEBG12-20	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	9,72	-64,01	P	24,76	3,71	99,90	0,25	1	182,08	15,17	MEBG12-20	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	7,70	-64,73	HPNS	72,80	3,60	96,94	0,75	1	535,31	44,61	MEBG12-50	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	9,86	-64,35	HPNS	72,80	3,84	103,40	0,70	1	535,31	44,61	MEBG12-50	2,30	MINO V2 12/24V 15A
ANZOÁTEGUI	8,41	-64,39	HPNS	72,80	3,64	98,02	0,74	1	535,31	44,61	MEBG12-50	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	9,88	-64,46	HPNS	72,80	3,78	101,79	0,72	1	535,31	44,61	MEBG12-50	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	9,92	-64,09	HPNS	72,80	3,81	102,60	0,71	1	535,31	44,61	MEBG12-50	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	9,96	-65,17	HPNS	72,80	3,91	105,29	0,69	1	535,31	44,61	MEBG12-50	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	10,15	-64,68	HPNS	72,80	3,84	103,40	0,70	1	535,31	44,61	MEBG12-50	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	10,09	-64,57	HPNS	72,80	3,82	102,86	0,71	1	535,31	44,61	MEBG12-50	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	8,79	-64,64	HRAD	72,80	3,75	100,98	0,72	1	535,31	44,61	MEBG12-50	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	8,90	-64,15	HRAD	72,80	3,78	101,79	0,72	1	535,31	44,61	MEBG12-50	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	9,37	-64,66	HRAD	72,80	3,63	97,75	0,74	1	535,31	44,61	MEBG12-50	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	9,75	-64,02	HRAD	72,80	3,65	98,29	0,74	1	535,31	44,61	MEBG12-50	2,30	MINO V2 12/24V 15A
APURE	9,09	-64,32	HRAD	72,80	3,57	96,13	0,76	1	535,31	44,61	MEBG12-50	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	7,12	-70,77	P	24,76	3,10	83,48	0,30	1	182,08	15,17	MEBG12-20	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	7,00	-67,19	C	175,91	3,11	83,75	2,10	2	1,293,49	107,79	MEBG12-110	4,60	MINO V2 12/24V 15A
	6,17	-69,27	C	175,91	2,90	78,09	2,25	3	1,293,49	107,79	MEBG12-110	6,90	MINO V2 12/24V 15A
	7,89	-67,44	HPNS	72,80	3,08	82,94	0,88	1	535,29	44,61	MEBG12-50	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	7,91	-68,71	HPNS	72,80	3,10	83,48	0,87	1	535,29	44,61	MEBG12-50	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	7,07	-69,50	HPNS	72,80	3,10	83,48	0,87	1	535,29	44,61	MEBG12-50	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	7,58	-67,63	HPNS	72,80	3,13	84,28	0,86	1	535,29	44,61	MEBG12-50	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	7,49	-68,42	HPNS	72,80	3,12	84,02	0,87	1	535,29	44,61	MEBG12-50	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	6,98	-67,40	HPNS	72,80	3,60	96,94	0,75	1	535,29	44,61	MEBG12-50	2,30	MINO V2 12/24V 15A
ARAGUA	7,33	-67,73	HPNS	72,80	3,25	87,52	0,83	1	535,29	44,61	MEBG12-50	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	7,09	-70,74	HPNS	72,80	3,28	88,32	0,82	1	535,29	44,61	MEBG12-50	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	6,52	-67,40	HPNS	72,80	3,17	85,36	0,85	1	535,29	44,61	MEBG12-50	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	9,48	-66,97	P	24,76	4,16	112,02	0,22	1	182,08	15,17	MEBG12-20	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	10,42	-67,23	P	24,76	3,97	106,90	0,23	1	182,08	15,17	MEBG12-20	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	10,37	-67,23	P	24,76	3,95	106,37	0,23	1	182,08	15,17	MEBG12-20	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	10,03	-67,46	P	24,76	3,92	105,56	0,23	1	182,08	15,17	MEBG12-20	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	10,05	-67,67	P	24,76	3,87	104,21	0,24	1	182,08	15,17	MEBG12-20	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	10,00	-67,03	P	24,76	3,87	104,21	0,24	1	182,08	15,17	MEBG12-20	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	10,23	-67,25	P	24,76	3,96	106,63	0,23	1	182,08	15,17	MEBG12-20	2,30	MINO V2 12/24V 15A
ARAGUA	10,16	-67,39	P	24,76	3,94	106,10	0,23	1	182,08	15,17	MEBG12-20	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	10,10	-67,58	P	24,76	3,93	105,83	0,23	1	182,08	15,17	MEBG12-20	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	10,40	-67,29	C	175,91	3,98	107,17	1,64	2	1,293,46	107,79	MEBG12-110	4,60	MINO V2 12/24V 15A
	10,45	-67,77	HRAD	72,80	3,80	102,33	0,71	1	535,29	44,61	MEBG12-50	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	10,09	-67,23	HRAD	72,80	3,86	103,94	0,70	1	535,29	44,61	MEBG12-50	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	9,91	-67,11	HRAD	72,80	3,72	100,17	0,73	1	535,29	44,61	MEBG12-50	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	9,79	-66,97	E	91,27	3,70	99,63	0,92	1	671,13	55,93	MEBG12-65	2,30	MINO V2 12/24V 15A

BARINAS	8,78	-70,10	P	24,76	3,81	102,60	0,24	1	182,06	15,17	MEBG12-20	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	8,91	-70,45	P	24,76	3,80	102,33	0,24	1	182,06	15,17	MEBG12-20	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	8,97	-70,54	P	24,76	3,59	96,67	0,26	1	182,06	15,17	MEBG12-20	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	8,93	-70,18	P	24,76	3,70	99,63	0,25	1	182,06	15,17	MEBG12-20	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	8,52	-70,44	P	24,76	3,67	98,83	0,25	1	182,06	15,17	MEBG12-20	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	8,71	-70,32	P	24,76	3,69	99,36	0,25	1	182,06	15,17	MEBG12-20	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	8,04	-70,03	P	24,76	3,52	94,79	0,26	1	182,06	15,17	MEBG12-20	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	8,50	-70,09	P	24,76	3,66	98,56	0,25	1	182,06	15,17	MEBG12-20	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	8,93	-70,08	C	175,91	3,74	100,71	1,75	2	1.293,46	107,79	MEBG12-110	4,60	MINO V2 12/24V 15A
	8,06	-69,99	HPNS	72,80	3,56	95,86	0,76	1	535,29	44,61	MEBG12-50	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	8,66	-70,25	HPNS	72,80	3,68	99,10	0,73	1	535,29	44,61	MEBG12-50	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	8,51	-68,37	HRAD	72,80	3,62	97,48	0,75	1	535,29	44,61	MEBG12-50	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	8,83	-70,08	HRAD	72,80	3,69	99,36	0,73	1	535,29	44,61	MEBG12-50	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	7,78	-71,24	HRAD	72,80	3,51	94,52	0,77	1	535,29	44,61	MEBG12-50	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	8,38	-70,67	HRAD	72,80	3,57	96,13	0,76	1	535,29	44,61	MEBG12-50	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	8,97	-70,13	HRAD	72,80	3,76	101,25	0,72	1	535,29	44,61	MEBG12-50	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	8,82	-70,07	E	91,27	3,71	99,90	0,91	1	671,13	55,93	MEBG12-65	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	7,31	-61,46	E	91,27	3,78	101,79	0,90	1	671,13	55,93	MEBG12-65	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	8,03	-61,83	E	91,27	3,74	100,71	0,91	1	671,13	55,93	MEBG12-65	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	7,87	-63,00	E	91,27	3,84	103,40	0,88	1	671,13	55,93	MEBG12-65	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	7,12	-65,61	P	24,76	4,00	107,71	0,23	1	182,06	15,17	MEBG12-20	2,30	MINO V2 12/24V 15A
BOLIVAR	7,32	-65,51	P	24,76	3,99	107,44	0,23	1	182,06	15,17	MEBG12-20	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	7,28	-65,79	P	24,76	3,97	106,90	0,23	1	182,06	15,17	MEBG12-20	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	7,87	-62,07	P	24,76	3,82	102,86	0,24	1	182,06	15,17	MEBG12-20	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	6,76	-61,17	C	175,91	3,72	100,17	1,76	2	1.293,46	107,79	MEBG12-110	4,60	MINO V2 12/24V 15A
	6,75	-61,63	C	175,91	3,72	100,17	1,76	2	1.293,46	107,79	MEBG12-110	4,60	MINO V2 12/24V 15A
	8,12	-61,89	C	175,91	3,75	100,98	1,74	2	1.293,46	107,79	MEBG12-110	4,60	MINO V2 12/24V 15A
	8,02	-62,43	C	175,91	3,81	102,60	1,71	2	1.293,46	107,79	MEBG12-110	4,60	MINO V2 12/24V 15A
	7,08	-65,00	HPNS	72,80	3,90	105,02	0,69	1	535,29	44,61	MEBG12-50	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	8,13	-63,53	HPNS	72,80	3,86	103,94	0,70	1	535,29	44,61	MEBG12-50	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	7,65	-66,18	HPNS	72,80	3,83	103,13	0,71	1	535,29	44,61	MEBG12-50	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	8,36	-62,69	HPNS	72,80	3,77	101,52	0,72	1	535,29	44,61	MEBG12-50	2,30	MINO V2 12/24V 15A
	8,15	-63,59	HPNS	72,80	3,72	100,17	0,73	1	535,29	44,61	MEBG12-50	2,30	MINO V2 12/24V 15A

Anexo 3: Planos cableado estación hidrometeorológica

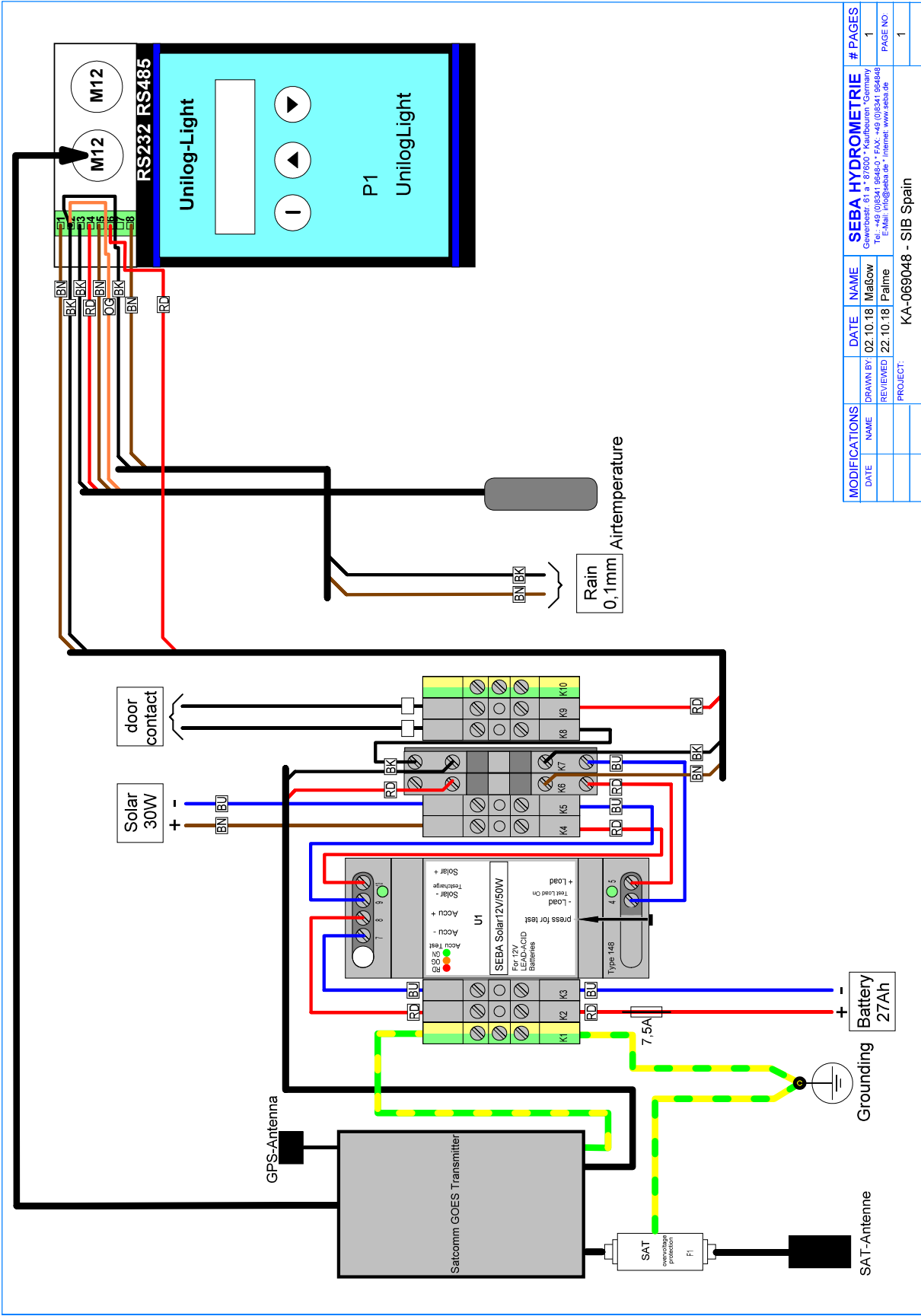
Los planos de cableado que se adjuntan a continuación, han sido facilitados por el fabricante.

Anexo 3.1. Estación Climatológica



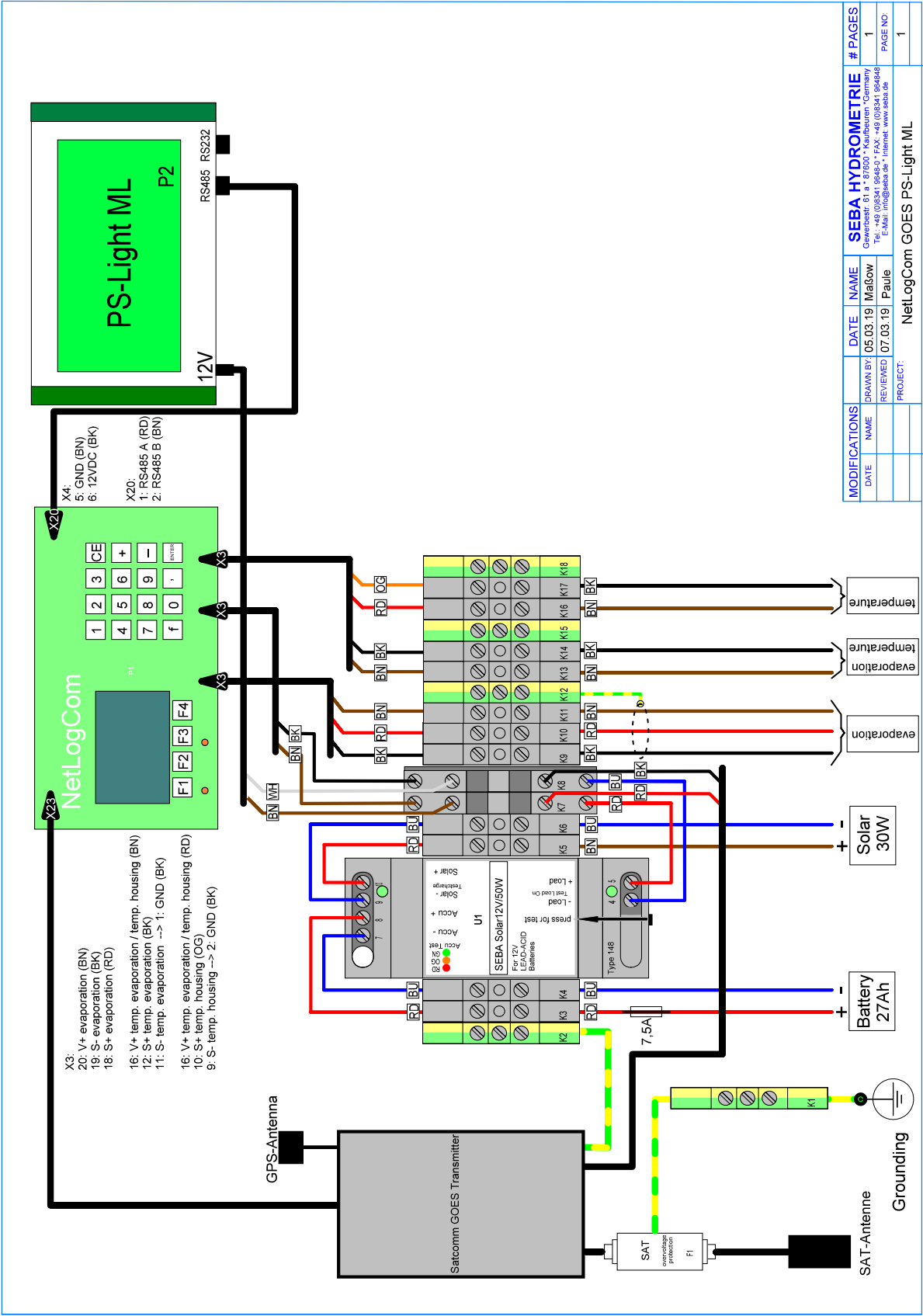
MODIFICATIONS		DATE	NAME	DATE	NAME	SEBA HYDROMETRIE	# PAGES
				05.03.19	Maßow	Gewerbestr. 61 • 87600 • Karlsruhe • Germany Tel.: +49 (0)8341 9848-0 • FAX: +49 (0)8341 984848 E-Mail: info@seba.de • Internet: www.seba.de	1
				07.03.19	Paule		PAGE NO.
						Unilog GOES MET	1

Anexo 3.2. Estación Pluviométrica



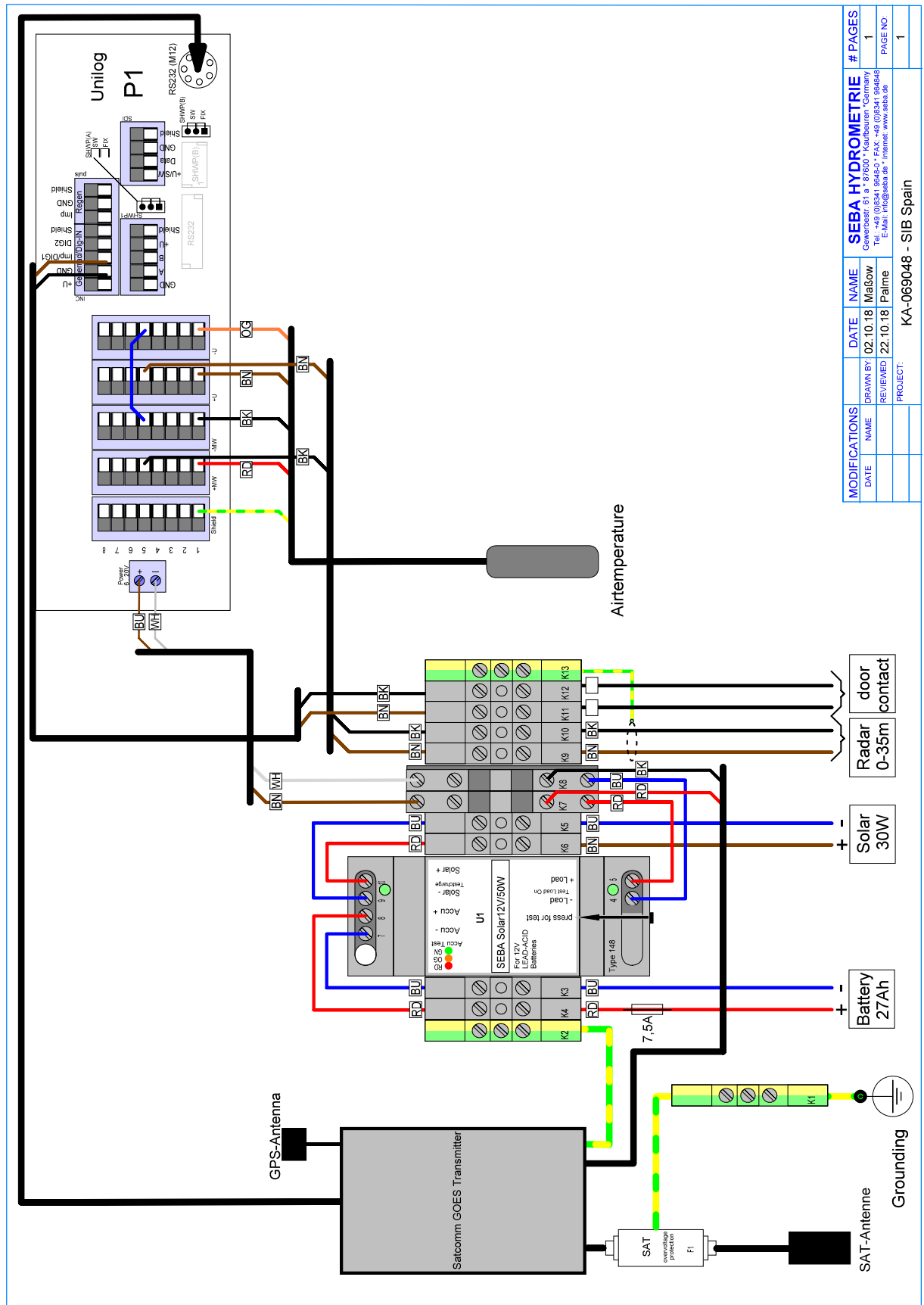
MODIFICATIONS		DATE	NAME	SEBA HYDROMETRIE	# PAGES
DATE	NAME	02.10.18	Maßow	SEBA Hydrometrie	1
DRAWN BY:		02.10.18	Maßow	SEBA Hydrometrie	1
REVIEWED:		22.10.18	Palme	SEBA Hydrometrie	1
PROJECT:		KA-069048 - SIB Spain			1

Anexo 3.3. Estación Hidrométrica



MODIFICATIONS		NAME	DATE	NAME	# PAGES
DATE	NAME	DRAWN BY	05.03.19	Maßow	1
		REVIEWED	07.03.19	Paule	PAGE NO.
		PROJECT:	NetLogCom GOES PS-Light ML		
					1

Anexo 3.4. Estación de Embalse



Bibliografía

- [1] OMM, Organización Meteorológica Mundial, «Qué hacemos,» [En línea]. Available: <https://public.wmo.int/es/nuestro-mandato/qué-hacemos>.
- [2] MM, Organización Meteorológica Mundial, «Especial atención a la urgencia de la acción climática en la reunión preparatoria para la cumbre de las Naciones Unidas,» 2019. [En línea]. Available: <https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/especial-atención-la-urgencia-de-la-acción-climática-en-la-reunión>.
- [3] OMM, Organización Meteorológica Mundial, «El Congreso Meteorológico Mundial aprueba una amplia reforma de la Organización Meteorológica Mundial,» 2019. [En línea]. Available: <https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/el-congreso-meteorológico-mundial-aprueba-una-amplia-reforma-de-la>.
- [4] PHI, Programa Hidrológico Internacional, «Actividades realizadas en el período octubre 2015 - mayo 2017.,» [En línea]. Available: <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Montevideo/images/Pais-Venezuela.pdf>.
- [5] INAMEH, «Antecedentes del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH),» [En línea]. Available: http://www.inameh.gob.ve/web/quienes_somos2/quienes_somos.php.
- [6] BBC News Mundo, «Crisis en Venezuela: 5 claves que explican cómo se ha desarrollado hasta ahora,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-46821723>.
- [7] R. A. Fernandez, «¿Qué pasa realmente con la electricidad en Venezuela?,» 2019. [En línea]. Available: <https://kaosenlared.net/que-pasa-realmente-con-la-electricidad-en-venezuela/>.
- [8] Geografía la guía, «Geografía de Venezuela: generalidades,» 2007. [En línea]. Available: <https://geografia.laguia2000.com/geografia-regional/america/venezuela-generalidades>.
- [9] Mapamundi, «Mapa de Venezuela,» [En línea]. Available: <https://mapamundi.online/america/del-sur/venezuela/>.
- [10] S. F. Estecche, «Los 12 ríos más importantes de Venezuela,» 2018. [En línea].
- [11] La guía , «Venezuela: hidrografía,» 2007. [En línea]. Available: <https://geografia.laguia2000.com/hidrografia/venezuela-hidrografia>.
- [12] SEBA Hydrometrie, Instrucciones para el uso estación tipo AWS, Número de artículo: MET 460X.
- [13] «Qué es un sensor,» [En línea]. Available: https://profesormolina1.webcindario.com/tecnologia/sens_transduct/que_es.htm.

- [14] R. M. White, «A sensor classification scheme,» [En línea]. Available: <http://ijlalhaider.pbworks.com/w/file/etch/64130986/A%20Sensor%20Classification%20Scheme.pdf>.
- [15] Universia, «Clima Venezuela,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.universia.es/estudiar-extranjero/venezuela/salir/clima/4508>.
- [16] Hellermann Tyton, «Definición y Tabla de grado de protección (IP), acorde a DIN EN IEC60529,» [En línea]. Available: <https://www.aprendemergencias.es/app/download/6396825011/resumen+IP.pdf?t=1497548832>.
- [17] F. J. S. S. Roman, «Evapotranspiración. Hidrología,» [En línea]. Available: <http://hidrologia.usal.es/temas/Evapotransp.pdf>.
- [18] J. Industrial, «JM Industrial,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.jmi.com.mx/literatura/blog/item/11-data-logger-que-es.html>.
- [19] EcuRed, «Transmisión de datos,» [En línea]. Available: https://www.ecured.cu/Transmisi%C3%B3n_de_datos.
- [20] Sana Ambiente, «Sistema de comunicación satelital GOES,» [En línea]. Available: <https://www.sanambiente.com.co/index.php/es/sistemas-de-comunicacion/45-comunicacion-satelital-goes>.
- [21] Campbell Scientific , «¿Que es el SDI-12?,» [En línea]. Available: <https://www.campbellsci.es/faqs?v=78>.
- [22] ONULEC Material Eléctrico, «Antenas,» [En línea]. Available: <https://www.onulec.com/tienda/65-antenas>.
- [23] R. A. Hernández, «¿Qué pasa realmente con la electricidad en Venezuela?,» 2019. [En línea]. Available: <https://kaosenlared.net/que-pasa-realmente-con-la-electricidad-en-venezuela/>.
- [24] Wikipedia, «Horas de sol pico,» 2018. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Hora_solar_pico.
- [25] E. Commission, «Photovoltaic Geographical Information System, Interactive Tool,» [En línea]. Available: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html.
- [26] Aplicaciones Tecnológicas de protección contra rayo, «El 32 por ciento de los daños en parques fotovoltaicos están causados por el rayo,» 2019. [En línea]. Available: <https://at3w.com/empresa/noticias/el-32-por-ciento-de-los-danos-en-parques-fotovoltaicos-estan-causados-por-el-rayo/s33c510>.
- [27] Phoenix Contact, «Protección contra sobretensiones. Soluciones para todas las aplicaciones.».
- [28] Ministerio de industria, energía y turismo, «Guía técnica de aplicación: Protección de instalaciones interiores. Guía-BT-23,» 2012, p. 9.
- [29] Sun Fields Europe, «Efecto de las sombras en un panel solar fotovoltaico,» [En línea]. Available: <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/efecto-de-las-sombras-en-un-panel-solar-fotovoltaico/>.

- [30] EcuRed, «Comunicación por Satélite,» [En línea]. Available: https://www.ecured.cu/Comunicaci%C3%B3n_por_Sat%C3%A9lites#Modelos_de_enlace_del_sistema_satelital.
- [31] Precisión digital, «De Regreso a lo Básico: Los Fundamentos de los Lazos de Corriente de 4-20 mA.,» [En línea]. Available: <https://www.predig.com/whitepaper/de-regreso-lo-b%C3%A1sico-los-fundamentos-de-los-lazos-de-corriente-de-4-20-ma>.
- [32] O. Weis, «¿Qué es RS485? Guía de comunicación RS485,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.eltima.com/es/article/rs485-communication-guide/>.
- [33] Nanotec, «La utilización del puerto serial RS 232,» 2017. [En línea]. Available: <http://www.nanotec.es/la-utilizacion-del-puerto-serial-rs-232/>.
- [34] CCM, «Conector DB9,» [En línea]. Available: <https://es.ccm.net/contents/176-conector-db9>. [Último acceso: 2019].
- [35] NEO, Networking and Emerging Optimization, «Medios de transmisión,» [En línea]. Available: <http://neo.lcc.uma.es/evirtual/cdd/tutorial/fisico/Mtransm.html>.
- [36] J. L. Martínez, «Zonas de Fresnel en un radioenlace,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.prored.es/blog/radio-enlace/zonas-de-fresnel-en-un-radioenlace/>.
- [37] Satélites y comunicaciones, «Ventajas y desventajas de los satélites geosíncronos,» 2010. [En línea]. Available: <http://satelitesycomunicaciones.blogspot.com/search/label/12%20Ventajas%20y%20desventajas%20de%20los%20sat%C3%A9lites%20geos%C3%ADncronos>.
- [38] B. Vera, «Diferencia entre inversiones MPPT y PWM,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.efimarket.com/blog/diferencia-entre-inversores-mppt-y-pwm/>.
- [39] C. Venezuela, «Universia,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.universia.es/estudiar-extranjero/venezuela/salir/clima/4508>.