GEULMóvil

Proyecto y desarrollo de una aplicación original para satisfacer los requerimientos de la asignatura "Proyecto de Grado" del Instituto de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería

Abril 2012 – Agosto 2013
Montevideo, Uruguay

Estudiantes:

Carlos A. BRIOZZO

Freddy KUGELMASS

Eduardo PERI

Director del Proyecto:

Prof. Ing. Franco SIMINI

RESUMEN

El proyecto GEULMóvil es una respuesta a la necesidad de contar con datos precisos sobre la radiación ultravioleta (UV) en el territorio uruguayo, a consecuencia de la preocupación por el aumento de la incidencia de cáncer de piel detectada por clínicos universitarios. La iniciativa fue recogida y desarrollada por el Núcleo de Ingeniería Biomédica en el Hospital de Clínicas. El objetivo de GEULMóvil es recoger la información de radiación ultravioleta a través del índice UV en un dispositivo móvil a ser colocado en ómnibus interdepartamentales, vehículos particulares o trenes. Esta información se envía a un servidor central el cual debe poder definir las zonas y horarios con mayor riesgo de enfermedades debido a la exposición a dicha radiación. Se busca también generar un banco de datos de radiación UV a lo largo del tiempo. Para ello se desarrolla un prototipo con funcionalidades para recoger y enviar datos geolocalizados de radiación UV, los cuales se exponen en un sitio web que permite concientizar sobre la necesidad de tomar precauciones ante la exposición a este tipo de radiación y de los problemas que esta conlleva. El prototipo es portátil y fácil de utilizar pero a su vez cuenta con funcionalidades suficientes para ser expandido, permitiendo generar información de utilidad en epidemiología y salud pública.

AGRADECIMIENTOS

Nos gustaría agradecer en primer lugar al Ing. Franco Simini, orientador del Proyecto de Grado, por su invalorable apoyo a lo largo del Proyecto. Agradecerle por su constante asistencia, así como también por hacerse siempre un tiempo entre sus ocupaciones.

En segundo lugar al NIB, por la propuesta de este proyecto así como de las instalaciones necesarias para el desarrollo del mismo.

A su vez, quisiéramos agradecer a nuestros jefes y compañeros de trabajo que siempre nos brindaron su apoyo y nos dieron flexibilidad para poder enfrentar este desafío

Un especial agradecimiento a Gabriela Barbeito y Luciana Urruty por sus colaboraciones con el proyecto.
A Gonzalo Abal y los integrantes del GMARS así como a Laura Landin y Martha Delgado.

Finalmente, un agradecimiento a nuestras familias y amigos, por entendernos y acompañarnos a lo largo del Proyecto, atravesando momentos de alegría así como también momentos de cansancio y frustración.

… a todos ustedes ¡MUCHAS GRACIAS!

TABLA DE CONTENIDO

1 Prologo 9

2 Objetivo General 11

3 Alcance 13

4 Introducción 15
4.1 Motivación del proyecto 15
4.2 Conceptos generales 16

5 Estado del arte 27
5.1 Radiación UV en tierra a través de satélites 27
5.2 Medidas de radiación UV en tierra vs estimativas satelitales. 27
5.3 Detección 28

6 Arquitectura y Diseño 31
6.1 Modelado 31
6.2 Funcionalidades de cada bloque 31

7 Hardware 59
7.1 Microprocesador 59
7.2 Modem 61
7.3 Adquisición 69
7.4 Circuito Integrado – Conversor TTL/RS232 80

8 Alimentación 81
8.1 Consideraciones de diseño y consumo 81
8.2 Calculo Teórico del Consumo del Sistema 81

9 Documentación de software 87
9.1 Módulos programados 88

10 Pruebas 93
10.1 Arduino 93
10.2 GPS 96
10.3 Comunicaciones 104
10.4 Sensor UV 105
10.5 Pruebas del algoritmo de envío de datos uv 119

11 Incertidumbre asociada al instrumento. 127
11.1 Introducción 127
11.2 Cálculo de Incertidumbre a partir de la curva relevada. 127
11.3 Consideraciones sobre la presentación de la incertidumbre. 130

12 Costos 133
12.1 Materiales 133
12.2 Servicios 134
12.3 Horas Hombre 137
12.4 Costo Final 139
12.5 Reducción de Costos 139

13 CONCLUSIONES Y trabajo A futuro 141
13.1 trabajo A futuro 141
13.2 Conclusiones 144

14 Bibliografía 145

15 Referencias 151
15.1 INDICE DE TABLAS 151
15.2 INDICE DE FIGURAS 152

A. ANEXOS 157
A.1. detalle de la Estimación de la INCERTIDUMBRE. 157
A.1.1. Incertidumbre debido a la medida de voltaje 157
A.1.2. Incertidumbre debido a los efectos de la temperatura. 157
A.1.3. Incertidumbre asociada al error del 3% declarado. 159
A.1.4. Incertidumbre de asociada al error del coseno. 160
A.1.5. Efecto del Housing 168
A.1.6. EFECTO DEL POLVO 169
A.1.7. Estimación del ángulo del sensor respecto a la horizontal. 170
A.1.8. Modelo matemático de la radiación medida en una superficie inclinada. 171
A.1.9. Incertidumbre asociada al relevamiento de la prueba del 27.6 177
A.1.10. Impacto de la incertidumbre en la presentación al público del índice ultravioleta. 178
A.2. Estimación del ángulo de inclinación de las rutas en Uruguay. 185
A.3. CODIGO MATLAB- ERROR POR COSENO 187
A.4. CODIGO MATLAB- Efecto de la incertidumbre en la presentación de UVI 189
A.5. Módulos de Software 191
A.7. Código que procesa una línea, si es un mensaje GPRMC 219
A.8. Comandos AT 223
A.9. PRUEBAS EXTRAS DE UV. 225
A.9.1. Construcción del par emisor-receptor infrarrojo para simular un sensor analógico de ultravioleta. 225
A.9.2. Comparacion entre dos sensores manuales 227
A.11.1. Introducción 237
A.12. Medidas Experimentales del Consumo del Sistema 239
A.13. Relevamiento Curva Sensor UV - Código Matlab – Experimento 1 247
A.14. Relevamiento Curva Sensor UV - Código Matlab – Experimento 2 (27/6/2013) 249
A.15. Propuesta de un nuevo algoritmo para enviar datos. 253
A.15.1. Introducción 253
A.15.2. Consideraciones sobre la estadística e incertidumbre de os datos obtenidos: 253
A.16. Análisis probabilístico de los algoritmos de envío propuestos 257
A.16.1. Sección 1: Introducción 257
A.16.2. Simulaciones realizadas 258
A.16.3. Conclusiones 260
A.17. Consideraciones sobre cuando apagar el aparato 263
A.18. Base Magnética Sensor UV 265
A.19. Problemas Surgidos a lo Largo del Proyecto 267
A.19.1. Idioma 267
A.19.2. Tiempos de respuesta 267
A.19.3. Problemas específicos: placa de comunicaciones y GPS 267
A.19.4. Sensor UV 268

A.20. Armado de la caja. 271
A.21. Manual del usuario 273
A.21.1. Condiciones de energía. 273
A.21.2. Consumo 273
A.21.3. Frente 273
A.21.4. Conexiones 274

1 PROLOGO

Este documento es la propuesta del Proyecto de Grado presentada como requisito parcial para la obtención del título de Ingeniero Electricista.

El mismo pretende describir la investigación, desarrollo y posterior construcción de GEULMÓVIL. El anterior es un dispositivo de medición de radiación ultravioleta (UVR), que mediante una plataforma de conectividad brindará los datos necesarios para la realización de Mapas UV en el territorio nacional.

El documento comienza analizando la importancia de conocer estas mediciones y el impacto positivo que genera en una sociedad el conocer los mismos. Una breve descripción del proyecto es presentada así como el alcance final.

Luego se detallan algunas definiciones básicas de términos o conceptos relativos al tema de estudio para un mejor entendimiento del desarrollo posterior. Resulta vital para la construcción de cualquier dispositivo conocer el estado del arte a nivel mundial, es por esto que este documento continúa con el estudio del mismo sobre el tema en cuestión.

Posteriormente se detallan las decisiones de diseño. La arquitectura del dispositivo, así como sus diversas funcionalidades ocupan un capítulo de esta memoria. A partir de este diseño de analizan las decisiones que llevan a la elección del hardware adecuado para cumplir con las especificaciones anteriores.

Una vez finalizada la infraestructura física, se continúa con la conectividad del dispositivo. Se describen las opciones consideradas y su correspondiente implementación de la solución escogida y su correspondiente justificación.

A continuación se describen los casos de uso así como las pruebas realizadas para verificar el correcto funcionamiento del dispositivo construido, y una correcta comunicación de datos.

2 OBJETIVO GENERAL

El objetivo de esta investigación es el desarrollo de GEULMÓVIL, dispositivo que comprende una estación móvil de medida de radiación UV (UVR), a ser montado en medios de transporte carretero y locomotoras, o eventualmente en lugares fijos de interés.

Se desea implementar dicho sistema para poder contar con los valores de UV en todo el territorio nacional en tiempo real para poder informar a la población de los posibles daños ocasionados por tal exposición, siendo ésta uno de los problemas más importantes a resolver.

3 ALCANCE

El alcance del proyecto es el diseño, implementación y prueba de GEULMÓVIL, dispositivo móvil de recolección de datos capaz de geolocalizarlos y de enviarlos a un servidor. En particular, se detectará el índice de radiación UV (UVI) en cualquier punto del territorio aprovechando la cobertura de la telefonía celular para transmitir los datos a un servidor para su posterior procesamiento. Éste procesamiento mencionado será efectuado por GEULMAPA, grupo que se encarga de generar un MAPA de radiación UV del territorio nacional.

4 INTRODUCCIÓN

4.1 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

La sociedad está preocupada por las consecuencias que la radiación ultravioleta tiene sobre la salud humana, animal y las alteraciones en el reino vegetal. Fueron documentadas en numerosos estudios las asociaciones entre un aumento de exposición UV y las incidencias mayores de neoplasmas de piel, la degeneración esferoidal de la córnea o "queratopatía del labrador", y estudios sobre la mayor incidencia de cataratas en regiones más soleadas y tropicales que en zonas más templadas.

Hay estudios que asocian el carcinoma espinocelular[1] de la conjuntiva con la exposición a las radiaciones UV, así como lesiones tumorales pigmentarias, melanosis adquirida primaria y el melanoma maligno. A su vez, altas dosis de radiación UV han probado tener efectos negativos en el fitoplancton con el potencial efecto afectar también a la fauna marina.
En agricultura el conocimiento de los ciclos de radiación UV es una ayuda para la planificación racional de cultivos y de cosechas. Asimismo, se sabe que las mismas especies crecen en forma distinta si son expuestas a mayor radiación UV desde las primeras etapas de crecimiento.

Los mapas de radiación UV actualmente disponibles parten mayoritariamente de observaciones indirectas. Los satelitales artificiales (NOAA en órbita polar, TOMS en EarthProbe o BUAP, por ejemplo) miden la cantidad de ozono. Estas medidas se combinan con los datos de temperatura y presión a distintas alturas de la atmósfera para predecir el escudo de ozono. Con los datos sobre el escudo de ozono, y el ángulo cenital solar de ese día, se aplica un modelo matemático para calcular las irradiancias en las longitudes de onda UV-A y UV-B. Estas irradiancias se ponderan según el espectro de acción eritematógeno y se produce un índice, que se ajusta luego según la elevación sobre el nivel del mar. A este valor se le aplica luego un modelo de probabilidad de nubosidad para estimar la transmisión de la radiación.

Son muchas las áreas de impacto directo de este proyecto. Disponer de una estimación local del índice de radiación UV (UVI) beneficiaría por ejemplo a las empresas y entes estatales vinculados al turismo. Con este tipo de datos, podrían tomarse decisiones respecto a playas, recintos, hoteles, etc., basándose en los índices estimados a partir de mediciones directas. En el ambiente laboral, las normativas que regulan la dosis diaria de UVI son cada vez más comunes a lo largo del mundo. Otros ámbitos que aprovecharía esta información son los relacionados a la ganadería y agricultura.

El universo de posibilidades es aún mayor en un escenario donde las mediciones y/o estimaciones, estuvieran accesibles vía web o algún otro medio de comunicación directa. De esta manera se pueden generar mapas en tiempo real, de la evolución del índice UV en todo el territorio nacional.

Esto es posible de lograr, dado que existe en Uruguay una buena cobertura de la red de telefonía celular y de comunicación de datos, entre las más densas de Latinoamérica.

4.2 CONCEPTOS GENERALES

4.2.1 RADIACIÓN UV

4.2.1.1 DEFINICIÓN

Se denomina radiación ultravioleta o radiación UV a la radiación electromagnética cuya longitud de onda está comprendida aproximadamente entre los 400nmy los 15nm. Su nombre está dado porque su rango empieza desde longitudes de onda más cortas de lo que los humanos identificamos como el color violeta.

4.2.1.2 EFECTOS EN LA SALUD

Este tipo de radiación puede ser producida por los rayos solares y produce varios efectos en la salud. [2]

Los fotones que llegan a la superficie de la Tierra y tienen más energía, provenientes de la superficie del Sol, corresponden a la radiación ultravioleta. Es por este motivo que pueden producir acciones biológicas de importancia, relativas a la salud humana. Estas acciones pueden ser positivas: en cantidades pequeñas, son esenciales para la producción de vitamina D. Sin embargo, la exposición excesiva está relacionada con varios daños: quemaduras de piel, cataratas, y varios tipos de cáncer cutáneo.

Las alteraciones a la piel incluyen:

- Melanoma maligno cutáneo: cáncer maligno de la piel potencialmente mortal.
- Carcinoma espinocelular: cáncer maligno que generalmente avanza con menor rapidez que el melanoma y ocasiona la muerte con menor frecuencia.
- Carcinoma basocelular: cáncer cutáneo de crecimiento lento que predomina en las personas mayores.
- Fotoenvejecimiento: pérdida de la firmeza de la piel y aparición de queratosis solares.

4.2.1.3 FACTORES QUE INFLUENCIAN AL UVI

La intensidad de la radiación se ve influenciada por muchos aspectos[3]:

- La elevación del sol: cuanto más alto está el sol en el cielo, mayor es la intensidad de las radiaciones ultravioleta.
- Latitud: cuanto más cerca se está del ecuador, más intensas son las radiaciones ultravioleta.
- Protección de las nubes: la radiación ultravioleta es más intensa cuando el cielo está despejado, pero puede ser considerable aun cuando el cielo esté nublado.
- Altitud: la intensidad de la radiación ultravioleta aumenta 5% por cada 1000 metros de altitud.
- Capa de ozono: este gas absorbe una parte de las radiaciones ultravioleta del sol. A medida que la capa de ozono se adelgaza, aumenta la cantidad de radiaciones ultravioleta que llegan a la superficie terrestre.
- Reflexión por el suelo: muchas superficies reflejan los rayos del sol y aumentan la exposición general a las radiaciones ultravioleta (por ej., el césped, la tierra y el agua reflejan menos de 10%: la nieve recién caída, hasta 80%; la arena seca de las playas, 15%; y la espuma del mar, 25%).

Nombre	Abreviación	Longitud de onda (nm)	Energía por fotón (eV)
Ultravioleta cercano	NUV	400 – 200	3,10 – 6,30
Onda larga	UVA	400 – 320	3,10 – 3,87
Onda media	UVB	320 – 280	3,87 – 4,43
Onda corta	UVC	283 - 200	4,43 – 6,20
Ultravioleta lejano	FUV, VUV	200 – 10	6,20 - 124
Ultravioleta extremo	EUV, XUV	91,2 – 1	13,6 – 1240

Tabla 1Tipos de rayos ultravioleta[4]

4.2.2 ÍNDICE UV

Internacionalmente se ha definido un índice, el Índice UV (UVI) relativo a la acción eritémica (enrojecimiento de la piel humana) de esta radiación. Este índice es una medida de la intensidad de la radiación UV sobre la superficie de la Tierra. Su valor es siempre positivo, a partir de 0, y en la medida de su incremento, aumenta la posibilidad de producir las lesiones indicadas en piel y vista. Este índice puede medirse directamente o calcularse en base a modelos matemáticos. La expresión del índice UVI está basada en un espectro de referencia para el eritema, creado por la Comisión Internacional sobre Iluminación. La CIE[**5**] se reúne año a año y publica recomendaciones sobre la exposición a la radiación, considerando que los niveles de radiación UV varían según la latitud y la época del año. [6]

El UVI es un número relacionado linealmente con la irradiación que llega a la superficie de la tierra en algún punto. No está relacionado sencillamente con la irradiación (potencia sobre unidad de superficie medida en W/m^2) por varios motivos. Del espectro total de luz ultravioleta, en gran medida las longitudes de onda más pequeñas son absorbidas antes por la atmósfera terrestre. Concerniente al daño, las longitudes de onda altas son las más significativas. Para tener en cuenta ambos efectos, la potencia espectral de los rayos UV medidas en watts por metro cuadrado por nanómetro de longitud de onda se pondera con una curva de ponderación conocida como la curva de McKinlay-Diffey de acción del espectro para el eritema[7].

Este coeficiente de acción eritemática en función de la longitud de onda, $\varepsilon(\lambda)$, establecido por McKinlay y Diffey, es máximo a partir de los 0.280 μm y va decreciendo conforme aumenta la longitud de onda, como se ve en la siguiente gráfica[8]:

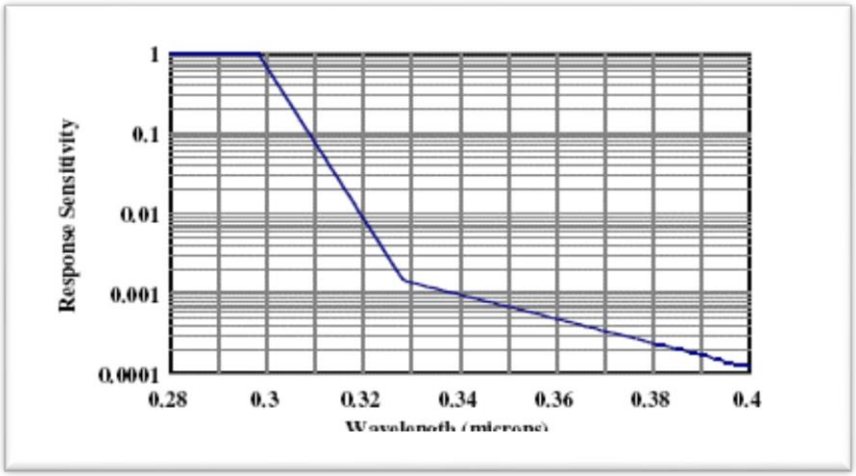


Figura 1 Gráfica logarítmica del coeficiente de acción eritemática [9]

$$UVI = K_{err} \int_{250nm}^{400nm} E_{\lambda} S_{er}(\lambda)\, d\lambda$$

Donde:
K_{err} *: constante igual a 40 m²/W*
E_{λ}*: irradiancia espectral solar*
$S_{er}(\lambda)$*: espectro de acción de referencia para el eritema*

El UVI se mide en el plano horizontal, sin embargo las personas reciben la exposición desde toda dirección, y además hay que considerar que el Sol tiene un movimiento aparente en la bóveda celeste.
Ya que el índice y su representación variaban dependiendo del lugar, la Organización Mundial de la Salud junto con la Organización Meteorológica Mundial, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y la Comisión Internacional de Protección contra la Radiación no Ionizante publican un sistema estándar de medición del índice UV y una forma de presentarlo al público incluyendo un código de colores asociado[**10**].

CATEGORÍA DE EXPOSICIÓN	INTERVALO DE VALORES DEL IUV
BAJA	< 2
MODERADA	3 A 5
ALTA	6 A 7
MUY ALTA	8 A 10
EXTREMADAMENTE ALTA	11+

Tabla 2Categorías de exposición a la radiación UV

4.2.3 FUENTES DE RADIACIÓN UV

A nivel terrestre, la fuente protagonista de la incidencia fundamental de los rayos UV es el Sol, y en un muy rezagado segundo lugar, las lámparas fluorescentes.

Debido al uso omnipresente de las lámparas fluorescentes compactas (CFL)[11], han aparecido estudios y recomendaciones gubernamentales respecto a su uso y ubicación. Estudios sobre el uso típico de lámparas

fluorescentes indican que el estar sentado en una oficina típica debajo de las luces fluorescentes por 8 horas continuas equivale a un minuto de exposición solar[12]. En el Reino Unido, se recomienda no estar más cerca que a 30cm de una lámpara CFL por más de una hora[13]. También existen estudios que relacionan la exposición a lámparas CFL y los síntomas asociados al envejecimiento de la piel y al daño celular en general[14].
En particular, se recomienda el uso de lámparas CFL con doble envoltura. Estas lámparas tienen una cobertura que simula una lámpara tradicional opalina. Sin embargo, la cobertura sirve para bloquear la mayor parte de la radiación UV emitida[15].

4.2.4 MÁS RECURSOS SOBRE RADIACIÓN UV

Se dio un panorama general sobre la radiación UV. Dada su importancia, una gran cantidad de organizaciones internacionales realizan reuniones recomendaciones y documentos, con decenas de autores expertos en el área. Cabe destacar las dos siguientes, como documentos guías en el tema:

- Desde el punto de vista introductorio, recomendatorio y divulgativo, el Índice UV Solar Mundial: Guía Práctica.

Es una recomendación conjunta de la Organización Mundial de la Salud, la Organización Meteorológica Mundial, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio ambiente y la Comisión Internacional de Protección contra la Radiación no Ionizante. El documento se encuentra en línea y en forma de documentación de fácil lectura.

- Desde el punto de vista tecnológico y científico: el Scientific Assessment of Ozone Depletion. El Scientific Assessment of Ozone Depletion es un documento de la ONU que se realiza cada cuatro años.

Es un documento de carácter mucho más técnico que resume las conclusiones halladas por la comunidad científica en los cuatro anos entre publicación y publicación en el área referente al agujero de la capa de ozono. Posee cientos de citaciones, así como decenas de recursos webs relevantes.

Las últimas ediciones incluyen un capítulo dedicado a los aspectos referentes a la medición, modelos y física relacionada a la radiación UV. En la versión 2006 “Surface Ultraviolet Radiation: Past, Present and Future” y en la edición 2010, el capitulo “Stratospheric Ozone and Surface UV”.

4.2.5 GPS

El GPS es un sistema de posicionamiento global. En la actualidad, los receptores GPS son baratos y abundantes, permitiendo tener un sistema de posicionamiento económico y poderoso.

4.2.5.1 HISTORIA

El GPS se hizo disponible en 1978 con el lanzamiento exitoso de NAVSTAR1, el primero de cuatro satélites lanzado ese año, que crearon un sistema de navegación satelital operable para los militares en Estados Unidos. En 1982 los rusos lanzaron su propio sistema llamado GLONASS.

Cada satélite de la constelación consta de 4 relojes atómicos que operan en un nivel de error de un segundo en 3 millones de años. Este grado de precisión es imprescindible para que cada satélite funcione en forma independiente pero se mantenga sincronizado. Los códigos de los satélites están basados en el tiempo de llegada de una señal, no de posición o velocidad.

4.2.5.2 FUNCIONAMIENTO

Estos satélites, cuya ubicación es conocida en todo momento, transmiten una señal única centrada en dos frecuencias de las bandas L1 en 1575.42MHz y L2 en 1227.60 MHz En el caso militar, se usan ambas bandas, en el caso civil sólo una. El receptor toma la diferencia entre el tiempo en que fueron transmitidas y el tiempo en que se recepcionaron, y se multiplica ese tiempo por la velocidad de transmisión, hallando la distancia a que se encuentra el receptor del satélite.

El GPS funciona mediante una red de 24 satélites en órbita sobre el planeta Tierra, a 20.200 km, con trayectorias sincronizadas para cubrir toda la superficie de la Tierra. Cuando se desea determinar la posición, el receptor que se utiliza para ello localiza automáticamente como mínimo tres satélites de la red, de los que recibe unas señales indicando la identificación y la hora del reloj de cada uno de ellos. Con base en estas señales, el aparato sincroniza el reloj del GPS y calcula el tiempo que tardan en llegar las señales al equipo, y de tal modo mide la distancia al satélite mediante "triangulación" (método de trilateración inversa), la cual se basa en determinar la distancia de cada satélite respecto al punto de medición.

Suponiendo a la Tierra como una esfera perfecta, y sabiendo en qué posición se realizó la transmisión, esa distancia determina una esfera en el espacio con centro en el satélite y radio la distancia hallada. Conociendo la distancia a un segundo satélite, se determina una segunda esfera. La intersección de esas esferas es una circunferencia, y el receptor se encuentra en algún punto de ella. Con un tercer satélite se determina una tercera esfera,

que corta a la circunferencia en dos puntos. Con cuarto satélite se determina en la mayor parte de los casos la posición del receptor. En el caso del AGPS (Asisted GPS), se toma un dato de geolocalización aproximado de la red celular, y normalmente ese dato basta para eliminar uno de los dos puntos, en el caso de tres satélites.

Figura 2 Geolocalización 1

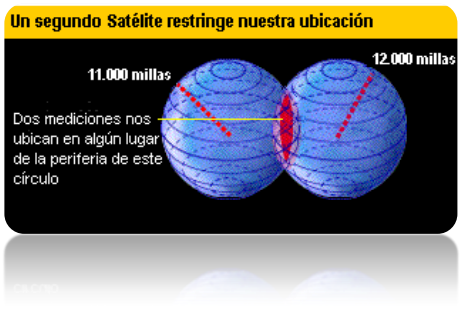


Figura 3 Geolocalización 2

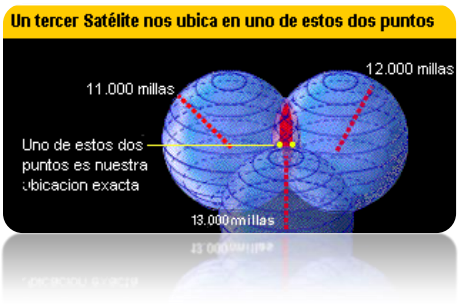


Figura 4 Geolocalización 3[16]

En estas frecuencias, las microondas son altamente direccionales, pero pueden ser fácilmente bloqueadas y también reflejadas por objetos sólidos y superficies acuáticas. Las nubes son fácilmente penetradas, pero la señal puede ser bloqueada por follaje tupido o húmedo[17].

La señal irrestricta contiene un código C/A (CoarseAcquisition), el mismo es una secuencia determinística que permite identificar que satélite es el que está transmitiendo la información. Cada satélite emite una única secuencia, que no se corresponde con ningún otro satélite. Es decir estos códigos son altamente ortogonales entre sí mismos. Utiliza una forma de CDMA que permite a todos los satélites transmitir en la misma frecuencia y ser perfectamente identificables.

Para medir el tiempo de viaje de la señal, el receptor debe sincronizarse con la señal del satélite. Supongamos el receptor de GPS, por un lado, y el satélite, por otro, generan una señal auditiva en el mismo instante exacto. Si se tuviera un micrófono al lado del receptor

de GPS, captaría ambas señales.

Estas señales estarían desfasadas. Una de ellas se capta inmediatamente, la generada por el receptor GPS y la otra con cierto atraso, proveniente del satélite, porque tuvo que recorrer alrededor de 20.000 km para llegar hasta el micrófono. Ambas señales no están sincronizadas.

Para saber cuál es la magnitud de la demora de la señal proveniente del satélite se puede retardar la emisión de la señal del receptor de GPS hasta lograr la perfecta sincronización con la señal que viene del satélite.

El tiempo de retardo necesario para sincronizar ambas señales es igual al tiempo de viaje de la señal proveniente del satélite. Supongamos que sea de 0.06 segundos. Conociendo este tiempo, se lo multiplica por la velocidad de la luz y se obtiene la distancia hasta el satélite[18]. Se transmiten dos series de datos conocidas como ALMANAQUE y EFEMERIDES. Los datos ofrecidos por el almanaque y las efemérides informan sobre el estado operativo de funcionamiento del satélite, su situación orbital, la fecha y la hora. La precisión de los sistemas depende mucho de las condiciones meteorológicas, pero se llega a sistemas con menos de tres metros de precisión [11].

Originalmente, habían dos señales: la militar y la civil. En la civil se introducía un error randómico, pero en Mayo del 2000 el presidente Bill Clinton ordenó quitar ese error de la señal civil. Actualmente, la señal militar consta de dos bandas, y la civil de una. Teniendo dos bandas, el GPS militar puede hacer correcciones ionosféricas, una técnica que reduce el error causado por la atmósfera terrestre. Actualmente se está modernizando la red civil agregando la segunda banda, de forma de tener la corrección ionosférica.

La efemérides, o posición orbital, se utiliza para calcular la posición exacta en la que se encontraba el satélite al momento del inicio del mensaje.

Cada satélite es actualizado típicamente cada 24 horas.

Cuando se desea determinar la posición de un receptor, éste localiza automáticamente como mínimo tres satélites de la red, de los que recibe señales que contienen la identificación y la hora del reloj de cada uno de ellos. Basado en estas señales el receptor sincroniza el reloj del GPS y calcula el tiempo que tardan en llegar las señales al equipo. Luego triangula la distancia al satélite y calcula entonces la posición relativa respecto a los tres satélites. Conociendo además las coordenadas o posición de cada uno de ellos por la señal que emiten, se obtiene la posición absoluta o coordenadas reales del punto de medición.

4.2.5.3 Mensajes provenientes de los Satélites GPS

La información relativa a la posición del satélite y la red vienen en el llamado Mensaje de Navegación. El mismo consta básicamente de 3 partes: la primera contiene fecha, hora, status y salud del satélite. La segunda la información relativa a la órbita llamada

efemérides. Y la última es el almanaque, que abarca la información sobre todos los satélites, sus ubicaciones así como su identificador. En cada trama se emite solamente una veinticincoava parte del almanaque total, lo que significa que el receptor necesita 12.5 minutos para obtener el almanaque completo de un solo satélite.

La estructura del mensaje es una trama de 1.500 bits, la cual está dividida en 5 subtramas cada una de 300 bits. Cada una es transmitida a 50 bit/s, lo cual indica que cada una demora 6 segundos. Todas las subtramas contienen la información de la hora del GPS.

Cada subtrama está dividida en 10 palabras. La primera es la de TELEMETRIA (TLM), la cual permite al receptor detectar el inicio de una subtrama y determina la hora de inicio de cada una en el mismo. La siguiente palabra es la HANDOVER (HOW) la cual indica el tiempo en cual será transmitida la siguiente subtrama.

4.2.5.4 SINCRONIZACIÓN

Si todo fuera perfecto (es decir que los relojes y los receptores GPS lo fueran), entonces todos los rangos (distancias) a los satélites se intersectarían en un único punto (que indica la posición). Pero con relojes imperfectos, una cuarta medición, efectuada como control cruzado, NO intersectará con los tres primeros.

De esa manera la computadora del receptor del GPS detectará la discrepancia y atribuirá la diferencia a una sincronización imperfecta con la hora universal.

Dado que cualquier discrepancia con la hora universal afectará a las cuatro mediciones, el receptor buscará un factor de corrección único que siendo aplicado a sus mediciones de tiempo hará que los rangos coincidan en un solo punto.

Dicha corrección permitirá al reloj del receptor ajustarse nuevamente a la hora universal y de esa manera es como tener un reloj atómico en el propio receptor GPS.

Una vez que el receptor de GPS aplica dicha corrección al resto de sus mediciones, se obtiene un posicionamiento preciso.

Una consecuencia de este principio es que cualquier GPS decente debe ser capaz de sintonizar al menos cuatro satélites de manera simultánea. En la práctica, casi todos los GPS en venta actualmente, acceden al menos a más de 6, y hasta a 65 satélites simultáneamente.

El receptor satelital Venus tiene 65 canales, por lo que puede acceder simultáneamente a 65 satélites[19].

4.2.6 GPRS

El servicio general de paquetes vía radio (GPRS, 'General Packet Radio Service') es una

extensión del Sistema Global para Comunicaciones Móviles (GSM, 'Global System for Mobile Communications') para la transmisión de datos no conmutada (o por paquetes). Existe un servicio similar para los teléfonos móviles que del sistema IS-136. Permite velocidades de transferencia de 56 a 144 Kbps.

Una conexión GPRS está establecida por la referencia a su nombre del punto de acceso (APN, 'Access Point Name'). Con GPRS se pueden utilizar servicios como Wireless Application Protocol (WAP) , servicio de mensajes cortos (SMS, 'Short Message Service'), servicio de mensajería multimedia (MMS, 'Multimedia Messaging System'), Internet y para los servicios de comunicación, como el correo electrónico y la World Wide Web (WWW).Para fijar una conexión de GPRS para un módem inalámbrico, un usuario debe especificar un APN, opcionalmente un nombre y contraseña de usuario, y muy raramente una dirección IP, todo proporcionado por el operador de red. La transferencia de datos de GPRS se cobra por volumen de información transmitida (en kilo o megabytes), mientras que la comunicación de datos a través de conmutación de circuitos tradicionales se factura por minuto de tiempo de conexión, independientemente de si el usuario utiliza toda la capacidad del canal o está en un estado de inactividad. Por este motivo, se considera más adecuada la conexión conmutada para servicios como la voz que requieren un ancho de banda constante durante la transmisión, mientras que los servicios de paquetes como GPRS se orientan al tráfico de datos. La tecnología GPRS como bien lo indica su nombre es un servicio (Service) orientado a radio enlaces (Radio) que da mejor rendimiento a la conmutación de paquetes (Packet) en dichos radio enlaces.

El acceso al canal utilizado en GPRS se basa en divisiones de frecuencia sobre un dúplex y TDMA ('Time Division Multiple Access'). Durante la conexión, al usuario se le asigna un canal físico, formado por un bloque temporal en una portadora concreta. Ese canal será de subida o bajada dependiendo de si el usuario va a recibir o enviar datos. Esto se combina con la multiplexación estadística en el dominio del tiempo, permitiendo a varios usuarios compartir el mismo canal físico, ya sea de subida o de bajada. Los paquetes tienen longitud constante, correspondiente a la ranura de tiempo del GSM. El canal de bajada utiliza una cola FIFO para los paquetes en espera, mientras que el canal de subida utiliza un esquema similar al de ALOHA con reserva. En resumen, se utiliza un sistema similar al ALOHA ranurado durante la fase de contención, y TDMA con una cola FIFO durante la fase de transmisión de datos.

La conmutación al ser por paquetes permite fundamentalmente la compartición de los recursos radio. Un usuario GPRS sólo usará la red cuando envíe o reciba un paquete de información. Todo el tiempo que esté inactivo podrá ser utilizado por otros usuarios para enviar y recibir información. Esto permite a los operadores dotar de más de un canal de comunicación sin miedo a saturar la red, de forma que mientras que en GSM sólo se ocupa un canal de recepción de datos del terminal a la red y otro canal de transmisión de datos desde la red al terminal, en GPRS es posible tener terminales que gestionen cuatro canales simultáneos de recepción y dos de transmisión.

Permite velocidades de transferencia moderadas mediante el uso de canales libres con multiplexación por división de tiempo, como por ejemplo el sistema GSM. En un principio se pensaba extender el GPRS de forma que cubriera otros estándares, pero en lugar de eso se están reconvirtiendo las redes de forma que utilicen el estándar del GSM. De esta manera, las únicas redes en las que el GPRS se utiliza actualmente son las redes GSM.

El primer estándar de GPRS se debe al European Telecommunications Standards Institute (ETSI).

En la teoría, el GPRS original soportaba los protocolos IP y P2P, así como las conexiones del X25, aunque este último se eliminó del estándar. En la práctica se utiliza IPv4, puesto que IPv6 aún no tiene implantación suficiente y en muchos casos los operadores no lo ofrecen. Para asignar la dirección IP se utiliza DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol), por lo que las direcciones IP de los equipos móviles son casi siempre dinámicas.

Desde el punto de vista del operador de telefonía móvil, es una forma sencilla de migrar la red desde GSM a una red UMTS ('Universal Mobile Telecommunications System') puesto que las antenas (la parte más cara de una red de telecomunicaciones móviles) sufren sólo ligeros cambios y los elementos nuevos de red necesarios para GPRS serán compartidos en el futuro con la red UMTS.

Los sistemas móviles de segunda generación (2G), combinados con la tecnología GPRS reciben a menudo el nombre de 2.5G, o de segunda generación y media. Esta nomenclatura se refiere al hecho de que es una tecnología intermedia entre la segunda (2G) y tercera (3G) generación de telefonía móvil.

TECONOLOGIA	DWN (Kbit/s)	UP (Kbit/s)	TDMA *Timeslots allocated (DL+UL)*
CSD	9.6	9.6	1+1
HSCSD	28.8	14.4	2+1
HSCSD	43.2	14.4	3+1
GPRS	80.0	20.0 (Class 8 & 10 and CS-4)	4+1
GPRS	**60.0**	**40.0 (Class 10 and CS-4)**	**3+2**
EGPRS (EDGE)	**236.8**	**59.2 (Class 8, 10 and MCS-9)**	**4+1**
EGPRS (EDGE)	177.6	118.4 (Class 10 and MCS-9)	3+2

Tabla 3 Comparativo Tecnologías Móviles[20]

5 ESTADO DEL ARTE

5.1 RADIACIÓN UV EN TIERRA A TRAVÉS DE SATÉLITES

Para conocer la radiación UV en un punto de la Tierra, no siempre es necesario contar con un dispositivo en el lugar. Existen otros métodos para calcularla, utilizando datos del terreno. En [**21**] se explica una forma de generar mapas que muestren la radiación ultravioleta. Se basa en una tabla que contiene el *ángulo cenital solar*[i], la cantidad de ozono, el espesor de la nube, la visibilidad horizontal en la superficie, la elevación y el albedo (porcentaje de radiación que una superficie refleja respecto a la que recibe), en distintos puntos del planeta, y la información se interpola para poder dibujar el mapa. También utiliza los satélites METEOSAT para tener información acerca de la nubosidad y la atenuación que ejercen sobre la radiación ultravioleta, y también realiza excepciones al calcular zonas con nieve. Es decir que, en lugar de utilizar datos captados desde la superficie (como los captados por GEULMÓVIL), se calculan en cada punto (píxeles en el mapa). Luego, se pueden utilizar medidas obtenidas en la superficie, en puntos estáticos, para comparar con los resultados calculados, y realizar, en caso que sea necesario, algún tipo de modificación que haga más precisos los datos.

El método descripto realiza un cálculo teórico de la radiación ultravioleta, mediante datos brindados por satélites. Una de las ventajas que esto presenta es que se puede prescindir de dispositivos que recorran constantemente el territorio recabando información. El problema en cuanto a este proyecto, si se quisiera adaptar a Uruguay, es que los datos son gestionados por la European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites (EUMETSAT), que es una organización europea que maneja satélites meteorológicos, como METEOSAT. Es decir, que este proyecto permite realizar un mapa de radiación ultravioleta para Europa.

Este proyecto se podría adaptar al entorno sudamericano, o uruguayo en particular, gracias a otros satélites que brindan información de radiación ultravioleta a nivel mundial. Este es el caso de los Geostationary Operational Environmental Satellites (GOES), manejados por el estado de Estados Unidos. En particular, el satélite GOES 12 o GOES-M es el que ofrece datos a nivel sudamericano.

Similar es el caso de un proyecto español de la Universidad de Granada, que utiliza METEOSAT para obtener datos de radiación en cielo despejado, y luego, mediante fuentes meteorológicas, modela el resultado. También compara los resultados obtenidos con los calculados en tierra por estaciones en Granada y Almería, que son los lugares físicos donde se quiere calcular la radiación. Es un proyecto más simple que el anterior, ya que no muestra los datos en mapas, sino que sólo los calcula como datos puntuales. Esto también hace que no se necesite interpolación de los datos.

5.2 MEDIDAS DE RADIACIÓN UV EN TIERRA VS ESTIMATIVAS SATELITALES.

Las estimaciones por satélite de UVI, requieren una gran cantidad de variables atmosféricas para dar buenos resultados. Para algunas de esas variables, a la fecha no se poseen buenos modelos matemáticos ni su física está del todo caracterizada. [**22**]

[i] Ángulo Cenital Solar en un Punto: Es el ángulo entre la línea imaginaria al cenit en el punto, y la línea desde el punto al Sol.

En el informe "**Measurements of UV irradiance within the area of one satellite pixel**" [23]muestra el resultado de una campaña realizada en Viena, en 2007 para comparar las medidas de UVI satelitales y compararlas con seis estaciones en un radio de 30km, que equivalen al área de un pixel satelital.
Se encontró que para condiciones de nubosidad escasa o severa, hubo discrepancias de hasta un 200% entre las medidas de tiempo real y los modelos, aunque el promedio es del 30%.
Si bien en días despejados, el promedio de discrepancia baja al 5%, se sabe que el UVI, tiene el potencial de causar grandes riesgos a la salud humana y sorprendentemente ser hasta un 25% mayor que en condiciones de cielo despejado mediante un mecanismo conocido como "cloud enhancement". En un artículo de divulgación cuya lectura se recomienda y señala aun mas estudios que apoyan lo anterior, se menciona como los modelos satelitales suelen fallar en estos casos[**24**].
Anecdóticamente, hay sociedades, como en la ciudad de Kyoto, que se encuentran tan concientizadas sobre este hecho, que algunas personas extranjeras se sorprenden al ver a los habitantes con grandes sombreros protectores durante los días nublados de verano.

5.3 Detección

Existen varias tecnologías disponibles para la detección y cuantificación de la radiación ultravioleta. La siguiente lista no es exclusiva pero detalla las más relevantes para el proyecto.

5.3.1 El ojo

El ojo humano es ciego a la radiación UV. Esto se debe a que el cristalino filtra los rayos UV. De acuerdo con estudios, el límite de percepción para el ojo humano es de alrededor de 436 nm[25]. La Afakia, o ausencia del cristalino debido a defecto congénito o a consecuencia de una operación por cataratas, desprovee al ojo de esa protección. Anecdóticamente, hay indicios de que en estas condiciones, el ojo puede percibir la radiación UV[26][27][28].

5.3.2 Materiales sensibles a la radiación UV

También existen pulseras que son sensibles a la radiación UV: estas pulseras están creadas de polímeros que cambian de color en función de la radiación recibida. Están constituidas por dos sistemas planos conjugados, ortogonales uno con otro. Cuando la luz UV excita al átomo de carbono central, las dos partes forman una conjugada en los planos. La molécula resultante es suficientemente grande como para absorber luz de cierta longitud de onda. El calor corporal, junto con la ausencia de radiación UV las vuelve a su estado original. Con este material se han creado pulseras[29] que ayudan a tener una noción de la radiación UV a la que se está expuesto[30][31].
Los rollos de película fotográfica tradicionales son sensibles a la radiación UV hasta una longitud de onda de alrededor de 350 nm[32]. Es por eso que tradicionalmente se utiliza un filtro UV en la fotografía profesional: de otra forma, se retratarían colores que no vemos.

5.3.3 Medidores portátiles

Actualmente, para la medición del índice UV existen tanto sensores como dispositivos de mano completos que miden directamente la radiación solar. Estos dispositivos de bolsillo tienen inherentemente la dificultad de la posición al medir, por cuanto el UVI se mide en posición horizontal.

Los hay desde sensores de mano[33] [Figura 5] de 5 dólares que miden e indican el índice UV instantáneo. Como se dijo, son bastante sensibles al ángulo con que se ponen respecto al Sol. Fueron probados midiendo tomando una medida de radiación directa, y otra detrás de un vidrio común de 4mm. En este caso, la lectura bajó, por lo que se pudo concluir que efectivamente medían la radiación UV y no solamente la luz solar visible. También hay kits para realizar pruebas elementales o no tanto[34] [Figura 6].

Figura 5 Sensor UV Digital

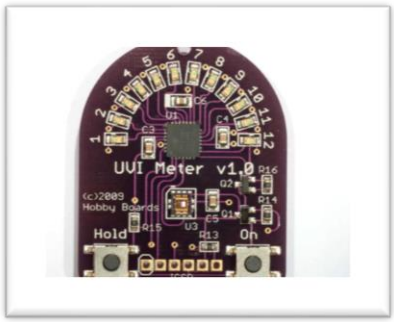


Figura 6 Sensor UV Placa

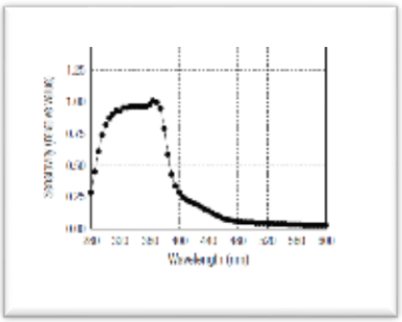


Figura 7 Sensibilidad de Espectro

Este modelo usa un sensor OKI ML8511[35][Figura 7], uno de los primeros sensores UV para el uso en medidores portátiles. No posee una ventana de filtro, y se pudo comprobar que responde a un cierto porcentaje de luz solar, por lo que lo aleja de la curva del eritema.

Figura 8 Sensor UV Oregon Scientific

Oregon Scientific también provee de medidores de mano[36] [Figura 8], de bajo costo (unos 35 dólares). No se obtuvo respuesta sobre el sensor utilizado.

5.3.4 Espectroradiométros y Radiómetros Multifiltro de Banda Limitada.

Los espectroradiómetros son, al día de hoy la fuente más confiable de mediciones de radiación ultravioleta en la superficie terrestre. Estos miden la radiación solar para cada frecuencia, son capaces de implementar la ecuación integral que define al índice ultravioleta de manera directa. También existen los llamados radiómetros multifiltros de banda limitada *(Narrowband Multifilter Radiometers)*, que disponen de varios canales con anchos de banda entre 2nm y 10nm.

Ambos tipos de espectro radiómetros son instrumentos de precisión y alto costo, cuyo precio suele ser del orden de los miles de dólares, lo cual los hace inadecuados para este proyecto. No nos extenderemos, en ellos, pero el lector interesado puede encontrar una introducción más extensa, junto a una gran cantidad de recursos bibliográficos en las referencias [**37**][**38**]

5.3.5 RADIÓMETROS DE BANDA ANCHA.

Se les suele llamar así a los instrumentos que miden la radiancia integrada sobre un amplio rango de longitudes de onda. Los fabricantes los entregan limitados al rango de UV A, B, C y combinaciones, inclusive disponiéndose de sensores calibrados en la curva estándar del eritema definida por la Commision Internationale de l'Eclairage (CIE).

Este tipo de sensores, de bajo costo, y facilidad de operación desde operaciones remotas [Nunez, 2002: Hicke, 2004; Kimlin 2005], son ideales para la aplicación en mente y han estado en continuo por periodos mayores a cualquier otro tipo de instrumento de medida de UV.

5.3.5.1 ASPECTOS TECNOLÓGICOS.

Hoy en día se realizan en SiC, carburo de silicio o carborundo. Es un material semiconductor que sirve tanto para hacer fotodiodos como foto-detectores. Tienen una respuesta espectral de entre 210 y 380 nm y no son sensibles a radiación fuera de esta región, por lo que los hace un material ideal para medir radiación UV porque no se requiere de un bloqueo adicional para luz visible o infrarroja como sucedía con otros detectores hechos con otros materiales. Han demostrado experimentalmente una gran estabilidad a largo plazo frente a altísimos niveles de radiación (más de 1000Wm^2), y una gran estabilidad frente a la temperatura, con operaciones a largo plazo de más de 150°C.[39]

Los sensores que se consiguen actualmente, incluso vienen con un preamplificador compensado en temperatura en el rango de funcionamiento del sensor, y con salida en tensión o en corriente.

6 ARQUITECTURA Y DISEÑO

6.1 MODELADO

La Figura 9 ilustra los distintos elementos y módulos que comprenden el diseño del prototipo.

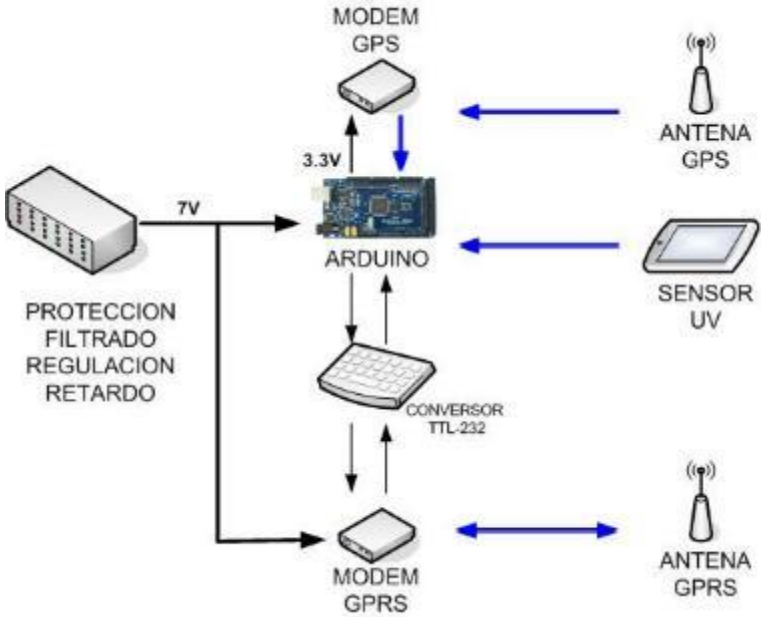


Figura 9 Esquemático de Diseño

Se organizó el diseño del hardware en cuatro módulos: microprocesador, adquisición, módem de comunicación y protección de voltaje. Para el microprocesador se escogió un Arduino. Es quien comanda a los dos sensores externos los cuales son un sensor UV y un Módem GPS. Es también quien, conversor TTL-232 mediante, controla el Módem de comunicación encargado de enviar los datos al servidor central. El cuarto módulo bien diferenciado en el diseño es el circuito que conecta a la entrada, la batería que alimenta toda la caja y los módulos mencionados anteriormente. Este circuito cumple las siguientes funciones: protección, filtrado, regulación y retardo.

6.2 FUNCIONALIDADES DE CADA BLOQUE

6.2.1 MICROPROCESADOR

Para la elección de la plataforma de hardware, fueron identificados los parámetros de interés en el diseño de nuestro sistema. Dado que la decisión involucra muchísimas variables, se tomo un enfoque sistemático para efectuar la decisión[**40**].

A continuación se pasan a dictar los parámetros que fueron tenidos en cuenta.

6.2.1.1 REQUERIMIENTOS FUNCIONALES

6.2.1.1.1 PERFORMANCE

- Frecuencia de reloj
- Arquitectura del CPU
    - Ancho de bit
    - Instrucciones disponibles
    - Grado de paralelismo
    - Periféricos integrados

6.2.1.1.2 Rango Funcional

- Memoria y/o área de chip
    - Estática
    - Dinámica
- Capacidad de Entrada/Salida
- Capacidades de abstracción
    - Abstracción de HW
    - Jerarquía

6.2.1.2 Requisitos no funcionales

6.2.1.2.1 Confiabilidad.

- Robustez
- Confiabilidad
- Seguridad

6.2.1.2.2 Modificabilidad.

- Mantenibilidad
- Adaptabilidad
    - Respecto a funcionalidades adicionales
- Escalabilidad
    - Respecto al número de señales
- Configurabilidad

6.2.1.2.3 Reusabilidad.

- Familia de dispositivos.
- Capacidades de abstracción:
    - Abstracción de Hardware
    - Jerarquía

6.2.1.2.4 Testeabilidad

- Soporte de debugging
- Capacidad de Entrada/Salida

6.2.1.3 Factores productivos

6.2.1.3.1 Proceso de desarrollo.

- Esfuerzo general de desarrollo.
  - i. Debe minimizarse el tiempo de desarrollo.
- Experiencia del equipo de desarrollo.
  - i. ¿El equipo de desarrollo tiene expertos en la plataforma?
- Soporte externo para el diseño.
  - i. ¿Existe soporte suficiente para el hardware y el software?
  - ii. Contempla calidad de herramientas disponibles, newsgroups, hotlines y ejemplos de implementación.

6.2.1.3.2 Costo

- Costo del HW.
  - i. De la plataforma en sí.
  - ii. De la integración física en el sistema.
  - iii. Notar que para una producción a gran escala, este factor es importantísimo.
- Costo de ambiente de desarrollo.
  - i. Compilador, simulador, herramientas de debugging.
  - ii. HW de programación y debugging.

6.2.1.3.3 Disponibilidad del Hardware.

  - iii. A corto y largo plazo
  - iv. Si no se cumple esto, la migración debe ser fácil.

6.2.1.3.4 Cualidades físicas del sistema.

- Espacio de montaje.
- Consumo energético

De los parámetros presentados anteriormente, se seleccionaron aquellos de mayor importancia en la aplicación en mente, y se les dio un peso relativo según la importancia del requerimiento.

Basados en la metodología sugerida en las referencias, se construye la tabla siguiente, que le da un ranking cuantitativo de 0 (malo) a 3 (muy bueno) a los requisitos de interés para cada una de las plataformas consideradas.

6.2.1.4 Opciones manejadas para la arquitectura de la unidad central.

A. ***Micro-controlador.***
B. ***Micro-controlador pequeño + CPLD***
C. ***FPGA tamaño mediano.***
D. ***DSP***
E. ***Computador embebido***

Requerimiento	Peso Relativo	A	B	C	D	E
Performance	**1**	2	2	3	2	3

Adaptabilidad	**2**	1	2	2	1	3
Escalabilidad	**3**	1	2	3	3	1
Testeabilidad	**3**	2	1	3	2	3
Costo	**3**	2	1	2	1	1
Tiempo desarrollo	**4**	3	1	0	0	3
q	**3**	3	0	1	0	2
Espacio montaje	**2**	2	0	2	2	1
Consumo energético	**2**	2	1	0	2	0
TOTAL		48	24	38	30	44

Tabla 4 Comparativo de Opciones Unidad Central

Con los factores tenidos en cuenta en la tabla anterior, puede verse que las opciones más convenientes resultarían ser un computador embebido y un micro-controlador mediano.

Se decidió utilizar la plataforma Arduino (micro-controlador onboard) pues teniendo en cuenta el análisis anterior, más alguna variable menor se consideró entonces que es la opción más ventajosa.

Además, basados en la documentación de proveedores sobre el manejo de los módulos de comunicaciones, y en proyectos existentes en los que se manipulaban señales con características físicas similares se estima que la performance de este sistema será suficiente.

6.2.2 ADQUISICIÓN

El módulo de adquisición es el que se encarga del sensado del índice ultravioleta (UVI) o de la información necesaria para calcular el mismo. Es también el encargado de recopilar los parámetros del GPS que nos brinda dicho módulo.

En caso de medir el UVI, éste se toma directamente del sensor. En caso de medir la radiación, hay que realizar la integral de la radiación de interés, modificada por la curva del eritema. Esta alternativa implica el uso de "ventanas" que permitan pasar únicamente la radiación interesante, o el uso de otros sensores específicos a la radiación que se quiere eliminar a los efectos de restarla y así obtener la medida requerida.

6.2.2.1 ADQUISICION UV

Con las posibilidades actuales, y considerando las dificultades inherentes al calibrado de los sensores con la curva del eritema, la búsqueda del sensor se centró en hallar un sensor de razonable bajo costo, en un empaque resistente a la intemperie, calibrado con la curva del eritema, pre amplificado y compensado en el momento de su fabricación.

Dado que no se tenían conocimientos previos sobre el tema, se adquirieron 3 medidores UVI de bajo costo [Figura 5]. Esto se realizó con el fin de familiarizarse con este tipo de instrumentos.

Se realizaron mediciones de radiación directa e indirecta. Cuando se interpusieron superficies traslucidas, como vidrio, se registró una medida menor dada la absorción del material. Cuando se coloco el sensor bajo unos lentes de sol certificados con filtro UV la medida fue cero.

Las pruebas se comenzaron durante los meses invernales, lo cual derivó en mediciones bajas con valores entre 1 y 2 UVI en el horario del medio día. Por este motivo se retomaron las pruebas en primavera, donde la variación de valores resultaba notoria.

La [Figura 10] muestra la evolución del UVI en un día donde se nubló luego del mediodía.

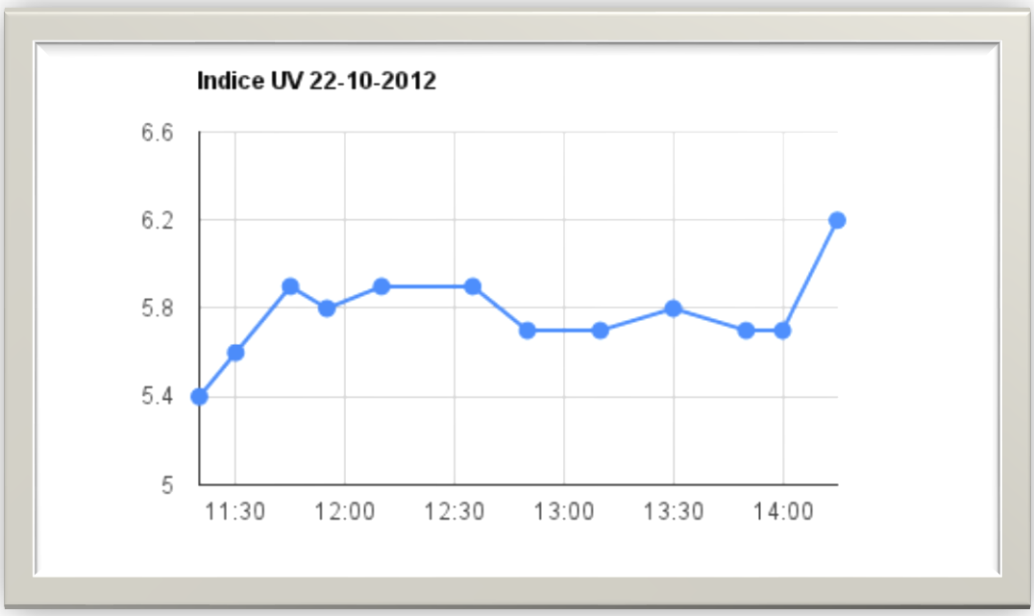


Figura 10 Evolución UVI

Como método de verificación de los datos obtenidos, se consultó un sitio web que cuenta con un algoritmo de previsión de índice UVI para el territorio nacional [Figura 11][41]. Al comparar los datos censados con los obtenidos del sitio web, se puedo constatar una leve desviación entre los datos. La misma se debió a la presencia de una creciente nubosidad, y por lo tanto se entendieron los datos recabados por el sensor como fidedignos para los objetivos en mente.

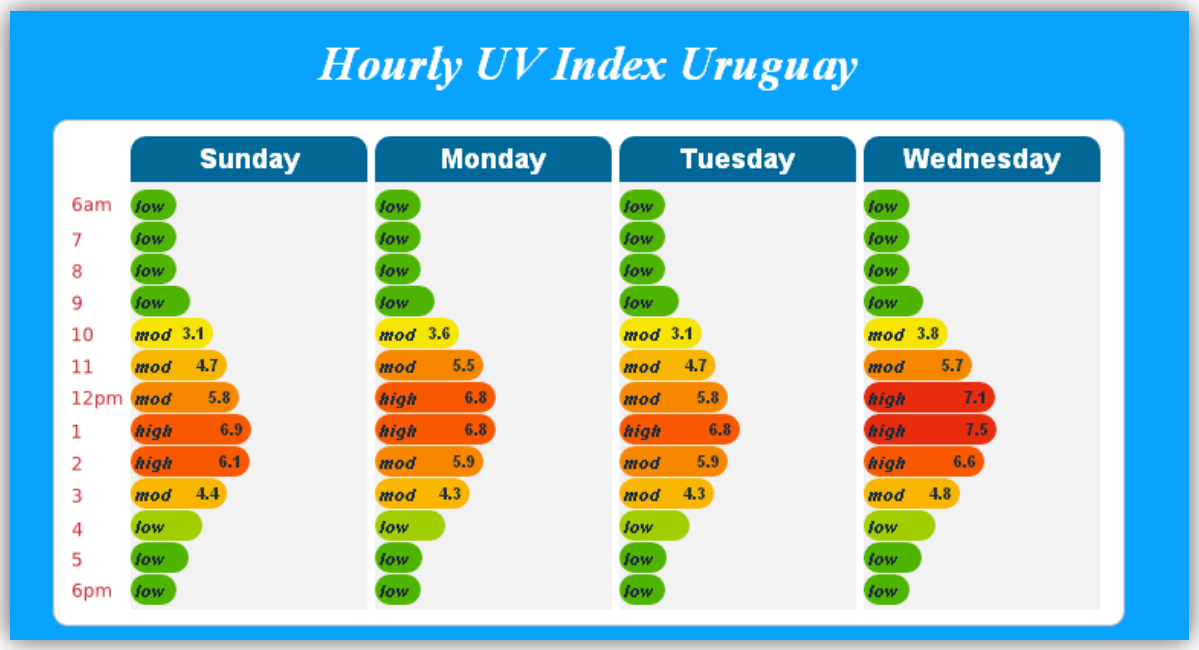


Figura 11 Evolución UVI Uruguay por Hora

Del estudio de las medidas obtenidas se desprende:

- El valor UVI, en ausencia de nubes, sigue aproximadamente una curva tipo gaussiana, centrada en el mediodía.
- La influencia de las nubes en la medida del índice por estos dispositivos no es despreciable.
- Se determina una influencia en el ángulo de incidencia de los rayos solares en el dispositivo medidor.

Dicho estudio experimental se corresponde con la amplia literatura existente en el tema sobre la variación diaria de la radiación UV y los parámetros que en ella indicen, particularmente la nubosidad.

Se concluyo que, para la exitosa realización de este proyecto no es necesario tomar medidas en intervalos de tiempo de pocos segundos. En tanto no se recorra una distancia considerable, resulta más costo efectivo realizar un muestreo durante un intervalo de tiempo predefinido. Una vez obtenidos todos los datos, se envía la información de la geolocalización de principio y fin, junto con el valor máximo registrado.

6.2.2.1.1 ALGORITMO DE MEDIDA

A los efectos de familiarizarnos con las medidas de UVI, adquirimos 3 medidores de índice UV de bajo costo. El mismo está basado en un sensor OKI ML8511-00FCiii (actualmente la empresa se llama LAPIS Semiconductor).

El estudio previo de las medidas de UVI nos indica que el índice es susceptible a cambios en la nubosidad.

Tuvimos en cuenta distintas alternativas:

- Muestrear y enviar cada un tiempo corto, ejemplo 1s.
- Registrar máximo y mínimo de UVI así como geolocalización de inicio y fin.
- Promediar los datos en cierta ventana de tiempo, por ejemplo 5 minutos.

Para este estudio preliminar consideramos que no tiene sentido mandar cada tiempos mucho menores a 5 minutos, ni tampoco mayores a una hora , como se recomienda en
Un día promedio primaveral no nublado obtuvimos los siguientes datos:

Hora	Índice UV
08:00	0,5
09:00	1,5
10:00	4,5
11:00	5,2
12:00	6
13:00	6,2
14:00	5,5
14:40	4,7
15:00	3,7

Tabla 5 Índice UV por Hora

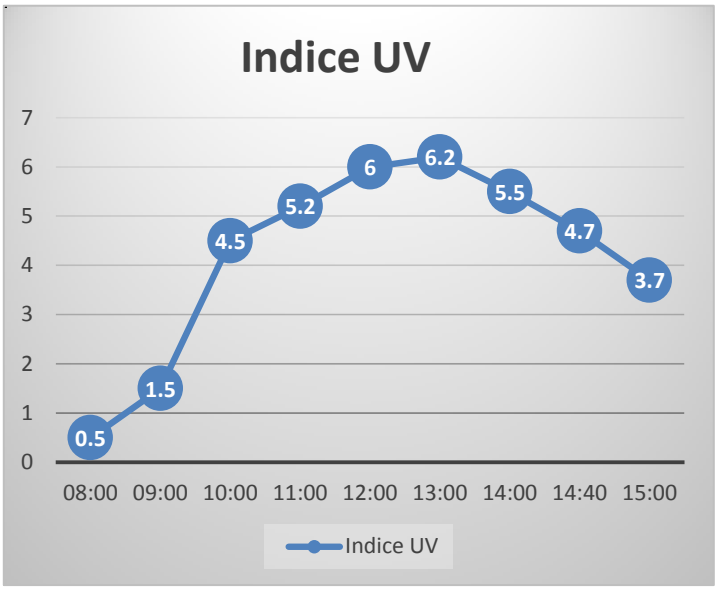


Tabla 6 Gráficamente responde a una curva de Gauss

Como se desprende de la gráfica, en un día típico la forma del índice UV se parece a una campana de Gauss.

Para estar seguros del intervalo tomamos medidas cada 5 minutos durante varios días. En un típico día parcialmente nublado de primavera obtuvimos las siguientes medidas:

Hora	I-UV	Nubosidad
12:35	7,2	Baja
12:40	7,1	Baja

Hora	I-UV	Nubosidad
13:50	7,1	Baja
13:55	6,1	Baja
14:00	5,4	Alta
14:05	4,2	Alta

12:45	7,1	Baja
12:50	3,8	Alta
12:55	5,6	Media
13:00	3,8	Media
13:05	6,6	Baja
13:10	6,2	Media
13:15	4,7	Media
13:20	6,3	Media
13:25	6,7	Baja
13:30	7,4	Baja
13:35	7,1	Baja
13:40	7,2	Baja
13:45	7,1	Baja

14:10	4,3	Alta
14:15	6,2	Media
14:20	6,2	Media
14:25	3,2	Alta
14:30	3,2	Alta
14:35	6	Media
14:40	5,8	Media
14:45	5,7	Baja
14:50	5,7	Baja
14:55	5,5	Media
15:00	3,6	Baja

Tabla 7 Evolución UV – Intervalo 5 min

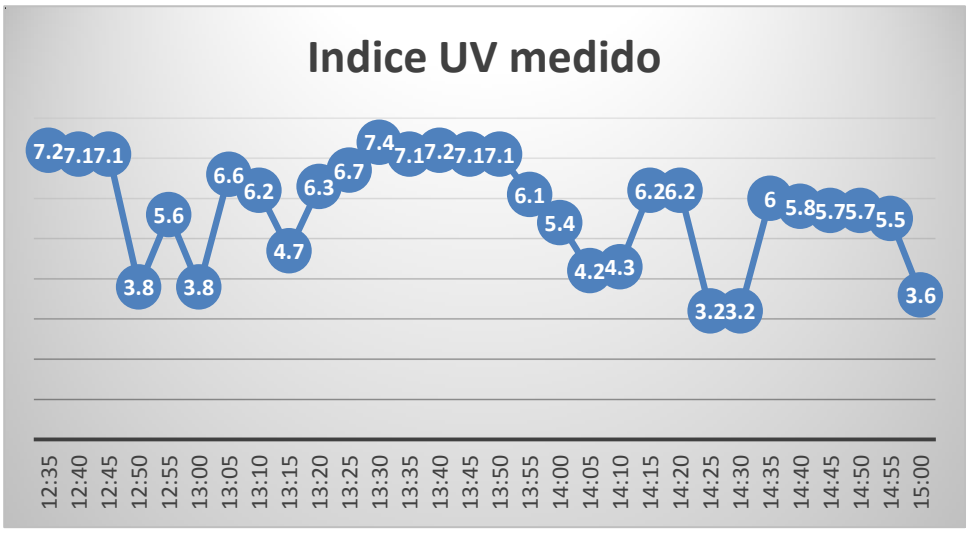


Tabla 8 Evolución del UVI de un día primaveral ligeramente nuboso

A partir de las medidas se definió que el intervalo de interés está entre 15 y 20 minutos. Dentro de ese intervalo, se toma lectura del índice UV ofrecido por el sensor y se busca el máximo de esa medida.

El motivo de utilizar el máximo es el siguiente: durante el viaje, es posible que el móvil pase por zonas con y sin nubes. También es posible que atraviese regiones con árboles que producen sombra por las hojas y ramas, que pase por la sombra de algún edificio o construcción o eventualmente un techo en el caso de los peajes.

Como la medida de interés es el índice UV, y el mismo indica un factor comprobado de riesgo, descartamos los valores promediales, y el interés en un valor mínimo, buscando entonces el valor máximo.

El inconveniente en usar el valor máximo es que dicha medida no es robusta respecto al ruido. En un principio el efecto de dicho ruido se considera despreciable basado en los argumentos presentados en el Anexo [A.15]. De

todas maneras posteriormente se propuso un nuevo algoritmo que también se basa en la elección de un máximo incluyendo un pre filtrado inicial de los datos medidos. En dicho Anexo [A.15] se detalla el funcionamiento del algoritmo así como consideraciones extras tenidas en cuenta.

El esquema del algoritmo original es:

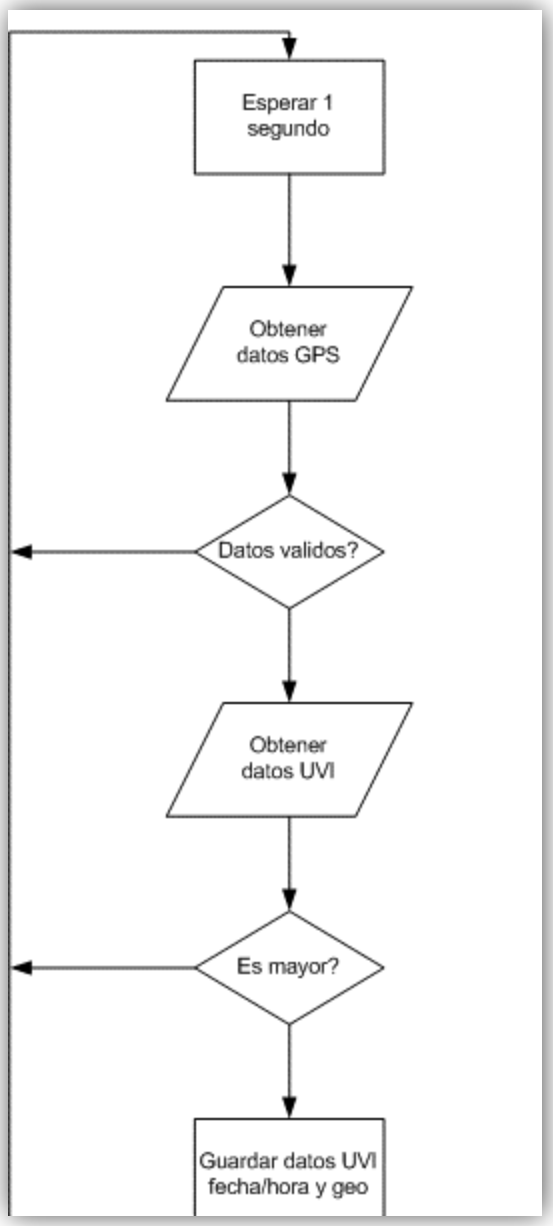


Tabla 9 Algoritmo de Obtención UV

El valor del índice se resetea cada 20 minutos llevándolo al valor -1.
Se toma el valor de medición cada segundo, porque es el ritmo con el que el GPS entrega geolocalización válida.

La legislación actual no permite circular a mayor velocidad que 90 kph para ómnibus especialmente habilitados y 80 kph para los restantes. Viajando a 90 kph, suponiendo velocidad constante y desplazamiento en línea recta, 15 minutos implican una resolución espacial de 30 km.

Si esa distancia es demasiado grande, es posible modificar el software a partir de datos de geolocalización para brindar una resolución apropiada.

Consideramos que para el diseño del prototipo es suficiente tener como inicio esa resolución de mínima de 30 km.

6.2.3 METODOLOGÍA DE DISEÑO PARA LA TOMA DE DATOS UV.

6.2.3.1 INTRODUCCIÓN.

Se quiere que el sistema despliegue datos de índice ultravioleta en tiempo real en todo el territorio uruguayo. El método propuesto en el proyecto GEULMóvil/GEULMapa es poseer una red de medidores que envíen los datos de índice ultravioleta recolectados en todo el país.

El proyecto GEULMóvil se encargó del diseño creación y puesta a prueba de un prototipo de dichos medidores, los cuales tienen la capacidad de montarse en ómnibus interdepartamentales, camiones y trenes.

El proyecto GEULMapa se encargó del diseño creación y prueba de un portal web, con servidor en el NIB, capaz de desplegar, en tiempo real, los datos recabados por cada uno de los sensores en mapas del territorio uruguayo. Al tiempo de la escritura de esta documentación, el proyecto GEULMapa se encuentra listo. La [Figura 12] muestra una captura de la pantalla de inicio del Portal GEULMapa, en los que cada punto celeste del mapa representa un sensor móvil.

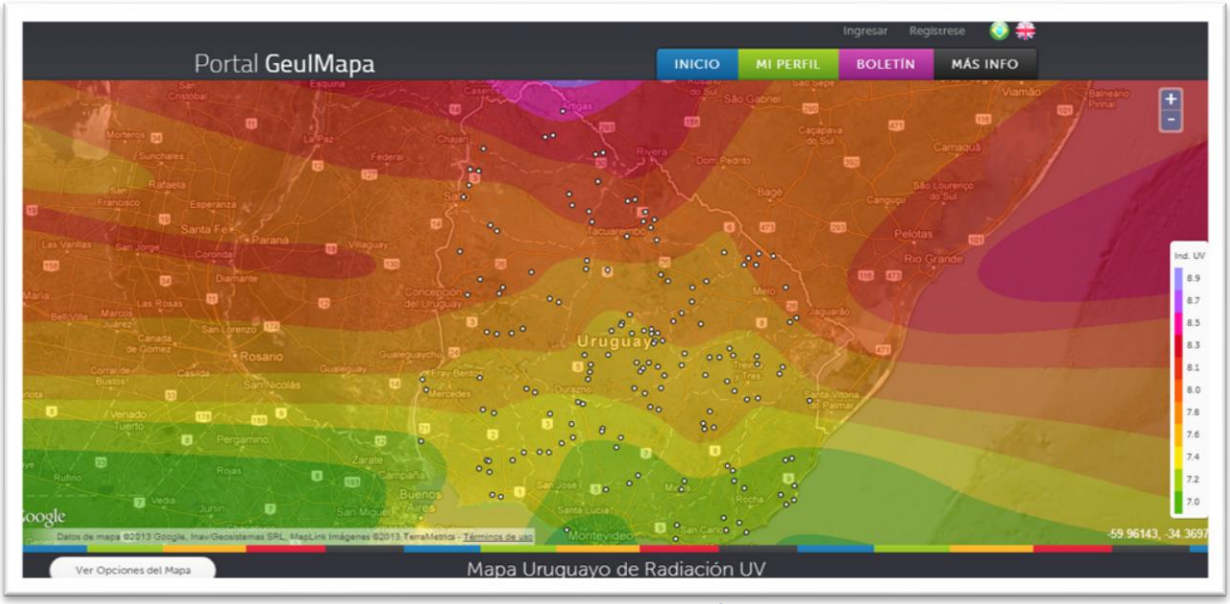


Figura 12 Captura pantalla portal Geulmapa en la que se ven móviles (simulados) enviando datos en tiempo real

6.2.3.2 CONSIDERACIONES Y PROCESO DE DISEÑO.

La OMS recomienda, en caso de tener mediciones en tiempo real del UVI informarlas cada un tiempo T mayor o igual a 5 minutos. Por lo tanto, cada un tiempo T, el servidor actualiza los datos que le llegan de cada móvil.
La variación del UVI durante el día es lenta. Mientras el móvil se encuentra en movimiento, pueden interponerse, entre el cielo y el sensor, obstáculos como edificios, árboles o nubes pequeñas y esporádicas, factores que tienden a disminuir el UVI registrado por el sensor respecto al real. Dado que se espera que el sensor se mueva a gran velocidad, dichos obstáculos hacen variar a la señal recibida de manera rápida y hacen que el UVI medido sea menor que "a cielo abierto".

Se quiere que lo que despliegue el servidor, represente fielmente a un espacio de territorio de varios kilómetros, por lo que los obstáculos son un factor indeseado cuyo efecto debe minimizarse. Dado también que el UVI es una medida del riesgo de la piel, se considero junto a GEULMapa, que lo más prudente es desplegar el máximo de dicha señal en el intervalo de tiempo a medir y no una medida del tipo promedio.
La medida de UVI y posterior despliegue de los datos recolectados por cualquiera de los móviles, idealmente pueden ser representados mediante el siguiente diagrama de flujo de señales.

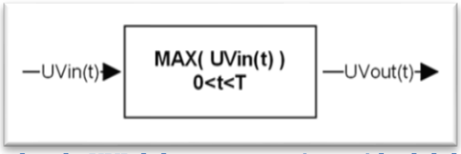


Figura 13 Diagrama de flujo de señales de UVI del comportamiento ideal del sistema GEULMóvil/Geulmapa para cada móvil

En la [Figura 13] UVin(t) es el índice ultravioleta al cual está expuesto el móvil, y lo que se busca es desplegar, para cada uno de los móviles, el máximo en el intervalo de tiempo T de dicha medida.
Como se verá, hay muchos factores que interfieren en el proceso, pero se busca que el sistema integrado GEULMóvil/GEULMapa funcione así para cada móvil.
Adentrémonos poco a poco a la complejidad del sistema integrado, creando diagramas de bloques cada vez más detallados.

Figura 14 Diagrama de flujo de señales UVI del sistema GEULMóvil/Geulmapa con canal de comunicacion digital

Tanto el Sensor Móvil como el Servidor Central son sistemas digitales que poseen poder de procesamiento de señales, pero el del segundo es muchísimo mayor. Por tanto, idealmente lo mejor sería mandar datos cada un tiempo lo más pequeño posible (por ejemplo, estar en las hipótesis del teorema de Nyquist) para recuperar $\mathrm{UV_{in}(t)}$ para posterior análisis y además, hallar el máximo correspondiente para desplegarlo como corresponda.
Sin embargo los medios de comunicación disponibles, por motivos tecnológicos, poseen un ancho de banda limitado, por lo que lo más económico es utilizarlos cada un tiempo T, enviando un mensaje digital Y[n] con la menor cantidad de datos que hagan posible la recuperación de la información deseada. Es por ello que el cálculo del máximo se hace en el Sensor Móvil. Para más detalles, ver la sección que trata de comunicaciones.
Por motivos económicos, el método de comunicación escogido fue SMS. Por las características de la tecnología, la probabilidad de que el mensaje de texto se corrompa, o nunca llegue es baja, por lo que la señal Z[n], luego de ser decodificada, será con altísima probabilidad igual a Y[n]. De todas maneras, el servidor central es capaz de

decidir si la señal es válida, basándose en el conocimiento que ya posee del pasado y de los datos brindados por otros móviles.
Se pasará a continuación a una descripción aun más detallada del sistema, mostrada en la [Figura 15]

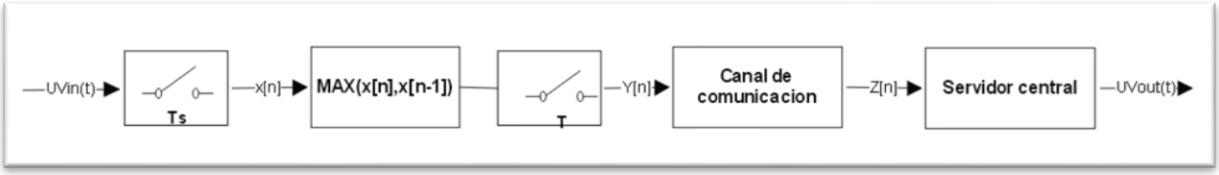


Figura 15 Diagrama de flujo de señales de UVI del sistema GEULMóvil/Geulmapa con canal de comunicación digital y algoritmo de búsqueda del máximo

El sensor móvil muestrea el UVI cada un tiempo Ts, del orden de unos pocos segundos, dado que el ancho de banda de la señal de UV es bajo. Se va registrando el máximo mediante un algoritmo en línea, de forma de minimizar el almacenamiento necesario. De esta manera, se recibirá el máximo de la señal en el periodo [0,T] si se supone que el sensor es un aparato de medida ideal.

Agreguémosle más realismo a nuestro modelo agregándole dos factores:

- ***Ruido:*** El sensor no es ideal, por lo que las medidas están contaminadas por ruido. Para entender el proceso, se toma la hipótesis usual de que el ruido es Gaussiano y aditivo.
- ***Obstáculos:*** Se hace explicita la presencia de obstáculos, cuyo efecto se minimiza mediante el cálculo del máximo.

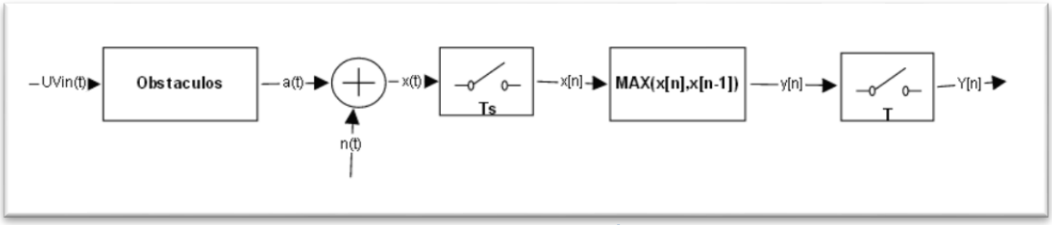


Figura 16 Diagrama de flujo de señales de UVI del sistema GEULMóvil en el que se muestra el algoritmo original de búsqueda del máximo y se hace explicita la presencia de ruido y obstáculos

Inicialmente, se supuso que el ruido era lo suficientemente pequeño para no afectar el esquema propuesto anteriormente. Dejando de lado el efecto de los obstáculos, minimizado por el algoritmo de máximo, en presencia de ruido se esperaba que la señal enviada reprodujera fielmente las características de las muestras tomadas. Sin embargo, en las últimas pruebas, esta hipótesis fue puesta en juego, por lo que se propuso un sistema de prefiltrado previo al cálculo del máximo. Hay dos opciones para solucionar el problema.

1. Corregir el efecto indeseado de hallar el máximo caracterizando el comportamiento estadístico de la señal x[n] en función de la estadística del máximo. Este esquema se explora en la sección A 14.
2. Renunciar al algoritmo del máximo y sustituirlo por uno más adecuado.

La primera solución fue la implementada en el prototipo y la segunda opción se detalla a continuación.

Con un algoritmo arbitrario de procesado por parte del sensor móvil, y en su versión más avanzada, el flujo de señales entre un móvil y el servidor en el sistema GEULMóvil/GEULMapa tendría un diagrama como el de la [Figura 17].

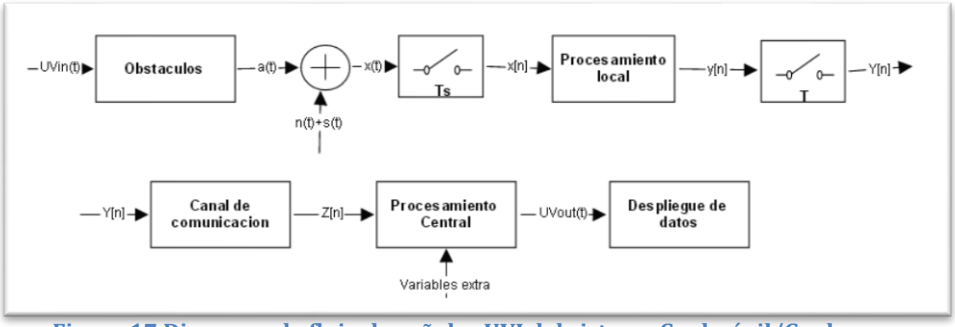


Figura 17 Diagrama de flujo de señales UVI del sistema Geulmóvil/Geulmapa, versión final

Como se verá, se maneja la posibilidad de que parte del procesamiento se haga en el servidor central. El procesamiento central es opcional, pero permitiría corregir errores sistemáticos s(t) en la medida de UVI estimando variables extra que el sistema móvil es incapaz de medir, como ángulo cenital solar, ángulo de orientación acimutal de la trayectoria del móvil o relación aproximada entre radiación directa y difusa. También podría deshacer algún efecto indeseado pero reversible del algoritmo local que se haya decidido no hacer en el móvil o simplemente descartar datos inválidos.
El algoritmo de procesamiento local debería minimizar el efecto del ruido n(t) y los obstáculos. Posteriormente, se presenta una propuesta de sistema de procesamiento local cuyo funcionamiento prueba tener buenas propiedades. Con dicho algoritmo, el bloque de procesamiento central quedaría así:

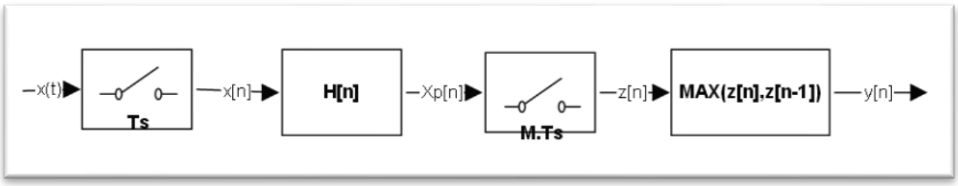


Figura 18 Detalle del sistema de procesamiento local propuesto

La idea es que H[n] funcione como filtro pasabajos, y sea un promediador, o un filtro de mediana. Ya se había visto que un filtro promediador de ventana de tiempo T no era adecuado debido al efecto de los obstáculos. Por lo tanto, se introduce un prefiltrado de ventana temporal M, para que la señal de entrada z[n] no tenga tanto ruido como x[n] y pueda ser procesada por el algoritmo del máximo, de forma de eliminar el efecto indeseado de los obstáculos.

Para finalizar, en la [Figura 19] se muestra el sistema final completo propuesto como trabajo a futuro en pos de la integración total entre GEULMóvil/GEULMapa.

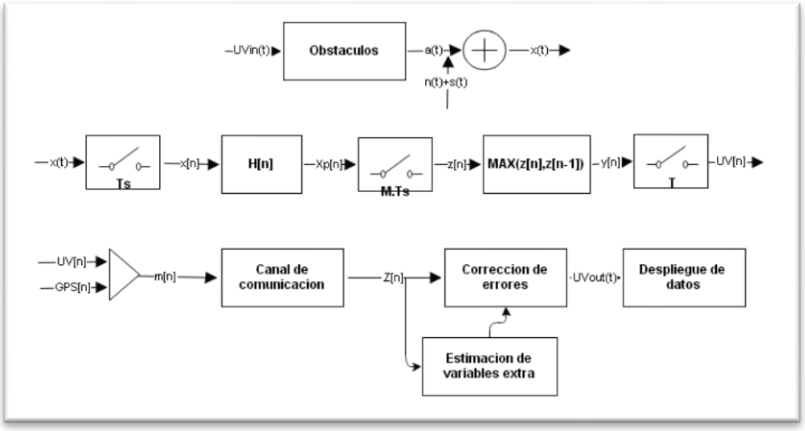


Figura 19 Diagrama en detalle del flujo de señales entre un móvil y el servidor en el sistema propuesto a futuro para Geulmóvil/Geulmapa. Se incluye explicitamente también la señal GPS[n] enviada junto a la medida UV[n]

6.2.3.3 ILUSTRACIÓN DE LOS PRINCIPALES CASOS DE USO PARA LA ADQUISICIÓN UV

Se ilustraran a continuación, mediante fotografías de móviles, los casos de uso tenidos en mente para escoger el algoritmo de procesamiento de datos UV previo al envío.

MEDICIÓN AFECTADA POR OBSTÁCULOS:

Figura 20 En ciudad pueden ser edificios, túneles, que se interpongan.

Figura 21 En ruta pueden ser medidas esporádicas, afectadas por obstáculos: árboles, puentes, cerros, etc.

Figura 22 Nubosidad puede afectar la medida, esporádicamente o tiempo largo. En el primero se espera minimizar el efecto de la nubosidad en la medida, mandando el valor máximo.

CASO DE USO PRINCIPAL

Figura 23 En el caso de uso principal, movil en ruta, se esperan resultados en los que la interposición aleatoria de objetos sea minima

6.2.3.4 ADQUISICION GPS

La mayor parte de los receptores, que se encuentran en el mercado, utilizan el código NMEA-0183 para entregar los datos de geolocalización. NMEA viene de las siglas en inglés Asociación Nacional de Electrónica Marina. Los datos se entregan vía RS-232 con una velocidad de 4800 bps por una puerta serial, en 8 bits, sin paridad y 1 stop bit (8N1), y sin handshake. Los receptores usualmente entregan información en mensajes GPS con un intervalo de 1 segundo. Los mensajes NMEA se entregan por talkers (quienes envían los mensajes) y se reciben por los listeners (quienes los escuchan). Los mensajes tienen un prefijo GP, luego se identifica al talker y el tipo de mensaje, y luego vienen los datos, separados por coma. Al final hay un checksum.

Este diálogo es de una sola vía: del talker al listener. Todos los datos del mensaje van en ASCII.

El formato general es $<ADDRESS>,<DATA>*,<CHECKSUM><CR><LF>

El <ADDRESS> está formado por un prefijo "GP" seguido por el código del tipo de mensaje. En este proyecto, se utilizó el mensaje RMC que contiene los datos mínimos recomendados.
En la [Tabla 10] se detalla el formato del mensaje GPRMC.

Nombre	Ejemplo	Unidades	Descripción
MessageID	GPRMC		RMC protocol header
UTC time	193405		hhmmss.ss
Status	A		A = datos válidos, V = datos inválidos
Latitude	3439.159		ddmm.mmmm
N/S indicator	S		N = norte, S = sur
Longitude	8410.3933		dddmm.mmmm
E/W indicator	W		E = este, W = oeste
Speed over ground	10.3	Knots (nudos)	
Course over ground	359.91	Degrees (grados)	Verdadero
Date	271110		ddmmyy
Magnetic variation		Degrees (grados)	E = este, W = oeste
East/West indicator			E = este, W = oeste
Mode	A		A = autónomo, D=DGPS, E=DR, N=Los datos no son válidos
Checksum	*4D		
<CR><LF>			Terminador de fin de mensaje

Tabla 10 Formato Mensaje GPRMC

6.2.4 COMUNICACIÓN

El módulo de comunicación es el encargado del envío de datos y el que permite la gestión remota. Dadas las característica de los lugares donde va a operar GEULMÓVIL se decidió utilizar un módem GSM/GPRS. Es un MODEM de bajo consumo, compatibles con todos los operadores de telefonía celular en Uruguay.

6.2.4.1 EVALUACIÓN DE LAS FORMAS DE TRANSMISIÓN DE DATOS RECABADOS

Para la transmisión de datos se consideraron varias opciones: Web Service, SMS, Internet (Post HTTP o archivo de texto) y pendrive. Se detallan a continuación con sus ventajas y desventajas:

6.2.4.1.1 WEB SERVICE

Es una tecnología que utiliza un conjunto de protocolos y estándares que sirven para intercambiar datos entre aplicaciones. Distintas aplicaciones de software desarrolladas en lenguajes de programación diferentes, y ejecutadas sobre cualquier plataforma, pueden utilizar los servicios web para intercambiar datos en redes de ordenadores como Internet. La interoperabilidad se consigue mediante la adopción de estándares abiertos. La comunicación puede hacerse a través de Internet o de una Red Privada.

6.2.4.1.2 SMS

El servicio de mensajes cortos o SMS es un servicio disponible en los teléfonos móviles que permite el envío de mensajes cortos (también conocidos como mensajes de texto, o más coloquialmente, textos) entre teléfonos móviles, teléfonos fijos y otros dispositivos de mano. SMS fue diseñado originariamente como parte del estándar de telefonía móvil digital GSM, pero en la actualidad está disponible en una amplia variedad de redes, incluyendo las redes 3G.

6.2.4.1.3 POST HTTP

Es un método que pide información soportado por HTTP. Se utiliza cuando un cliente necesita enviar información al servidor como parte de un pedido del mismo.

Hypertext Transfer Protocol o HTTP es el protocolo usado en cada transacción de la World Wide Web. HTTP fue desarrollado por el World Wide Web Consortium y la Internet Engineering Task Force.

HTTP define la sintaxis y la semántica que utilizan los elementos de software de la arquitectura web (clientes, servidores, proxies) para comunicarse. Es un protocolo orientado a transacciones y sigue el esquema petición-respuesta entre un cliente y un servidor. Al cliente que efectúa la petición (un navegador web o un spider) se lo conoce como "user agent" (agente del usuario). A la información transmitida se la llama recurso y se la identifica mediante un localizador uniforme de recursos(URL). Los recursos pueden ser archivos, el resultado de la ejecución de un programa, una consulta a una base de datos, la traducción automática de un documento, etc.

6.2.4.1.4 PENDRIVE Y ARCHIVO DE TEXTO SUBIDO A LA WEB

Estos dos métodos consisten en agrupar toda la información de los diferentes dispositivos y enviarla simultáneamente. En el primero caso requiere un pendrive y hacerlo llegar hacia la ubicación del servidor que procesa la información. El segundo escenario no requiere movilidad, solo una conexión a internet y acceso al servidor de destino. En ambos casos la información no se envía en tiempo real.

6.2.4.2 TECNOLOGÍAS DISPONIBLES EN NUESTRO PAÍS

Analizado lo anterior se buscaron el mercado local cual era el abanico de posibilidades. Se consideraron 2 métodos para el envío de datos desde los dispositivos hacia GEULMapa. Una VPN sobre la red móvil de ANTEL utilizando el servicio VPN Móvil y mensajes de texto (SMS). Dentro de la segunda opción existen dos variedades,

el SMS convencional con un móvil central que recepcione todos los mensajes de todos los dispositivos remotos, y una versión con un servidor central, en vez de un terminal, con una interfaz web. Esta segunda opción surge a partir de que un sólo móvil puede verse saturado al recibir tanta información simultáneamente.

Se detallan las diferentes opciones a continuación:

6.2.4.2.1 SMS EMPRESAS [42]

Permite a las empresas enviar y recibir SMS asociados a una aplicación con un número corto definido por Antel.

Para esto la GEULMóvil y/o GEULMapa necesitaría desarrollar un servicio web para comunicarse con la plataforma de telefonía móvil de Antel y poder enviar y recibir SMS a los dispositivos.

6.2.4.2.2 DEFINICIÓN DE MENSAJES DESDE GEULMÓVIL/GEULMAPA HACIA ANCEL

Para todos los mensajes se utiliza un POST HTTP.
Por medio de mensajes de formato predeterminado se agregan números al grupo de habilitados para la utilización de este servicio.

6.2.4.2.3 DEFINICIÓN DE MENSAJES DESDE ANCEL HACIA GEULMÓVIL/GEULMAPA

Para todos los mensajes se utiliza un GET HTTP. La respuesta al mensaje viene como texto (MIME text-plain) en el HTTP Response y se espera un OK como respuesta, en caso contrario se reintenta el envío del mensaje cada determinado tiempo hasta obtener un OK.

6.2.4.2.4 ENVÍO DE MENSAJES EN LA RESPUESTA AL MENSAJE HTTP Y HTTPS

Esta funcionalidad soporta ambos protocolos, http y https, su definición, comportamiento y usabilidad es exactamente igual para ambos.

6.2.4.2.5 VPN MOVIL [43]

El servicio de VPN móvil es un producto de ANTEL que brinda conectividad privada entre dispositivos móviles o nomádicos. La solución permite la interconexión con redes fijas privadas de iguales características (IP/MPLS). La idea de este servicio es que el tráfico del cliente no transite por una red pública ni que el cliente se encargue de realizar y mantener una infraestructura de túneles sobre Internet para agregar puntos móviles a su red privada.

A continuación se muestra un diagrama básico del servicio:

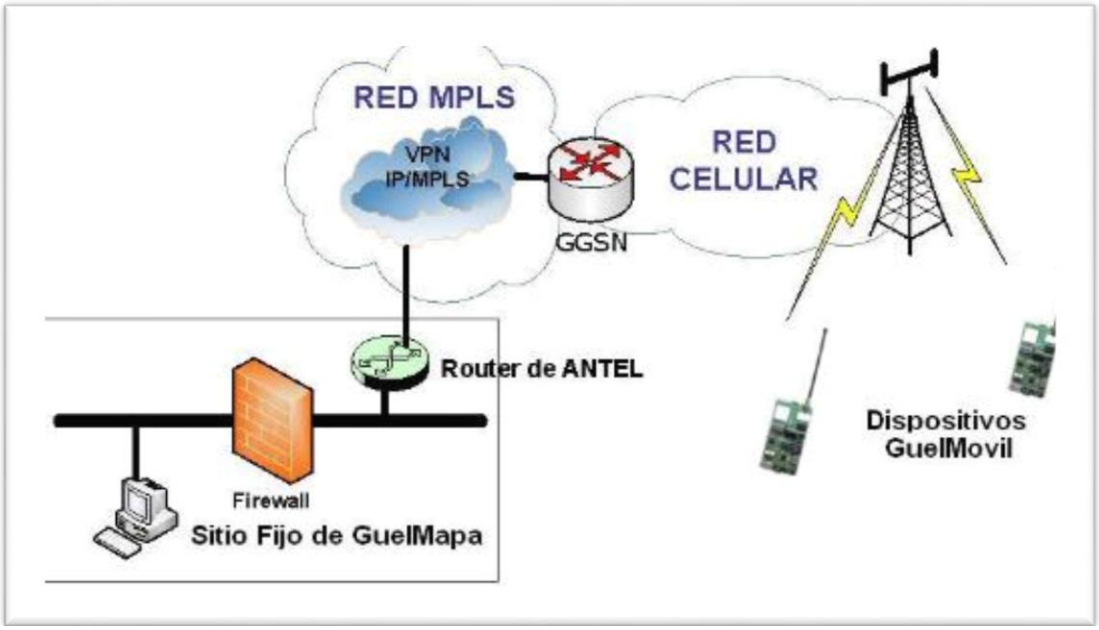


Figura 24 Diagrama básico VPN móvil

Para el caso del proyecto GEULMóvil los extremos móviles serían los dispositivos que se diseñarán para medir la radiación UV. Estos enviaran los datos, utilizando la VPN móvil, hacia un punto fijo donde se almacenarían los datos para que GEULMapa luego los procese.

Cada dispositivo deberá contar con un chip que ANTEL entrega para este servicio, quedando la configuración del terminal donde se coloca el mismo a cargo del grupo de proyecto GEULMóvil. Para el sitio fijo ANTEL entrega un router.

Se crearía un APN en la red celular y una VPRN en la red fija, ambas para uso exclusivo de GEULMóvil. Virtualizando así el servicio del cliente éste se independiza, a nivel IP, de ruteo, etc., de los demás clientes y servicios definidos en la red de ANTEL.

6.2.4.2.6 RED CELULAR

Se brinda sólo el chip y el grupo se encarga de la configuración y mantenimiento del dispositivo en el que se instala el mismo.

Se puede elegir un nombre de Access Point Name (APN), el cual no se puede repetir con alguno ya existente. Además, dicho nombre debe cumplir la norma 3GPP 23.003, punto 9 (Definition of Access Point Name), respetando la codificación establecida en las RFCs 1035, 1123 y 2181, caracteres alfanuméricos y “guión” “-“, empezando y terminando por una letra o número. El mismo no es sensible a mayúsculas.

La red celular autentifica sólo el chip (IMSI) al momento de conectarse el mismo. El grupo determina un rango de direcciones IP privadas, preferentemente /24 o /16, a utilizar en los dispositivos móviles. La dirección IP del dispositivo móvil es fija y es asignada por la red celular.

En caso que el cliente lo solicite, el GGSN también puede asignar a los dispositivos móviles la dirección IP del servidor privado de DNS del cliente.

Se habilita el detalle de consumo para procesar el tráfico de todos los APNs definidos con el nombre "GEULMovil.vpnantel"

6.2.4.2.7 EXTREMOS MÓVILES

Las tecnologías de acceso a la red celular y las velocidades que se puedan alcanzar, dependerán de las características del móvil que utilice el cliente. A modo de referencia las tecnologías que maneja actualmente ANCEL son:

Tecnologías de segunda generación (2G):
- GPRS/EDGE (para datos)
- Frecuencias: 900 MHz y 1800 MHz
- Velocidades limitadas en la red: 256 Kbps(DWN) y 256 Kbps(UP)
- Velocidades máximas esperadas: 100 Kbps(DWN) y 20 Kbps(UP)

Tecnologías de tercera generación (3G):
- HSPA - High Speed Packet Access
- Frecuencia: 850 MHz y 2100 MHz
- Velocidades limitadas en la red: 2048 Kbps(DWN) y 2048 Kbps(UP)
- Velocidades máximas obtenidas en pruebas: 700 Kbps(DWN) y 150Kbps(UP)

En los sitios donde NO haya cobertura 3G o la misma no es buena, el servicio se cursará por la red 2G. Se puede setear el terminal del usuario para tomar sólo 3G pero habrá que asegurarse que la cobertura 3G en la zona sea buena y estable.

Tipo de tráfico transportado y MTU
- Tráfico solo IP
- MTU = 1500 bytes

En la red fija se brinda un ACCESO CENTRAL MPLS del servicio VPN IP/MPLS.
El cliente puede monitorear el ancho de banda utilizado y estado de cada acceso fijo del servicio.

6.2.4.3 SMS

6.2.4.3.1 DESCRIPCIÓN[44]

GSM (Global System for Mobile Communications) es un estándar de telefonía digital móvil de extensa utilización alrededor del mundo. Nombrado originalmente GSM-900, por la banda de frecuencia de 900MHz, sirvió como base para el resto de las redes GMS que se desarrollaron.

SMS (Short Message Service) es un elemento integral de las redes de tecnología GSM. Su éxito es tal que para Enero del 2010 era una de las mayores fuentes de ingreso de los operadores GSM. Este servicio es tan exitoso se ha incorporado esta funcionalidad a otro tipo de redes GSTN (Globlal Switches Telephone Network).

GSM SMS son mensajes alfanuméricos que pueden ser enviados desde y hacia clientes SMS. Los mensajes tienen un largo máximo de 160 caracteres o 140 octetos, cuando se utiliza la codificación estándar de caracteres de 7-bit. Otras codificaciones son posibles, pero son definidas como opcionales en el estándar, las mismas resultan en mensajes de largo menor.

Es por esto último que las aplicaciones que procesan SMS deben estar configuradas correctamente, según el tipo de codificación utilizada, para poder mapear correctamente los caracteres utilizados en el mensaje.

Mientras que los mensajes de largo 160 son sin duda los de más extensa utilización, hay numerosos ejemplos de otros tipos.

La primera versión de la especificación no previa una estandarización para concatenar mensajes. Como consecuencia se desarrollaron varios métodos propietarios, sin embargo en el presente existe la estandarización.

Los mensajes SMS pueden ser transmitidos sobre una interfaz de la red de cliente SMS, utilizando el canal de señalización de la infraestructura GSTN, esto significa que no hay retardo para establecer una llamada. Alternativamente, un SMS puede ser enviado desde otro tipo de aplicaciones (por ejemplo un Web Service). La posibilidad de contar con un cliente SMS en un dispositivo, como una computadora, que no está directamente conectado a la red GSTN es parte de la versatilidad de este servicio.

6.2.4.4 OPCIÓN ESCOGIDA

Su sencillez y fiabilidad fueron factores determinantes para la elección de este método de comunicación. Los bajos costos, como se analiza en el Capítulo [0], también contribuyeron a terminar de confirmar que esta era la mejor opción para el desarrollo del prototipo.

Para este proyecto no se requiere adquirir la información en tiempo real, por lo que el retardo así como la tasa de error intrínseco a este servicio resultan más que aceptables.

6.2.4.4.1 IMPLEMENTACION

A los efectos de este proyecto se consideró de valor agregado, la posibilidad de cambiar algún parámetro de configuración vía mensaje de texto. Lo mismo aplica a la eventualidad de realizar consultas sobre el estado del dispositivo.

El sistema desarrollado requería poder enviar y recibir mensajes de texto. El dispositivo debía entonces admitir tres tipos de mensajes de requerimiento: status, cambio de configuración y confirmación de cambio exitoso.

La solicitud de estado no estaría restringida por origen, a diferencia del proceso de cambio de parámetros del sistema. Para esto último hay un número de origen permitido. Este puede ser luego modificado mediante un SMS.

El mensaje de estado <STATUS> devuelve el estado actual del dispositivo: identificación, última ubicación conocida por el GEULMóvil, fecha y hora de esa ubicación, últimos valores de los sensores asociados, información de contadores, por ejemplo número de envío de mensajes SMS. En principio, se entiende que no resulta inconveniente que dicho mensaje sea procesado, independientemente del número de origen. Eso puede ser modificado en cualquier momento. Este mensaje no lleva parámetros asociados.

El mensaje de cambio de configuración <CONFIG> inicia el proceso de cambio de configuración. Este mensaje sólo puede ser enviado desde el número “maestro” configurado anteriormente. Los parámetros a cambiar son los que determinemos, por ejemplo:

Los que determinan el algoritmo de envío de información.

- Encendido de un LED.
- Nombre del dispositivo.
- Parámetros de funcionamiento.

Al recibir y validar los parámetros, el dispositivo arma una configuración nueva. Envía un mensaje con un identificador único al número desde donde se envió el mensaje.

Para configurar el número maestro, es necesario enviar un mensaje de texto a un dispositivo recién programado. Este tipo de "comportamiento" se denomina "impresión".

A los efectos de poder implementar esto, se debe tener un proceso que periódicamente revise la cola de mensajes de entrada, y de existir algún mensaje lo procese.

Este sistema es para eliminar la posibilidad de un mensaje que arribe fragmentado, o para dejar abierta la posibilidad de enviar varios mensajes de configuración. En este caso, el siguiente mensaje de configuración <CONFIG> debe incluir el identificador único enviado anteriormente. También debe existir un mensaje de cancelación <CANCEL> el cual junto con el identificador único deja sin efecto cualquier proceso de cambio de parámetros iniciado.

La [Figura 25] ilustra el proceso de obtención de la información de cada SMS.

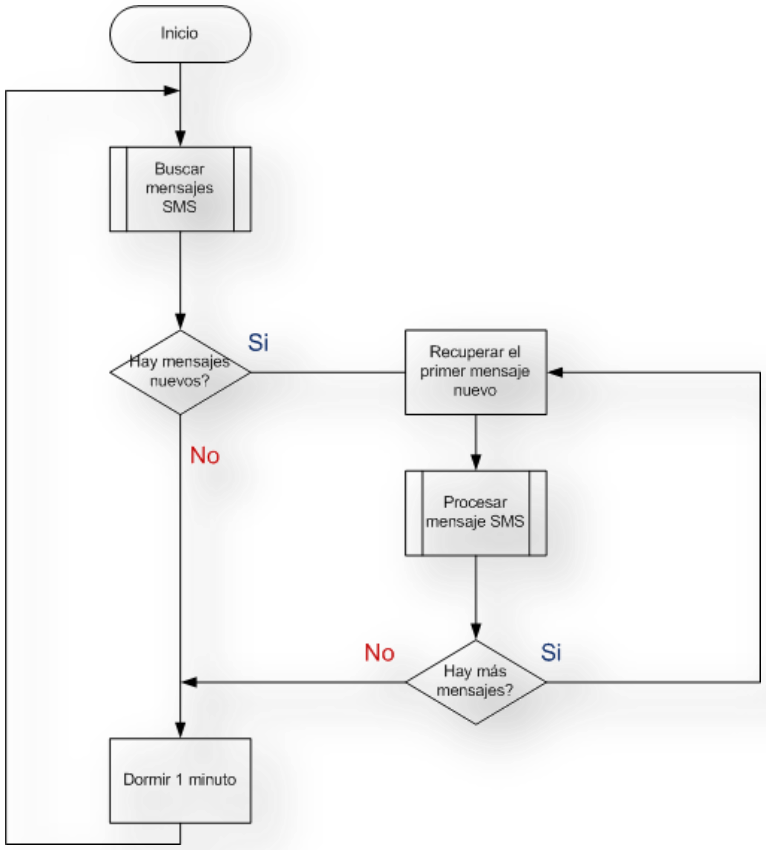


Figura 25 Esquema de Primer Nivel de los mensajes SMS

El tiempo de dormir puede verse ajustado durante la etapa de implementación del sistema.

6.2.4.5 GPRS

Para la elección del módulo GPS/GPRS se tuvieron en consideración varios productos del mercado. Se buscó un módulo que cumpliera con los criterios de calidad y precio requeridos.

Luego de una minuciosa búsqueda se optó por el modelo Telit GM862. El mismo es un módulo cuatribanda con funcionalidades GPS/GPRS. Cuenta con una interfaz serial para la transmisión de datos y la conexión se logra mediante línea de código.

Si bien ese módulo cumplía con todos los requerimientos necesarios para el proyecto, cuando se consultó para la compra resultó que a fin del año corriente Telit discontinuará su producción. Esto hizo inviable la elección del GM862 y se tuvo que buscar un sustituto.

No se encontró otro módulo que cumpliera con todos los requerimientos, se optó por la combinación de un módulo GPRS y otro GPS. Telit ofrece los modelos GE865 y GL865 (GSM/GPRS) y JN3 y JF2 (GPS).

Las funcionalidades del GE856 y el GL865 son las mismas, e iguales también a la parte del módem GSM/GPRS del GM862. Para definir cuál de los dos era la mejor opción se tuvieron en cuenta factores de consumo de potencia, tamaño y encapsulamiento. Finalmente el GL865 fue elegido como módem para el proyecto.

COMPARATIVO DE OPCIONES	DESCRIPCION	GM862	GL865	GE865	SIM908
	Dimensiones [mm]	43,9 x 43,9 x 6,9	24,4 x 24,4 x 2,7	22 x 22 x 3	30 x 30 x 3,2
	Frecuencias [MHz]	850/900/1800/1900	850/900/1800/1900	850/900/1800/1900	850/900/1800/1900
	Funcionalidades	GMS/GPRS/GPS	GSM/GPRS	GSM/GPRS	GMS/GPRS/GPS
	Comandos	AT	AT	AT	AT
	Peso [gr]	20	2,8	3,2	5,2
	Rango de Voltaje [V]	3,22 - 4,5	3,22 - 4,5	3,22 - 4,5	3,2 - 4,8
	Voltaje Recomendado [V]	3,8	3,8	3,8	-
	Rango de Temperatura [ºC]	40 - 85	40 - 85	40 - 85	40 - 85
	Encapsulamiento	-	LCC	BGA	
	Canales GPS	20	-	-	42
	GPRS	clase 10	clase 10	clase 10	clase 10
	SIM	SIM Access Profile	SIM Access Profile	SIM Access Profile	
	Puerto Serial	GSM 7.10	3GPP TS 27.010	3GPP TS 27.010	GSM 7.10
	Marca	Telit	Telit	Telit	SIMCom
	Kit de Desarrollo	SI	SI	SI	SI
	Precio KIT + Modulos [U$S]	220	230	230	75

Tabla 11 Comparativo de Opciones GPRS

Como se puede ver en la [Tabla 11], todos los módulos son cuatribanda y funcionan con comandos AT.

Los comandos AT son instrucciones codificadas que conforman un lenguaje de comunicación entre el hombre y un terminal modem. Aunque la finalidad principal de los comandos AT es la comunicación con módems, la telefonía móvil GSM también ha adoptado como estándar este lenguaje para poder comunicarse con sus terminales. De esta forma, todos los teléfonos móviles GSM poseen un juego de comandos AT específico que sirve de interfaz para configurar y proporcionar instrucciones a los terminales. Este juego de instrucciones puede encontrarse en la documentación técnica de los terminales GSM y permite acciones tales como realizar llamadas de datos o de voz, leer y escribir en la agenda de contactos y enviar mensajes SMS, además de muchas otras opciones de configuración del terminal. Queda claro que la implementación de los comandos AT corre a cuenta del dispositivo GSM y no depende del canal de comunicación a través del cual estos comandos sean enviados, ya sea cable de serie, canal Infrarrojos, Bluetooth, etc.

Encapsulamiento LCC (leadless chip carrier) es un encapsulado de circuito integrado que en vez de tener pines convencionales, tiene pines redondeados a través del plástico o cerámica.

Las conexiones BallGridArray son soldaduras cuyo fin es unir un componente a la placa base de un equipo informático por medio de una serie de soldadura las cuales son bolitas de estaño. Son usadas comúnmente en la producción y fijación de placas base para ordenadores y la fijación de microprocesadores ya que los mismos suelen tener una cantidad muy grande de terminales los cuales son soldados a conciencia a la placa base para

evitar la pérdida de frecuencias y aumentar la conductividad de los mismos. Este tipo de conexiones se encuentra en el módulo GE865.

6.2.5 MÓDULO DE PROTECCIÓN, REGULACIÓN Y DELAY.

6.2.5.1 DESCRIPCIÓN

El circuito del módulo de protección de voltaje consta de tres etapas bien diferenciadas que se ejecutan en cascada:

1. Etapa de protección: Es un limitador de voltaje y protecciones contra sobre-corrientes[**45**]
2. Etapa de conversión de voltaje: Regulador de voltaje, con entrada de 12V-24V y salida de 7V
3. Circuito de espera ante transitorios: Una vez que se detecta que el sistema es alimentado, desconecta la etapa de alimentación al resto del sistema por unos segundos. Esto se realiza con el fin de evitar efectos indeseados debido al transitorio de la batería en el sitio móvil.

En la [Figura 26] se observa un esquemático del circuito de protección y delay del dispositivo.

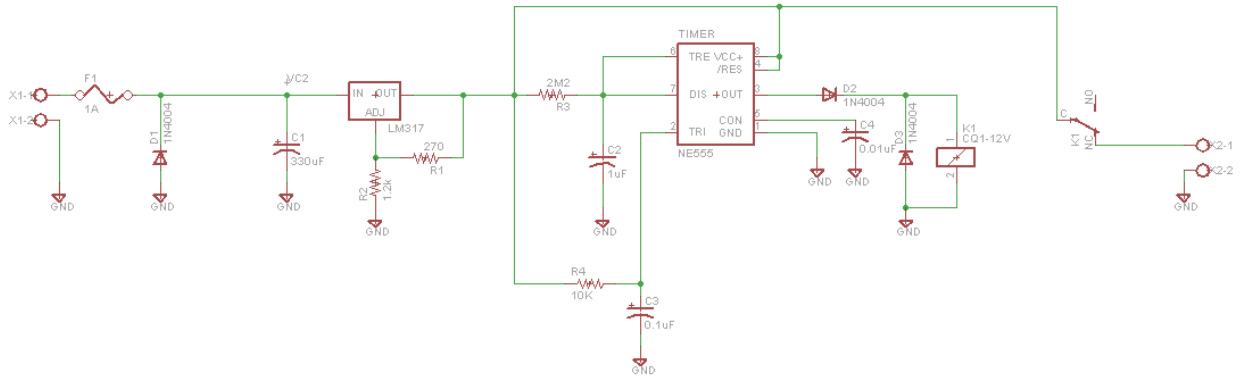


Figura 26 – Circuito de Protección y Delay en el encendido del Dispositivo

6.2.5.2 FUNCIONAMIENTO

La primera etapa consta de un fusible F1 para protección contra sobre-corrientes y un diodo D1 para protección contra inversión de polaridad. Además, el condensador C2, de gran tamaño, estabiliza el voltaje a la entrada del regulador LM317. Originalmente se tenía un diodo Zener DZ1 en paralelo a C1, pensado para actuar como protección contra sobre-voltajes, pero este no es necesario, pues las tensiones esperadas nunca superan al valor provisto por el alternador del móvil (14V para móviles de batería 12V, y 28V para móviles de batería 24V).

La segunda etapa es un regulador diseñado para que a su salida provea alrededor de 7V, y que la disipación de calor le provea el rango de funcionamiento en temperatura adecuado. Su funcionamiento detallado y las consideraciones de diseño se encuentran en el Anexo [A.10].

La tercera etapa se basa en un monoestable[**46**]que se gatilla con la salida del regulador de voltaje y que una vez que dispara, mantiene su salida OUT en alto durante 2 segundos. Dicha salida es capaz de excitar la bobina del relé [ver A.16]. El diodo D4 funciona como '*diodo flyback*', protegiendo la bobina del relé del pico de voltaje que aparece cuando la salida OUT baja nuevamente y esta se des-energiza.

Cabe acotar que se usaron diodos 1N4007 [**47**], en vez de diodos pequeños del tipo 1N4148, pues los primeros soportan mayores corrientes nominales.

En resumen, el circuito logra, mediante el mecanismo descripto anteriormente, proveer de una alimentación estable y con protección suficiente a los efectos indeseados debidos al funcionamiento de la batería del móvil.

6.2.5.3 Detalles de Diseño del Circuito Impreso

La placa en la que se montó éste circuito es independiente al resto de los módulos. La [Figura 27], muestra una imagen del módulo de protección.

En dicha figura se muestra la placa de circuito impreso, diseñada en Cadsoft-Eagle, versión 6.2.0. Se puede observar una vista de todas las capas utilizadas: los componentes se encuentran en gris, pads en verde, agujeros en verde y capa superior en rojo.

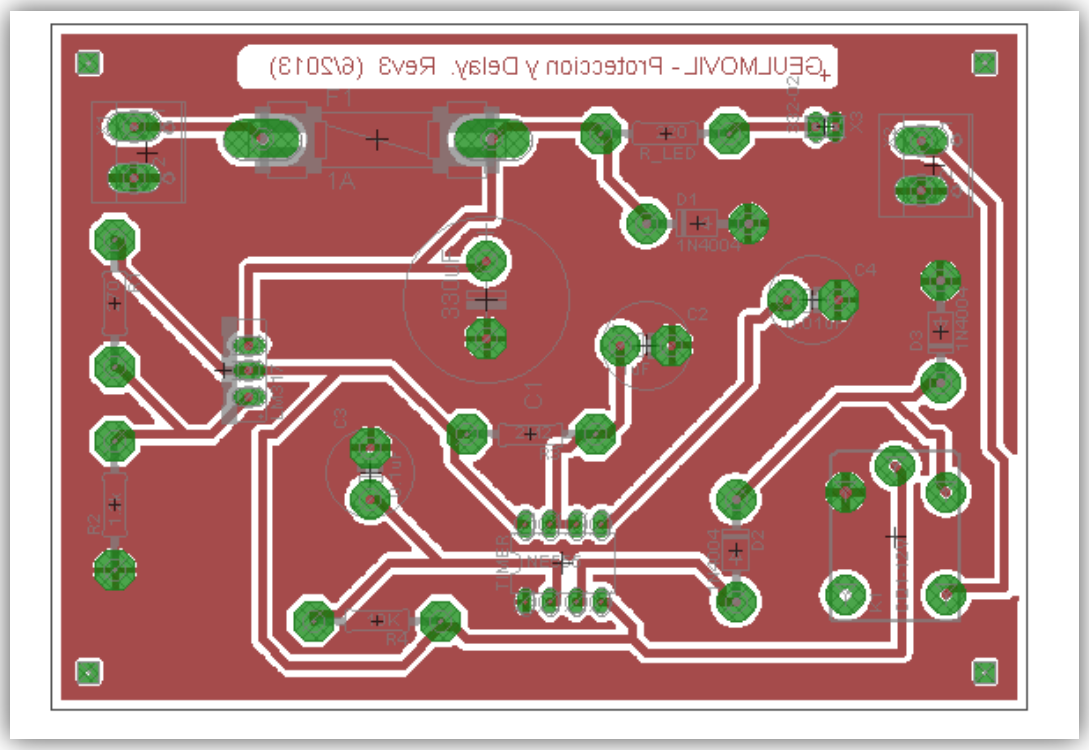


Figura 27 - Placa Circuito Protección (diseñada en Eagle)[48]

La placa de protecciones se montó separadamente para poder prescindir de ella si se provee de una alimentación externa y segura de 7V.

Dado que algún dispositivo de GEULMóvil podría en principio ser utilizado en aplicaciones fijas donde la alimentación no sea un problema, esto abarataría los costos de producción para esta clase de equipos.

7 HARDWARE

El siguiente capítulo describe los distintos elementos que componen los módulos descritos en el capítulo inmediato anterior.

7.1 MICROPROCESADOR

La arquitectura del prototipo está centralizada en un Arduino, el cual se muestra en la Figura 28.

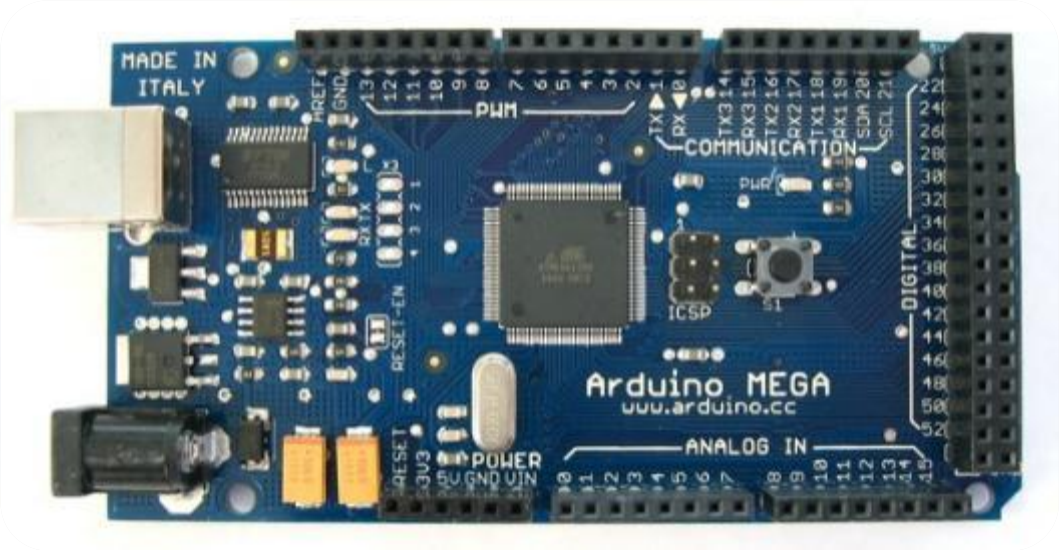


Figura 28 Aduino Mega

Su bajo costo, flexibilidad, sencillez, plataforma abierta son algunas de las características que determinaron esta elección.

Arduino es una plataforma de electrónica abierta para la creación de prototipos basada en software y hardware flexibles y fáciles de usar. Se creó para artistas, diseñadores, aficionados y cualquiera interesado en crear entornos u objetos interactivos[49].

Un Arduino tiene la capacidad de tomar información de su entorno a través de sus pines de entrada de toda una gama de sensores y puede afectar aquello que le rodea controlando luces, motores y otros actuadores.

El micro controlador en la placa Arduino se programa mediante el lenguaje de programación Arduino (basado en Wiring) y el entorno de desarrollo Arduino (basado en Processing).

ESPECIFICACIONES	
Microcontrolador	ATmega1280
Voltaje de funcionamiento	5V
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V
Voltaje de entrada (limite)	6-20V
Pines E/S digitales	54 (14 proporcionan salida PWM)
Pines de entrada analógica	16
Intensidad por pin	40 mA
Intensidad en pin 3.3V	50 mA
Memoria Flash	128 KB de las cuales 4 KB las usa el gestor de arranque (bootloader)
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB

Tabla 12 Características Técnicas Arduino[50]

7.1.1 CARACTERISTICAS

7.1.1.1 GRAN DISPONIBILIDAD DE LIBRERÍAS Y PROYECTOS

Esto simplifica las tareas de diseño, permitiendo así ahorrar tiempo en las mismas y enfocarse en el desarrollo del prototipo.

La enorme variedad de librerías disponibles son de gran utilidad para eventuales tareas de actualización del sistema, así como de expansión de sus capacidades.

7.1.1.2 BAJO COSTO Y DURABILIDAD

El precio de un Arduino oscila alrededor de los U$S 30 y se consiguen clones por aun menos. Esto se debe principalmente a que es un elemento de fácil reproducción, por lo que el precio se termina reduciendo prácticamente al costo de sus componentes.

De ser necesario funcionalidades extras, existe un universo considerable de fabricantes que proveen accesorios para implementarlas.

Su resistencia a los golpes es otra ventaja que lo hace atractivo para nuestro proyecto, que debe soportar vibraciones.

7.1.1.3 COMUNIDAD

La penetración actual de este dispositivo alcanza los 100.000 usuarios, siendo un gran protagonista de la comunidad DIY (do it yourself).

Tener un uso tan expandido, impacta en la cantidad de información disponible. Existen múltiples revistas, blogs, sitios webs y foros donde encontrar soporte de la comunidad.

7.1.1.4 MANEJO DE SENSORES

Mediante sus entradas analógico-digitales permite un manejo simple de sensores analógicos. A través de las interfaces SPI e I2C permite la utilización sencilla de sensores digitales.

7.1.1.5 HARDWARE ABIERTO

Esto permite su uso comercial sin necesidad de pagar licencias, incluso la eventualidad de fabricar un dispositivo propio de iguales características sin trámites ni pagos de ningún tipo.

7.1.1.6 ENTORNO DE DESARROLLO Y DRIVERS

El IDE software que permite la interacción mediante por ejemplo una computadora. El mismo tiene versiones compatibles con los principales sistemas operativos como son Mac, Windows y Linux.

Coherente con la política de Hardware abierto, esta plataforma es completamente libre.

Esto brinda una muy valiosa flexibilidad, ya que el no estar atado a un sistema operativo determinado, abre el abanico de posibilidades. Esto aplica tanto a nivel de programación y desarrollo, así como para su eventual mantenimiento.

Teniendo en cuenta que el objetivo final de cualquier proyecto de este tipo, es la masificación para la comercialización, contar con una plataforma abierta es una ventaja sustancial.

7.1.1.7 SIMPLICIDAD EN EL USO

Arduino se programa en un lenguaje de alto nivel, que resulta de muy fácil utilización. La amplia disponibilidad de ejemplos en la web, facilita la tarea de dominar el uso de la plataforma para cualquier usuario inexperto.

7.2 MODEM

7.2.1 MÓDEM GSM/GPRS: TELIT GL865[51]

El GL865 QUAD es el módulo GSM/GPRS con encapsulamiento LCC (Leadless Chip Carrier), el más pequeño del mercado. Es un bloque, que opera en las frecuencias 850/900/1800/1900 MHz, construido con tecnología SMD. Sus dimensiones son 24,4 x 24,4 x 2,7 mm y pesa 3.5 gr.

El encapsulamiento LCC elimina el coneccionado, lo cual sumado a su pequeño tamaño, permite el diseño de soluciones compactas de bajo costo.

El rango de voltaje puede variar entre 3,4 y 4,2V, siendo 3,8V el recomendado. Dependiendo de qué tipo de alimentación se utilice varía el diseño de la fuente recomendada. Las opciones son +5V, +12V o una batería. Para el caso +5V se recomienda la utilización de un regulador lineal para compensar la diferencia de voltaje. Se deberá colocar un capacitor de bypass adecuado para absorber los picos de voltaje. Así como un diodo a la entrada para protegerlo de la inversión de polaridad de la fuente.

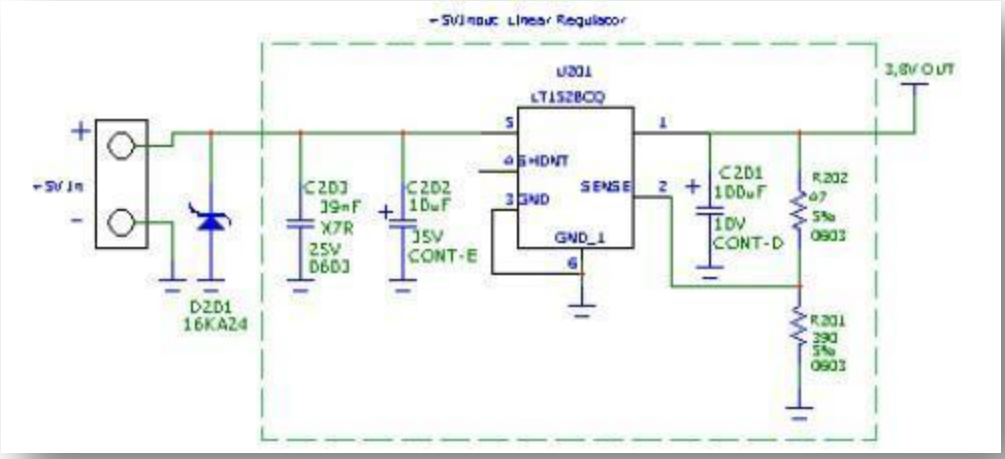


Figura 29 Regulador Lineal

Si se escoge una fuente de 12V se deberá utilizar un regulador switcheado de 500kHz o más. Al igual que el caso anterior se deberá colocar un capacitor de bypass adecuado para absorber los picos de voltaje. Así como un diodo a la entrada para protegerlo de la inversión de polaridad de la fuente.

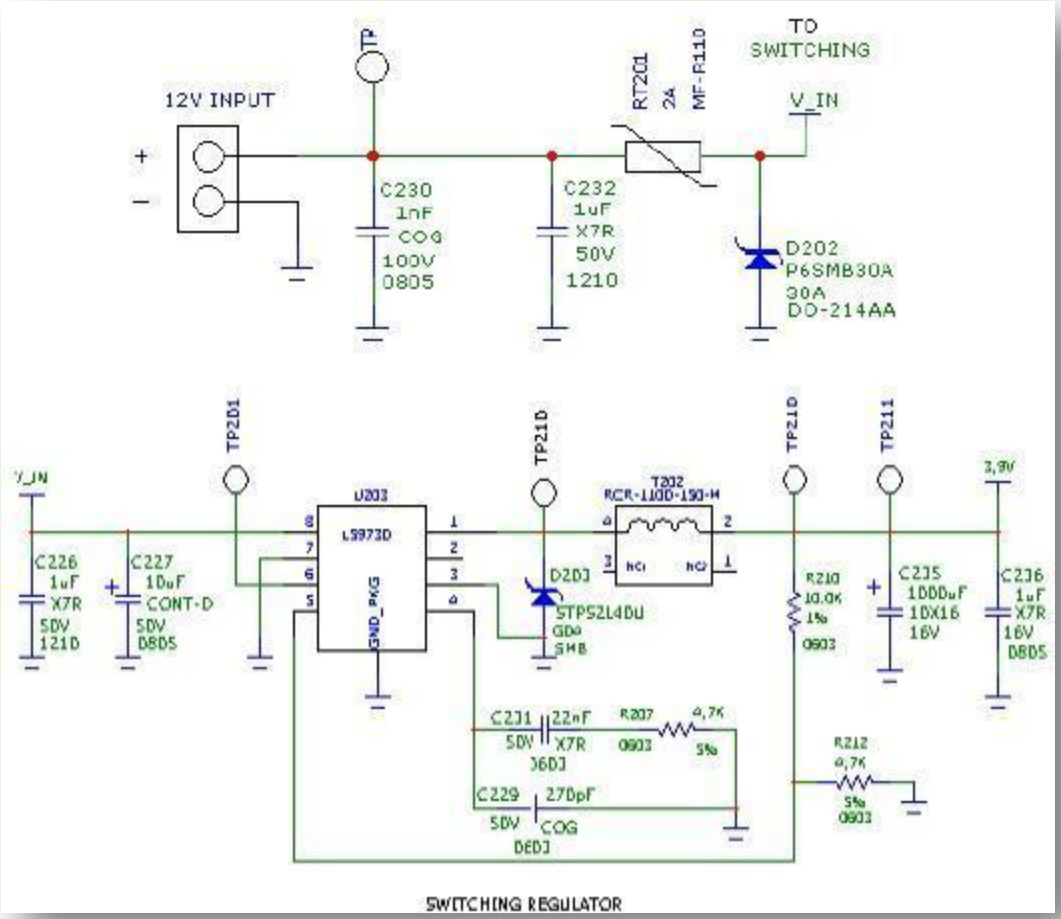


Figura 30 Regulador de Switcheo

La tercera opción es directamente utilizar una batería de litio de 3,7V. Estas son sumamente estables por lo que no requiere la implementación de protecciones. El problema que presenta esta solución es que requiere el cambio de la misma cada vez que la batería se agote.

El control se realiza mediante comandos AT (3GPP 27.005, 27.007) y AT propietarios Telit

Éste módulo pertenece a la empresa TELIT. A continuación se detallan las especificaciones.

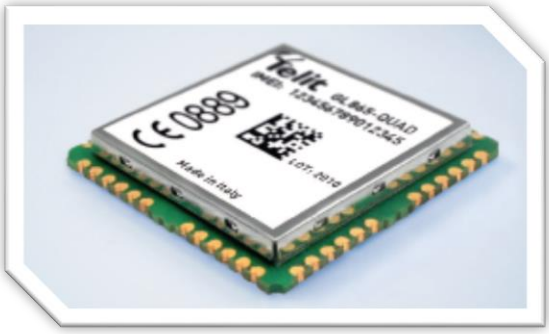


Figura 31 GL865

7.2.1.1 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES:

7.2.1.1.1 ENCAPSULAMIENTO LCC

- Cuatribanda: GSM/GPRS 850/900/1800/1900 MHz
- Stack de protocolos GSM/GPRS 3GPP Realease 4
- Control vía comandos AT según 3GPP TS 27.055, 27.007 y comando propietarios Telit
- Puerto Serial Multiplexador 3GPP TS 27.010
- Acceso al stack TCP/IP vía comandos AT
- Dimensiones: 24.4x24.4x2.7 mm
- Peso: 2.8 gramos
- Potencia de Salida:
    - Clase 4 (2W) @ 850/900 MHz
    - Clase 1 (2W) @ 1800/1900 MHz
- Rango Voltaje de alimentación: 3.22 - 4.5VDC (3.8VDC recomendado)
- Consumo:
    - Apagado: <5 uA
    - Suspendido: 1.5 mA @DRX=9
    - Modo Dedicado: 230 mA @ máxima potencia
- GPRS cl. 10: 360 mA @ máxima potencia
- Rango de Temperatura
- -40ºC a +85ºC

7.2.1.1.2 INTERFACES:

- Audio Analógico/Digital
- 8 puertos I/O
- 2 conversores A/D y 1 conversor D/A

7.2.1.1.3 SMS:

- SMS punto a punto
- Soporta SMS concatenados
- SMS cellbroadcast
- Modo Texto y PDU
- SMS sobre GPRS

7.2.1.1.4 OTROS:

- Real Time Clock
- Monitor de Eventos
- Comandos AT remotos

A continuación se muestran los pines del módulo de comunicación TELIT GL865.

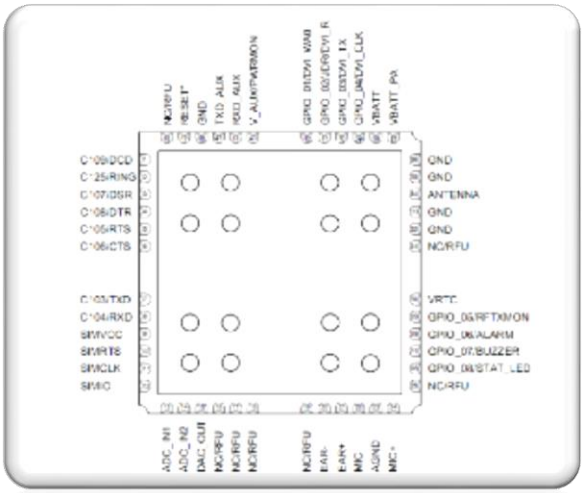


Figura 32Pines GL865

7.2.2 Placa de Diseño [52]

7.2.2.1 Descripción

Al momento de comprar los componentes se opto por adquirir una placa de prueba diseñada a medida que ya los incluía. Existen dos opciones en el mercado:

- EVK2[53]kit de desarrollo oficial TELIT
- Reference Design ambiente de desarrollo ITECH

Esta placa llamada "reference design" es el equivalente a un "kit de desarrollo". Su fin es poder realizar desarrollos y configuraciones variadas con los módulos, por lo que incluye una diversidad de interfaces, sockets, antenas, etc.

La enorme ventaja de este "reference design" frente al kit de Telit yace en el precio. Con un diseño simple y compacto, presenta las mismas funcionalidades que el kit a un precio mucho menor.

7.2.2.2 Diseño

Interfaces:

1- Alimentación – conector CN11
2- SIM card 1 – conector CNS1
3- SIM card 2 – conector CNS2
4- Porta RS232 GSM – conector DB9 CN4
5- Porta RS232 GPS – conector DB9 CN1
6- UART GSM directa (C-MOS 2.8V) – CN5
7- UART GPS directa (C-MOS 2.8V) – CN8

8- UART secundaria GSM directa (C-MOS 2.8V) – CN2
9- Conector P2 para headset – CN12
10- Interface de audio – CN7
11- Interface para IOs – CN9
12- Interface para ADC y DAC – CN6

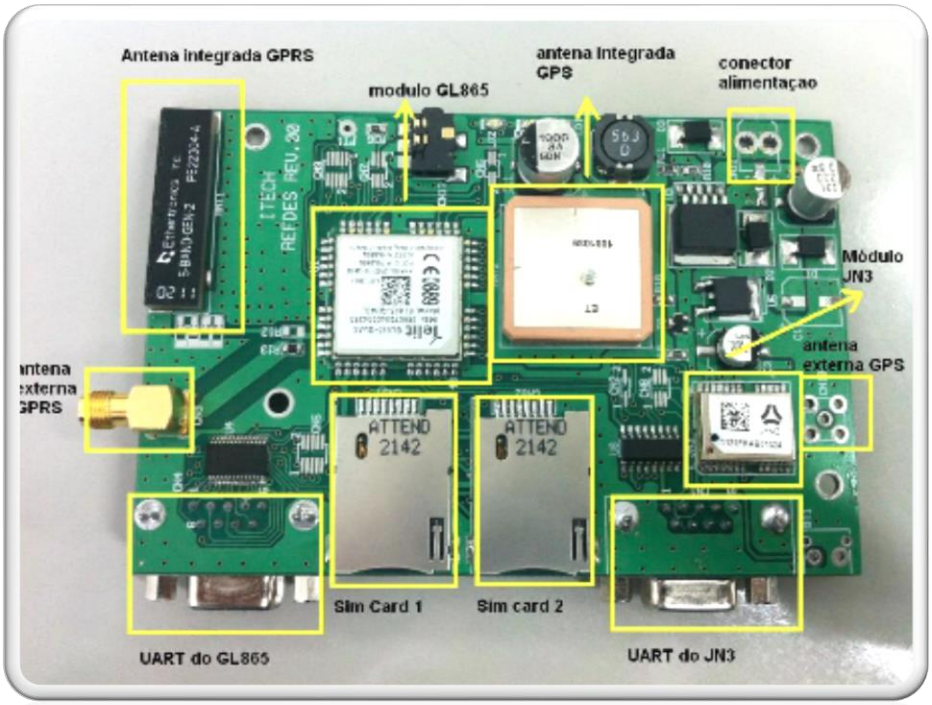


Figura 33 Reference Design

7.2.2.3 Operación

7.2.2.3.1 Alimentación

La placa es alimentada por una fuente DC que soporta un voltaje que va entre 6 y 30V. Los módulos son alimentados por reguladores diferentes, el JN3 utiliza el LP2950-3.0V mientras que el GL865 usa él LM2596-ADJ configurado para una tensión de salida de 3,8V. La placa se alimenta a través de un conector micro-fi CN11.

El conector fue construido por el grupo debido a que no se encontró en plaza. En los últimos días previos a la finalización del proyecto se logró tener un conector de éstos enviado por gentileza de Itech proveedor del kit de desarrollo.

De acuerdo con las especificaciones del reference design[**52**] el consumo máximo de dicho módulo es de 200 mA @ 12v, teniendo un consumo en reposo de 50 mA @ 12v.

En las medidas efectuadas, no fueron registrados consumos superiores a 90 mA @ 7v con una corriente de standby de 65 mA @ 7v.

7.2.2.3.2 ANTENAS

La placa adquirida incluye dos posibilidades para la antena GPRS, una antena externa o una embebida P522304 de la empresa Ethertronics. Ambas antenas no pueden ser utilizadas simultáneamente, la elección de cual será utilizada es hecha a través de los resistores R13 y R12. Si el resistor presente es el R12 entonces la placa tiene conectada la antena integrada, mientras en el caso contrario queda configurado para recibir a través de un conector SMA CN3 señales externas.

La misma lógica aplica al módulo GPS. Si el resistor activo es el R2 entonces el kit está configurado para utilizar una antena externa. Mientras que si esta activo el resistor R1, estará activa la antena integrada 1001039 también de la empresa Ethertronics

7.2.2.3.3 COMUNICACIÓN SERIAL

El reference design presenta 3 posibilidades a la hora de realizar una comunicación serial.
Tanto el GL865 como el JN3 se conectan mediante la conexión serial por medio de una aplicación del tipo HyperTerminal o Putty.
El GL865 se conecta a una velocidad máxima de 115200, 8 bits de datos, sin paridad y un bit de parada.

La primera de las posibilidades forma de conexión se logra utilizando los conectores DB9. El módulo GL865 está ligado al conector hembra DB9 CN1 mediante una comunicación serial RS232 completa, estándar DCE. El JN3 se conecta al DB9 CN1 mediante una comunicación serial RS232 parcial, apenas Tx y Rx, estándar DTE.

La segunda opción se realiza conectando directamente los pines de la UART utilizando, por ejemplo, un micro controlador. Los pines del GL865 están conectados a la barra de pines CN5. El GL865 utiliza una lógica C-MOS con un nivel de tensión nominal de 2,8V. Es por esto que el circuito posee un divisor de tensión, pudiendo así tolerar valores provenientes de dispositivos externos de hasta 3,3V. Los pines de la UART están conectados a la barra de pines CN8.

La tercera opción para este tipo de comunicaciones permite interconectar las UARTs de ambos módulos. El GL865 posee 2 UARTs, una principal y una secundaria, mientras que el JN3 está directamente conectado a la secundaria del GL865. Para lograr la interconexión los resistores R8 y R9 deben estar montados. La utilización de la UART secundaria es posible únicamente mediante programación en Python.

En el proyecto se decidió utilizar la interfaz serial TIA/EIA-232-F, por facilidad de uso, posibilidad de conectar alternativamente la placa a un PC o al dispositivo en construcción, y el bajo costo de fabricar la interfaz TTL/232.

7.2.2.3.4 SIM CARD

Adicionalmente posee 2 bahías para la conexión de SIM card. Esto permite crear un sistema redundante que garantice una mayor disponibilidad. Los SIM card no pueden ser utilizados simultáneamente, solo uno puede estar activo. Quien determina cual debe estar activo es el GL865 mediante GPIO1 (General Purpose

Input/Output). Cuando el nivel lógico de esta última está en 0, entonces el activo es el SIM card 1. De lo contrario estará actico el SIM card2.

7.2.2.3.5 I/O

El reference design dispone de 8 GPIO totalmente configurables mediante comandos AT. Además de su funcionalidad como I/O, cada una posee una función secundaria también configurable vía comando AT. El equipamiento cuenta también con ADC y un DAC que pueden ser configurados mediante comandos AT. Estos están interconectados a las barra de pines CN6.

7.2.2.3.6 LEDs

Por último, el reference design posee 3 LEDs indicadores de funcionamiento. El primer LED está conectado al pin 1PPS del JN3. Este se prende cuando el JN3 recibe una adquisición completa de un informe de posición. El segundo LED está conectado al pin GPIO8/STAT del GL865 y se utiliza para indicar el status de conexión a la red celular. Finalmente, el tercer LED se conecta el pin PWRMON del GL865 e indica si el módulo esta encendido y en funcionamiento.

7.2.3 PROBLEMA DETECTADO GPS.

En el transcurso del proyecto se detectó un problema de funcionamiento del JN3. El mismo fue verificado a partir de la secuencia de luz desplegada por el kit de desarrollo. Una vez que ya se contaba con la placa de comunicación operativa ocurrió un problema en la manipulación que llevó a la rotura del módulo GPS, JN3. Por tal motivo se solucionó tal inconveniente de la manera más rápida posible, siendo ésta pedir prestado un módulo independiente GPS mientras se realizaba la compra, como se describe en [Capítulo 7.3.1.1].

7.3 ADQUISICIÓN

7.3.1 GPS ENGINEBOARD ER-411

Luego de la falla del módulo GPS de la placa de comunicaciones, continuamos las pruebas de funcionamiento con el módulo GPS ER-411, con el que contamos en calidad de préstamo mientras solucionamos el problema.

EM-411 GPS es una placa, de bajo costo pero de de gran fidelidad y exactitud. Es por esto que es ideal para la integración con sistemas OEM/ODM. Esta placa incluye una antena integrada para su completa integración[54].

7.3.1.1 CARACTERÍSTICAS:

- SiRF Star III alta performance chipset GPS
- Alta sensibilidad (-159dBm)
- Extremely fast TTFF (Time To First Fix) at low signal levels
- Soporta protocolo NMEA 0183
- Built-in SuperCap para una rápida adquisición de información desde el satélite.
- Antena integrada
- Tamaño Compacto
- 20 canales de procesamiento paralelo
- Tiempo re adquisición 100ms

7.3.1.2 ESPECIFICACIONES

7.3.1.2.1 RECEPTOR GPS

- Chipset SiRF Star III/LP Single
- Frequency L1, 1575.42 MHz
- Code 1.023 MHz chip rate
- Protocol Electrical Level: RS232 level,
- Baud Rate: 4800 bps
- Output Message: NMEA 0183 GGA, GSA,
- GSV, RMC, VTG, GLL
- Channels 20
- Sensitivity -159dBm
- Cold Start 42 seconds average
- Warm Start 38 seconds average
- Hot Start 1 second average
- Reacquisition 0.1 second average
- Accuracy Position: 10 meters, 2D RMS
- 5 meters, 2D RMS, WAAS enabled
- Velocity: 0.1 ms
- Time: 1µs synchronized to GPS time
- Maximum Altitude 18,000 meters (60,000 feet) max

- Maximum Velocity 515 meter/second (1000 knots) max
- Datum WGS-84
- Jerk Limit 20m/sec **3

7.3.1.2.2 INTERFACE

- I/O Connector Type
- External Antenna Port

7.3.1.2.3 PHYSICAL CHARACTERISTIC

- Dimensions 1.2” x 1.2” x 0.4” (30 x 30 x 10.5mm)

7.3.1.2.4 DC CHARACTERISTICS

- Power Supply 4.5V~6.5V DC
- Power Consumption 44mA (Continuous Mode)
- 25mA (Trickle Power Mode)

7.3.1.2.5 ENVIRONMENTAL RANGE

- Humidity Range 5% to 95% non-condensing
- Operation Temperature -40F to +176F (-40C to 85C)

En la [Figura 34] vemos los pines correspondientes al módulo GPS ER-411.

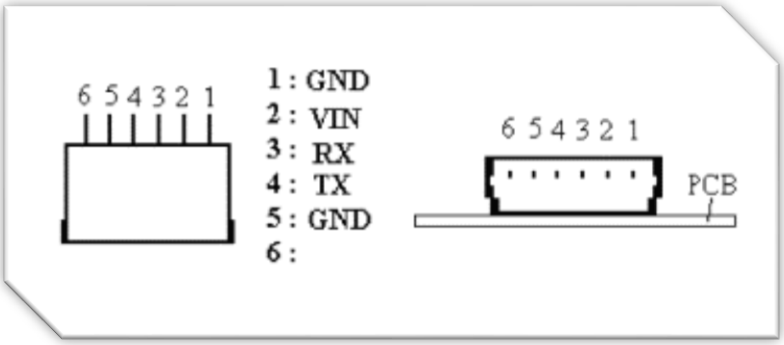


Figura 34 Pines Modulo GPS ER-411

7.3.2 PROCESO DE SELECCIÓN Y COMPRA DEL CHIP GPS Y SU ANTENA

Analizando la situación, extrajimos las siguientes consideraciones:

1.- El prototipo requería que se conectara un sensor al mismo, lo que implicaba sacar un cable de dentro del vehículo hacia el exterior, en particular, al techo del mismo.
2.- A los efectos de tener una mejor comunicación, se nos recomendó utilizar la antena exterior para el módulo de comunicaciones. Así, estábamos poniendo otro cable que iba del prototipo al exterior del vehículo.
3.- Teníamos la libertad de elegir un módulo de GPS que tuviera antena incorporada o una conexión para una antena exterior.

Se realizó un estudio de los módulos a los que podíamos tener acceso, con y sin antena exterior.
El mismo se indica en la [Tabla 13]

	EM-406A SiRF III	Venus GPS with SMA Connector	RXM-SG GPS Module	PMB-688 GPS SiRF
Chipset	EM-406A SiRF III	Venus638FLPx	SiRFstar III	SiRFstar III
Cantidad de canales	20	65	20	20
Sensitividad	-159 dB	-165 dB	-159 dB	-159 dB
Precisión	10 m	2.5 m	10 m	10 m
Arranque en "caliente"	1 s	1 s	1 s	1 s
Arranque en frío OPEN SKY	42 s	29 s	42 s	42 s
Voltaje	4.5 a 6.5	2.7 a 3.3	3.3 a 5 V	3.3 a 5 V
Consumo	70 mA	60 a 90 mA	65 mA	65 mA
Salida NMEA	Si	SI	Si	Si
Salida SiRF	Si	No	Si	Si
Salida WGS-84	No	Si	No	No
Frecuencia de posición	1 Hz	1/2/4/5/8/10/20 Hz	1 Hz	1 Hz
Antena	Incorporada	Externa, no incluida	Externa, incluida	Externa, no incluida
Led Status	Si	No	Si	Si
Batery Backup	Si, condensador	Externa	Si, incluida CR2031	Si, incluida CR2031
Interfase serial	5 V	3.3 V	3.3 V	TTL
Proveedor	SparkFun 59,95	SparkFun 49,95	Parallax 39,99	Parallax 39,99
	https://www.sparkfun.com/products/465	https://www.sparkfun.com/products/11058	http://www.parallax.com/Store/Sensors/CompassGPS/tabid/173/ProductID/703/List/0/Default.aspx	www.parallax.com/Store/Sensors/CompassGPS/tabid/173/ProductID/645/List/0/Default.aspx
				http://www.robotshop.com/parallax-pmb-688-gps-receiver-module-cable-3.html
				http://microcontrollershop.com/product_info.php?products_id=4940

Tabla 13 Módulos GPS con y sin antena exterior

De la misma manera, se realizó una comparativa de costos de antenas, la cual figura en la [Tabla 14]

	Antenna GPS 3V Magnetic Mount MCX	Antenna GPS 3V Magnetic Mount SMA	GPS Antenna with MMCX Connector
Voltaje	3.3V +/- 0.5V	3.3V +/- 0.5V	
Consumo	12mA	12mA	
VSWR	<2.0	<2.0	
Peso	50 gr	50 gr	
Magnética	Si	Si	Si
Cable	5 m	5 m	5m
Conector	MCX	SMA	MMCX
Impedancia	50 ohm	50 ohm	50 ohm
Proveedor	SparkFun 12,95	SparkFun 12,95	MicrocontrollerShop 9,99
	https://www.sparkfun.com/products/8254	https://www.sparkfun.com/products/464	http://microcontrollershop.com/product_info.php?products_id=4939
			Parallax 9,99
			www.parallax.com/Store/Accessories/CablesConverters/tabid/166/List/0/ProductID/646/Default.aspx

Tabla 14 Costos ANTENAS

Del estudio primario se desprende que el GPS con chipset VENUS es una generación posterior a los demás. Es bastante más sensible, puede seguir a una cantidad mayor de satélites, tiene una frecuencia de actualización variable, y un modo de bajo consumo no encontrado en los otros. La precisión obtenida es mucho mejor: 2.5 m versus 10 m.

El conector para antena exterior es un SMA, y las antenas con conector SMA son abundantes y económicas. Sin modificaciones o jumpers trabaja con antenas pasivas o activas. Además, el firmware que incluye es modificable: el proveedor tiene varias versiones del mismo.

Es un receptor sumamente pequeño en tamaño, pero muy poderoso y versátil. Sus sentencias pueden ser NMEA-0183 o SkyTraq a 9600 bps, con updates de hasta 20 Hz. Eventualmente, tiene una capacidad limitada de onboard logging y puede trabajar directamente con una memoria flash SPI.

Características:

- Chipset Venus 638 FLPx
- -148dBm cold start sensitivity
- -165dBm tracking sensitivity
- 29 second cold start TTFF
- 3.5 second TTFF with AGPS
- 1 second hot start
- 2.5m accuracy
- Soporta protocolo NMEA 0183 y SkyTraq
- Multipath detection and suppression
- Jamming detection and mitigation
- 75 canales de procesamiento paralelo
- Requiere antena exterior, pasiva o activa.
- Memoria flash interna
- Soporta memoria externa flash SPI.
- Soporta SBAS (WASS y EGNOS)

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Receiver Type L1 frequency
GPS C/A code
SBAS capable
65-channel architecture
8 million time-frequency searches per second

Accuracy Position 2.5m CEP
Velocity 0.1m/sec
Timing 60ns

Open Sky TTFF 29 second cold start
3.5 second with AGPS
1 second hot start

Reacquisition < 1s

Sensitivity -165dBm tracking
-148dBm cold start

Update Rate 1 / 2 / 4 / 5 / 8 / 10 / 20 Hz (defau
lt 1Hz)

Dynamics 4G

Operational Limits Altitude < 18,000m*1 , Velocity < 515m/s *1

Datum Default WGS-84

Interface	UART LVTTL level
Baud Rate	4800 / 9600 / 38400 / 115200
Protocol	NMEA-0183 V3.01, GGA, GLL, GSA, GSV, RMC, VTG (default GGA, GSA, GSV, RMC, VTG) SkyTraq Binary
Main Supply Voltage	2.8V ~ 3.6V (Venus638FLPx-L) 2.8V ~ 3.6V, 1.08V ~ 1.32V (Venus638FLPx-D)
Backup Voltage	1.5V ~ 6V
Operating Temperature	-40 ~ +85 deg-C
Storage Temperature	-40 ~ +125 deg-C
Package	LGA69 10mm x 10mm x 1.3mm, 0.8mm pitch

*1 *1: COCOM limit, either may be exceeded but not bot

Diagramas de bloque

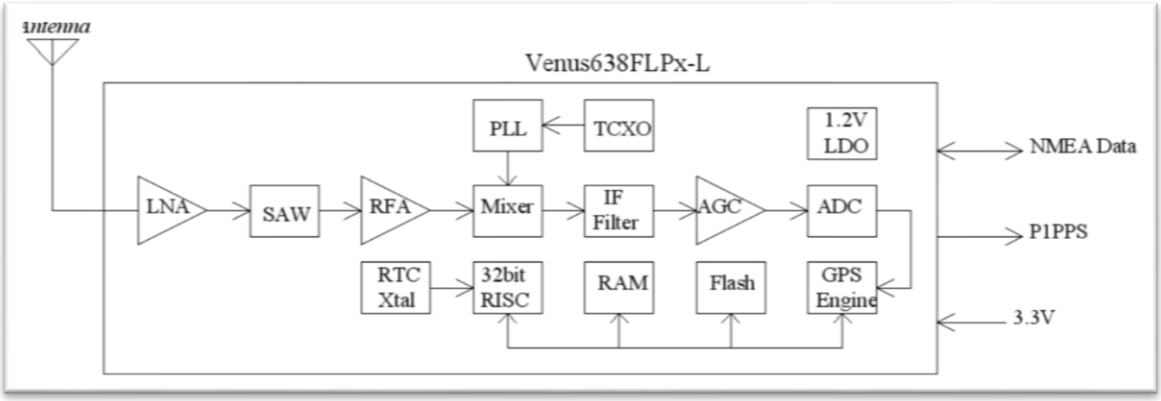


Figura 35 Diagrama bloques VENUS[HYPERLINK "" \l "Ven5" 120]

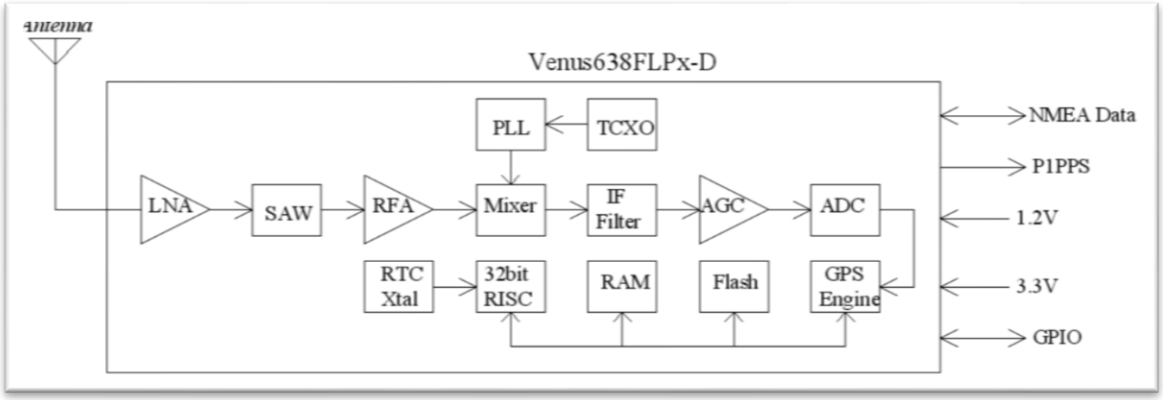


Figura 36 Diagrama bloques VENUS[150]

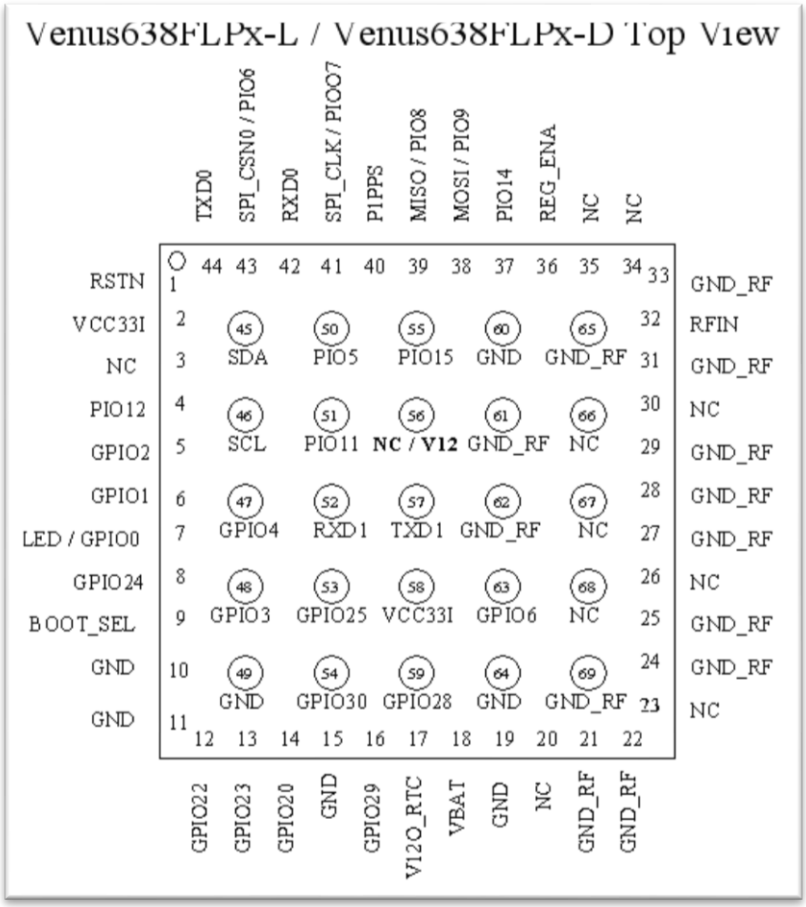


Figura 37 PINES VENUS

DC CHARACTERISTICS OF DIGITAL INTERFACE
Below is when VCC3I is at nominally 3.3V[**55**]

Parameter	Min.	Typ.	Max.	Units
Input Low Voltage			0.8	Volt
Input High Voltage	2.0			Volt
Output Low Voltage, Iol = 2 ~ 16mA			0.4	Volt
Output High Voltage, Ioh = 2 ~ 16m	2.9			Volt

Se le puede agregar un supercapacitor de 0.2 F para mantener el GPS en modo hotstartable por 7 horas. En este modo, se mantiene reloj interno corriendo mientras el resto de la circuitería se apaga. Cuando vuelve a encenderse, el chip calcula inmediatamente las posiciones de los satélites visibles en lugar de realizar una búsqueda exhaustiva.

7.3.3 ADQUISICIÓN UV

Una vez que el estudio del estado del arte había concluido, el siguiente paso era lógicamente escoger un sensor con las características necesarias para el proyecto.

Se contactó a los principales proveedores, a estos se les pasó un detalle de las características necesarias del dispositivo así como las del proyecto. En el entendido que un proyecto con fines académicos, requiere asistencia técnica así como mayor orientación.

Como era de esperar se obtuvieron respuesta solo de algunos de los proveedores contactados. Esto era previsible, dado que era una compra de pocos ítems y de costo medio.

La [Tabla 15] contrapone las características de los sensores más relevantes recomendados por los proveedores contactados. Basados en dicha tabla y en las consideraciones de la sección 7.3.3.1, se desprende que el sensor Tocon E2 es el más adecuado para la globalidad del proyecto.

	Skye	Solar Light	Boselec	
	SKU 440	PMA1101	SG01M-E18	Tocon E2
UVI	Si	Si	Si	Si
WeatherProff	Sumergible 3m	SI	Requiere un contenedor	Requiere un contenedor
Detector	TiO3	SiC	SiC	SiC
Operación Temp (ºC)	-30 a +60º	0º a 50º (sin precipitacion)	-55º a 170º	-25º a +85º
Operación Humedad	0-100%RH	?	?	?
Respuesta espectral	280 a 315 Erytema	280 a 320 nm Erytema	280 a 405 nm Erytema	280 a 405 nm Erytema
Rango de trabajo	0-30UVI			0-30UVI
	0-0,75 W/m2	0,01µW/cm2 a 1mW/cm^2	3,6 pW/cm2 up to 54 W/cm2	
Rango de salida	0 a 1 V	0 a 5 V		0 a 15 V
Sensibilidad	33mv/UVI		1 UVI=500pA	100mV/UVI
	1,32V/W/m2			
Resolucion		0.01[W/m^2]		
Termal drift	0,075mV/ºC max			
Zero offset	"+-1mV			
Termal drift del offset	0,03mv/ºC	1% /ºC para radiacion solar		
Output Impedance	500 ohm		Require un preamplificador	Infinita
Power	5-15Vdc	+/-5Vdc	2.5 a 5 V dc	2.5 a 15 Vdc
Linearidad	mayor 1%			
Error absoluto max	5%		3%	3%
Error de azimut	menor 1%			

Tabla 15 - Características de Sensores

7.3.3.1 ROL DE LOS PROVEEDORES Y CONSIDERACIONES PARA LA ELECCIÓN DE SENSOR.

Del estudio de las distintas opciones alcanzables que se tenían dentro de los parámetros del presupuesto, y de otros como referencias y predisposición del proveedor, se decidió por el sensor TOCON E2, fabricado por la empresa Alemana: SgLux.[**56**]

Los aspectos destacables del proveedor son la tecnología manejada y la variedad de dispositivos ofrecidos. La firma ofrece sensores rápidos, de bajo ruido, inmunes a la radiación visible y estables en la temperatura. Además, era posible disponer de un sensor que tuviera una salida compensada con la absorción de la piel (gráfica del eritema [Figura 1]) y que midiera directamente el índice ultravioleta (UVI), incluyendo una serie de sensores pre-amplificados y estabilizados con alimentación de 5v[**57**].

La casa cuenta con filiales en el Reino Unido y en los Estados Unidos, lo que permite un contacto en inglés y posibilidades de envío desde USA.

El precio del sensor ofrecido, resultó el más apropiado al presupuesto que teníamos. A pesar de contar con U$S 2.000 dólares para la ejecución del proyecto, era parte del mismo considerar un esquema a gran escala.

En este caso, poco se justificaría colocar un sensor mucho más caro, y que fuera montado en el techo de un ómnibus que recorriera el país, sometido a las inclemencias del tiempo y a eventuales vandalismos o robos. Un sensor más económico, posiblemente con algún sistema sencillo para poder colocarlo o quitarlo a voluntad, surgió como respuesta a este planteo de llevar a la realidad de nuestro país un sistema de sensores de este tipo.

Descripción	Tocon E2
UVI	Si
WeatherProff	Requiere un contenedor
Detector	SiC
Operación Temp (ºC)	-25º a +85º
Operación Humedad	?
Respuesta espectral	280 a 405 nm Erytema
Rango de trabajo	0-30UVI
Rango de salida	0 a 15 V
Sensibilidad	100mV/UVI
Output Impedance	Infinita
Power	2.5 a 15 Vdc
Linearidad	
Error absoluto max	3%

Tabla 16 Características Tocon E2

7.3.3.2 SIMULANDO EL SENSOR DE UVI

Desde el punto de vista eléctrico, un sensor ultravioleta, es un dispositivo que entrega un voltaje proporcional, a un factor ya conocido, que se relaciona con la radiación ultravioleta incidente. GEULMóvil cuenta con un sensor de índice de radiación ultravioleta, el cual idealmente entrega un voltaje proporcional al índice ultravioleta percibido.
La elección del medidor UV óptimo para el proyecto fue una tarea demandante, tanto desde el punto de vista de investigación previa requerida como por los tiempos involucrados para realizar la compra y poder contar con

el sensor. Por otro lado, el medidor es un dispositivo de precisión y alto costo, por lo que es necesario extremar cuidados al manipularlo.
Las dificultades, mencionadas anteriormente derivaron en la necesidad de contar con un circuito que pudiera sustituir al sensor UV para la pruebas de interconexión entre módulos, disminuyendo así los riesgos de ruptura. Era deseable tener un circuito que simulara no idealidades y características similares a las del sensor, como por ejemplo presencia de ruido o posibles interferencias. Se decidió entonces, usar un sistema emisor/receptor de radiación infrarroja para simular el funcionamiento. Los detalles de este simulador se encuentran en el Anexo.

7.3.3.3 CODIGO DE PROTECCIÓN IP

El Código IP, entrada de elementos de protección, clasifica y califica el grado de protección que ofrece contra la penetración de cuerpos sólidos (incluyendo partes del cuerpo como las manos y los dedos), el polvo, el contacto accidental, y el agua en cubiertas mecánicas y con recintos eléctricos.

El estándar está definido precisamente en "IEC 60529: Degrees of protection provided by enclosures (IP Code). International Electrotechnical Commission, Geneva."

FORMATO DEL CÓDIGO:

INDICADOR IP	PROTECCIÓN A PARTICULAS	PROTECCIÓN A LÍQUIDOS	RESISTENCIA AL IMPACTO MECÁNICO	OTRAS PROTECCIONES
IP	Numeral: 0-6	Numeral: 0-8	Numeral: 0-9	Letra
Obligatorio	Obligatorio	Obligatorio	No se usa más	Opcional

Tabla 17 Formato Código IP

El primer dígito (protección a partículas solidas) indica el nivel de protección que el recinto ofrece contra el acceso a partes peligrosas (por ejemplo, conductores eléctricos, partes en movimiento) y la penetración de cuerpos sólidos extraños.

El nivel de dicha protección está indicado por un número del 0 (sin protección) al 6 (protección completa contra contactos)

El segundo dígito indica el nivel de protección que ofrece el recinto contra la penetración perjudicial de agua. Este digito va del 0 (sin protección) al 8 (soporta inmersión continua en agua)
El tercer dígito (resistencia al impacto mecánico) se ha dejado de usar, y el cuarto (otras protecciones) es opcional.

El sensor UV usado tiene un ranking de protección IP68, lo cual significa que provee la máxima protección posible respecto al ingreso de partículas solidas y agua[58].

7.4 CIRCUITO INTEGRADO – CONVERSOR TTL/RS232

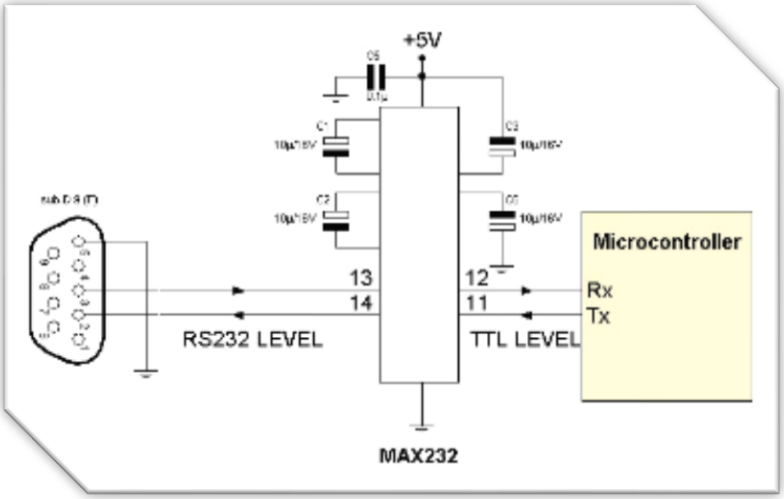


Figura 38 - MAX 232 - Conversor de nivel TTL/RS232

El circuito integrado lleva internamente 2 conversores de nivel de TTL a RS232 y otros 2 de RS232 a TTL con lo que en total podremos manejar 4 señales del puerto serie del PC, por lo general las más usadas son; TXD, RXD, RTS, CTS, estas dos últimas son las usadas para el protocolo handshaking pero no es imprescindible su uso. Para que el MAX232 funcione correctamente debemos poner unos condensadores externos, todo esto lo podemos ver en la [Figura 38] en la que solo se han cableado las líneas TXD y RXD que son las más usualmente usadas para casi cualquier aplicación.

En el MAX232 todos los condensadores deben ser de 1 microfaradio para llegar hasta 120 Kbps o de 100 nanofaradios para llegar hasta 64 Kbps. Para el MAX232A los condensadores han de ser de 100 nanofaradios y se consiguen hasta 200 Kbps.

Usos: Este integrado es usado para comunicar un micro controlador o sistema digital con un PC o sistema basado en el estándar RS232.

- Características a +5v, condensadores de 100 nF:
- Vcc: de 4,5v a 5,5v.
- Consumo: 4 mA (15 mA con carga a la salida de 3 KOhm).
- Entradas compatibles TTL y CMOS.
- Tensión de entrada máxima RS232: +/- 30v.
- Tensión de Salida RS232: +/- 15v.
- Tensión de salida típica de +/-8v con carga nominal de 5 KOhm en RS232.
- Resistencia entrada RS232: 5 KOhm (a masa).
- Resistencia entrada TTL/CMOS: 400 KOhm (a positivo).
- Las entradas se pueden dejar al aire.
- Entrada TTL al aire, se considera un "0" al invertirse en la salida.

8 ALIMENTACIÓN

8.1 CONSIDERACIONES DE DISEÑO Y CONSUMO

GEULMÓVIL está previsto para ser alimentado por baterías de auto o camiones de 12V o 24V indistintamente.

El módulo de alimentación tiene como fin disminuir dicho voltaje a la entrada a un voltaje intermedio bastante más bajo para que la mayoría de la potencia disipada y calor generado se concentre en dicho modulo, el cual dispone de disipadores térmicos [A.10.5]

Los módulos de los sistemas internos precisan otros voltajes de alimentación.

En detalle:

- Arduino puede alimentarse con 6V-20V, pero se recomiendan 7V-12V [Tabla 12]
- El GPS precisa 3.3 V para funcionar[**59**]
- La placa de comunicaciones necesita una alimentación de 6V-24V [7.2.2.3.1]
- El sensor UV trabaja a 5V [Tabla 15]

La alimentación del Arduino es de 6-20V, y la recomendada es de 7 a 12V. Cuando más tensión de alimentación, mas disipación hay en el regulador interno del Arduino, por lo que lo ideal es alimentarlo a 7V.

Si bien el consumo del GPS no es bajo (40-50mA), este puede ser alimentado directamente por el Arduino [Tabla 12] pues la salida de 3.3V provee hasta 60mA sin problemas.

De la misma manera, el sensor UV debe ser alimentado a 5V, y su consumo es muy bajo (0.8 mA) [Tabla 15], por lo que puede ser conectado a la salida de 5V del Arduino.

La placa de comunicaciones puede tener consumos considerables, 250mA de pico, al enviar los mensajes y unos 100mA en standby, por lo que es necesario alimentarla directamente. Desde el punto de vista de alimentación, siempre y cuando se esté en los límites recomendados, cuanto menor sea el voltaje de alimentación, menos calor se disipara.

De las consideraciones anteriores, se decide convertir el voltaje de entrada a 7V por intermedio del circuito de regulación. Éste circuito proveerá la alimentación directa para el modulo de comunicación y para el Arduino. El resto de los módulos serán alimentados por la salida del Arduino.

8.2 CALCULO TEÓRICO DEL CONSUMO DEL SISTEMA

En esta sección se realiza una estimación adecuada del consumo del sistema.

La Figura 39 muestra un diagrama del sistema en el que se enfatizan los dispositivos y el flujo de corriente y de energía que ellos reciben.

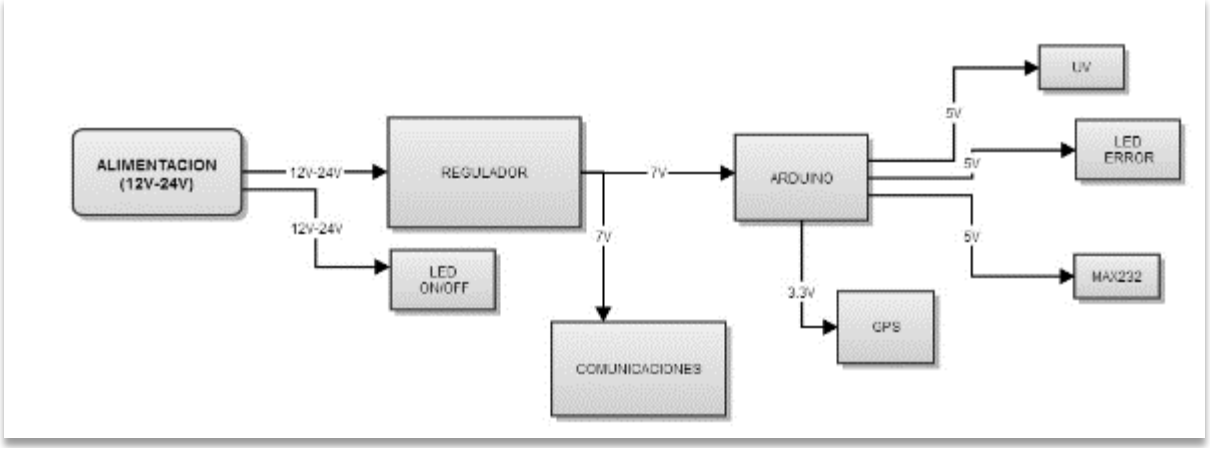


Figura 39 - Diagrama Conceptual del Sistema

A continuación se pasará a estimar las corrientes que ingresan a cada uno de estos sistemas para tener una noción del consumo total del prototipo.

8.2.1 CONSUMO DE LA PLACA DE COMUNICACIONES

De acuerdo con las especificaciones que fueron entregadas con la placa, el consumo máximo es de 200mA @12V, teniendo un consumo en reposo de 50mA @ 12V. De esta forma, son de esperar corrientes máximas del orden de 340mA y consumo en reposo de 90mA trabajando a 7V.

Sin embargo, basándose en medidas realizadas en el sistema en funcionamiento la corriente consumida por la placa es, la mayoría del tiempo, unos 100mA. Solamente hay un incremento en la corriente cuando la placa se inicializa y al enviar mensajes, momentos en los cuales esta llega a consumir unos 200mA.

Si bien se planea enviar mensajes cada 20 minutos, por seguridad, se plantea un esquema en el que estos se envíen cada 1 minuto. Una forma de onda típica de la corriente consumida se muestra en la Figura 40

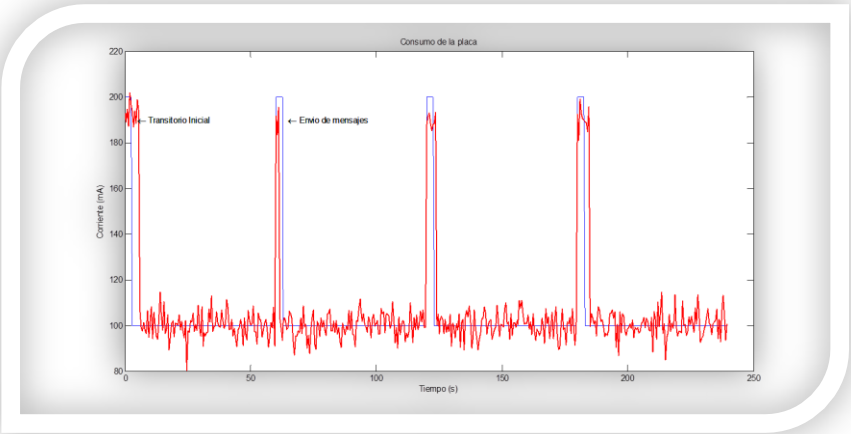


Figura 40 - Corriente consumida por la Placa

En la Figura 40 se muestra una forma de onda típica del consumo de corriente de la placa modelado como onda cuadrada, integrada al sistema y enviando mensajes cada un minuto. El primer pico corresponde al transitorio inicial y los picos de corriente siguientes están asociados al envío de los mensajes de texto, SMS.

Modelo tomado para la estimación de consumo:

- 5 segundos enviando.
- 55 segundos en modo normal de consumo.

Para dicha forma de onda, tanto el valor medio como el efectivo dan entrono a 110mA. Se estima entonces, basándose en el que el sistema envía cada más tiempo un consumo de 110mA.

Tensión de alimentación	Corriente RMS	Corriente Media	Corriente máxima
7V	110mA	110mA	200mA

Tabla 18 Estimación de Consumo

Otra posible estimación del consumo es tomar una suposición basado en los valores de la hoja de datos. Así, el consumo en standby sería de unos 90mA y el consumo al comunicarse es de 340mA. Enviando mensajes cada cinco minutos, se tendría un consumo RMS del orden de 100mA. El problema de esta estimación es que el consumo en standby de la placa resulto ser mayor que el esperado, y el consumo máximo menor. Como puede verificarse, ambas estimaciones dan valores similares y se escogió el primer método por adecuarse mejor a las medidas experimentales.

8.2.2 Consumo de Arduino

El Arduino Mega es el utilizado en el prototipo. Corriendo código suele consumir entre 10mA y 50mA [**60**][**61**].

Medidas así no están disponibles en documentación oficial, pues dependen del código del programa que se está corriendo y la frecuencia de trabajo. Se supone entonces un consumo de corriente de 50mA como precio a pagar por el procesamiento de datos.

Consumo de Arduino (sin carga): 50mA @7V

8.2.3 Sistema GPS

La tabla siguiente, tomada de la hoja de datos del fabricante [**62**][**63**] resume el consumo del corriente del dispositivo, alimentando a 3.3V como en nuestra aplicación.

Adquisición Mejorada	Adquisición de bajo consumo	Tracking
42mA	33mA	23mA

Tabla 19 Consumo corriente GPS

Como se puede ver, en el peor de los casos consume 42mA. De esta manera, se estima un consumo de corriente aproximado de 40mA para el dispositivo.

8.2.4 SENSOR UV

De la hoja de datos del sensor, sensores de la familia TOCON, se toman los siguientes parámetros.

Voltaje de alimentación	Consumo de corriente	Consumo de Potencia
5V	0.8mA	4mW

Tabla 20 Parámetros TOCON

Como puede verse, el consumo del sensor UV es muy bajo y puede ser despreciado.

8.2.5 MAX232

De la hoja de datos del conversor TTL-RS232 (MAX232) se tiene [**64**]

Voltaje de alimentación	Consumo de corriente típico	Consumo de corriente máximo
5.5V	8mA	10mA

Tabla 21 Parámetros TTL-RS232

En el peor de los casos, consume 10mA

8.2.6 LEDS

Son dos LEDS, cada uno con una corriente nominal de 20mA.

El circuito del LED de alimentación (ON/OFF) está alimentado por un capacitor conectado directamente a la tensión del móvil (12V-24V) y genera un consumo de 0.5W-0.25W que se le exigen a la batería del móvil.

El LED de error se alimenta mediante el Arduino a 5V, y si bien la mayoría del tiempo está apagado, puede llegar a consumir 0.1W.

8.2.7 DISPLAY 7 SEGMENTOS

Si bien este elemento es opcional y está pensado que se usa solo para el prototipo, se incluye una estimación de su consumo, basado en medidas experimentales. El display se alimenta mediante el Arduino a 5V, y consume alrededor de 20mA, basándose en medidas directas realizadas sobre él.

8.2.8 CONSUMO DEL SISTEMA

La Tabla 22, resume los consumos de corriente, voltaje de alimentación y potencia consumida de cada uno de los dispositivos relevantes. A su vez, la Figura 41 es de gran utilidad para visualizar las corrientes y voltajes involucrados en el consumo eléctrico del sistema

Dispositivo	Tensión	Corriente efectiva	Potencia consumida	Alimentado por
Arduino (sin carga)	7V	50mA	0.4W	Regulador
Comunicaciones	7V	110mA	0.8W	Regulador
GPS	3.3V	30mA	0.1W	Arduino
MAX232	5V	4mA	20mW	Arduino
Display	5V	20mA	0.1W	Arduino
Led de error	5V	20mA	0.1W	Arduino
Sensor UV	5V	0.8mA	4mW	Arduino
Led de standby	24V-12V	20mA	0.5W-0.25W	Batería

Tabla 22 - Tabla de Consumo de Componentes Principales

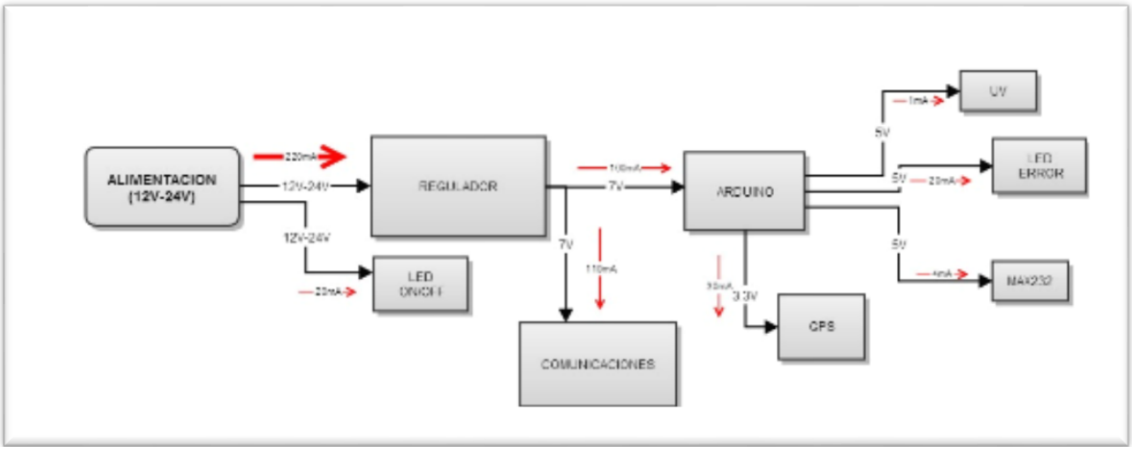


Figura 41 - Flujo de Corriente del prototipo - Corrientes efectivas

Se estima que el Arduino consumirá 0.7W en potencia.

Alimentado a 7V, se necesitará una corriente del entorno de 100mA para alimentar a los dispositivos que éste alimenta y para su consumo propio. Dichos 100mA son provistos directamente por el regulador.

En total, sumando los 110mA de la placa de comunicaciones se tienen alrededor de 210mA a la salida del regulador. De lo anterior, se espera que el sistema, exceptuando el regulador, disipe alrededor de 1.25W.

En total, la corriente entregada por la batería será del orden de los 240mA. Este consumo representa 5.6W para sistemas de 24V y 2.8W para sistemas de 12V. La mayoría de la energía entregada se disipa en el regulador, por lo que deben tenerse especiales cuidados para que este no se sobrecaliente, ver Anexo A.10.5, diseño térmico del regulador.

Debe tenerse en cuenta, que en la aplicación en donde el GEULMóvil está siendo alimentado por una batería de camión o auto, el mayor impacto que tiene el consumo es en el calentamiento del propio sistema, en particular el circuito de regulación y protección. Un consumo de unos 6 Watt como se menciona anteriormente no representa un consumo significativo para un dispositivo electrónico montado en un sistema así.

Como se ve en A.10.5 este posible impacto se soluciona colocando un disipador de tamaño adecuado en la etapa de regulación de voltaje.

En resumen, el consumo de corriente efectivo del sistema es de alrededor de 250mA, y se esperan consumos máximos de no más de 400mA.

9 DOCUMENTACIÓN DE SOFTWARE

Un sistema de tiempo real es aquel en el que se establecen restricciones temporales para la obtención de resultados o la realización de operaciones. El funcionamiento correcto del sistema requiere, por tanto, no solo que las operaciones se realicen correctamente, si no que se realicen en el momento y con la duración adecuada. Si se cumple esta condición se dice que el sistema es predecible. Tiempo real no es necesariamente sinónimo de rapidez; un sistema de tiempo real garantiza que el rendimiento temporal del sistema es el suficiente para resolver el problema al que está dedicado.

Los procesos en que el fallo al cumplir una restricción temporal tiene consecuencias severas se denominan de tiempo real duro o sistemas de tiempo real de misión crítica. Si no hay ninguna restricción temporal de estas características y se puede permitir que las restricciones temporales sean vulneradas en ocasiones se dice que estamos ante un sistema de tiempo real suave[**65**].

Un sistema de tiempo real puede definirse, entonces, como un sistema que debe satisfacer restricciones explícitas en el tiempo de respuesta o arriesgarse a severas consecuencias, incluida la falla**.**[**66**]

El sistema de GEULMóvil es un sistema que debe conocer en todo momento su posición geográfica, así como el día y la hora. Debe ser capaz de recibir información de un sensor. También debe poder enviar esta información por medio de un mensaje de texto a un servidor.

Analicemos las posibles fallas, excluyendo fallas catastróficas de hardware.

- No hay fix o lock del GPS. En este caso, la medida que se hace del índice UV no se puede precisar ni espacialmente (la geolocalización) ni temporalmente, porque el Arduino no cuenta con reloj de tiempo real, y no fue contemplado en el diseño incluir uno. Una causa de este problema es que el móvil se esté moviendo en una zona en donde las reflexiones de la señal de los satélites confundan al GPS, la recepción de la señal sea débil o las condiciones de propagación de la señal no sean suficientemente buenas. En este caso, la medida se pierde.

  Para atenuar esta condición, se toma una muestra por segundo. Esa frecuencia corresponde con a la frecuencia que el módulo GPS entrega información de posición. De esa forma, una falla temporal puede ser salvable.

- Error al enviar un mensaje de texto. Esto puede ocurrir si por ejemplo el móvil transita por una zona de poca cobertura, o por un momento de falla de la red celular. En este caso la información se pierde.

  Este fue un tema de discusión entre el equipo, y se decidió que era una característica a dejar constancia para una eventual mejora posterior.

- Problemas de comunicación, sea con el módulo de comunicaciones o con el módulo GPS. Esto puede darse porque, por ejemplo, el procesador no sea capaz de procesar la información recibida antes de que se pierda, o porque los tiempos en cuestión se prolonguen más allá de lo previsto.

El Arduino elegido[**67**]tiene un procesador ATMega1280, el cual tiene una arquitectura de 3 puertos seriales, más el puerto de monitor[**68**]. Para cada uno de los puertos USART el IDE de Arduino define unos buffers

circulares de 64 bytes. Como se menciona en **Error! Reference source not found.**, esto resultó insuficiente y se aumentó el tamaño del buffer.

De todas formas, en todo momento, el sistema está atendiendo a un solo puerto serial. Esto es, cuando el sistema está funcionando, en cada segundo muestrea el sensor UVI y chequea que haya un mensaje RMC proveniente del módulo GPS válido. La lectura del resultado de la conversión es despreciable en tiempo, comparada con todos los otros procesos. Por tanto, podemos suponer que mientras se esté muestreando el sensor, se está atendiendo completamente a los mensajes del GPS.

Cada cierto intervalo de tiempo, 55 segundos, se revisa por si se recibieron mensajes de texto, y se procesan. Este proceso, con la velocidad de comunicación del modem, demora del orden de 2 a 3 segundos. Durante este tiempo, no se procesan mensajes del GPS, y sencillamente se descartan en la cola circular. Tampoco se muestrea señal del sensor, por lo que no hay necesidad de tener datos de referencia espacial o temporal.

Cada otro cierto intervalo de tiempo, 20 minutos, se envía la medida del intervalo por mensaje de texto. Con el módulo de comunicaciones adquirido, el envío de un mensaje SMS demora cualquier cosa entre 5 segundos y 30 segundos, dependiendo de cómo responda la red en ese momento. Si demora más de 30 segundos, se considera un mensaje fallido. La medida, en ese caso, se pierde.

Como se ve, el sistema apenas puede ser catalogado de tiempo real suave, y no es de misión crítica. Con estas características, descartamos de plano programar un firmware multitarea sobre la estructura de Arduino que es naturalmente un loop. El firmware del sistema es, por tanto, un Polled Loop System.

9.1 MÓDULOS PROGRAMADOS

Para programar un Arduino hay que tener por lo menos dos funciones, setup() y loop().

La primera es llamada al iniciar o resetear el Arduino: la segunda, se repite indefinidamente.

9.1.1 SETUP()

Esta función se encarga de leer la información de la EEPROM donde figura el número de teléfono master, el número de teléfono servidor, varios parámetros del envío del mensaje SMS y algunos valores de memoria de contadores y de última posición conocida. Inicializa el subsistema de display LCD que puede o no estar presente junto con las declaraciones de los mensajes para el display, y comienza con el chequeo de las condiciones de error iniciales que fueron detectadas durante el transcurso de proyecto: que el modem no responda, que la tarjeta SIM no esté presente, que la tarjeta SIM esté bloqueada, y una situación bastante particular que se presentó durante un período de tiempo en el cual el módulo de comunicaciones fallaba intermitentemente: se conectaba a un proveedor de telefonía distinto al que se había contratado, y lógicamente, no podía registrarse en esa red. También lee el IMSI (International Mobile Subscriber Identity, una identificación única por cada aparato que se conecta a cualquier red celular, y el IMEI (International Mobile Equipment Identity), el que se toma como identificador único para cada móvil. Al final del proceso de inicialización, se inician los timers que cuentan el tiempo relativo al inicio y que sirven para establecer la unidad de tiempo interna del sistema: un segundo.

Durante el transcurso de estos chequeos se envía información al display LCD y también por el puerto de monitor serial.

Funciones llamadas por **setup():**

void cargarErrores ()

Carga en un vector los strings a mostrar en el display o por el monitor serial en caso de los distintos errores

void iniciarParametros()

Inicia un vector de parámetros de largo para poder cargar el contenido de la memoria EEPROM

String leerEEProm(int param)

Lee el param-avo parámetro almacenado en la EEPROM.

void inicializarModem()

Pone al modem en un estado conocido. Reintenta tres veces, y luego pasa a un estado permanente de error. Esta función envía información a la pantalla LCD, al monitor serial y hace parpadear la luz de error presente en el frente del GEULMóvil. Llama a la función blinkError () con el parámetro del error (no hay respuesta del módem) y el valor true, para que el sistema se detenga permanentemente en el estado de mostrar el error.

boolean cellOperator(String operReq)

Chequea que el operador de red donde está registrado el módem sea el previsto en operReq.

String modemIMEI()

Devuelve un String con el número de IMEI del módem.

modemIMSI()

Devuelve un String con el número de IMSIdel módem.

clearDatosSMS()

Inicializa datos del buffer de transmisión del SMS.

9.1.2 LOOP()

Como se dijo antes, esta es la función que se repite una y otra vez.

Cada 1 segundo se toma una muestra del índice UVI. Si hay datos válidos de GPS, esta muestra se compara con el mayor valor hallado, y si lo supera, se almacena provisionalmente la ubicación espacial y temporal del dato medido.

Cada 55 segundos se suspende toda tarea para revisar si hay un mensaje de texto para procesar, y en ese caso, se procesa.

Cada 20 minutos, se envía el dato hallado de mayor índice UVI junto con su ubicación temporal y espacial al servidor por medio de un mensaje de texto.

La función **loop()** llama a las siguientes funciones:

int leerUVI()

Esta función lee del pin definido para la entrada análoga el valor. Dicho valor estará en el intervalo [0-1023]. Una lectura de cero indica 0 v, o sea, la ausencia de detección de toda radiación UV. Una lectura de 1023 indica saturación, o sea los 5 v que provee el regulador onboard del Arduino, y es la lectura máxima. Con el sensor disponible, esto indica un índice UV superior a 30.

float calibracion(int lectura)

Esta función contiene el valor de la calibración del sensor, y transforma el parámetro entero lectura que va de 0 a 1023 en un índice UV. Devuelve un valor en punto flotante.

void blinkError(int veces, boolean mode)

Esta función es la que es responsable de la única interfaz con el usuario. Tiene dos parámetros: el primero, es el número de error, el cual es utilizado para determinar la cantidad de veces que parpadea el led, antes de hacer una pausa. El segundo, indica si el proceso de parpadeo es indefinido o se realiza una sola vez. En caso de que sea indefinido, nunca se sale de esta función y el sistema queda en un error de alto. Esto es producto de una situación que no es salvable con una espera, como puede ser un instante en donde no hay señal de GPS.

boolean haySMS ()

Esta función, que es llamada cada 55 segundos, se encarga de verificar si hay mensajes nuevos, procesarlos, y eliminarlos. Si no se eliminan, se corre riesgo de sobrepasar la capacidad de almacenamiento. Además esta función tiene un doble uso de verificar el estado del módem una vez por minuto, funcionalidad también aprendida en base a los errores encontrados por problemas de hardware con el módulo de comunicaciones.

En caso de haber mensajes, hay varias consideraciones.

Si no existe un número telefónico master, se toma como master al número del cual proviene el primer mensaje. Esto se eligió para que se pueda programar en todos los móviles el mismo firmware.

Si el mensaje de texto recibido tiene la palabra STATUS, se envía al número del cual proviene el mensaje un SMS con ciertos datos:

- IMEI del móvil
- Versión del firmware
- Última latitud conocida
- Última longitud conocida
- Fecha y hora de la última ubicación conocida
- Cantidad de SMSs enviados al servidor por el móvil desde su inicio

Si el mensaje de texto contiene el texto SERVER= seguido de un número de teléfono, se designa un nuevo servidor para enviar mensajes de texto a este móvil.

Para dejar el sistema cerrado no se programa de la misma manera un comando MASTER=

Se considera que una vez en funcionamiento, siempre se harán los cambios de programación de los parámetros del móvil desde un mismo número de teléfono celular.

String prepararSMS()

Esta función devuelve un string con el mensaje de texto formado por los headers preprogramados, y por los parámetros de localización espacial, seguidos del identificador de móvil (el IMEI), la fecha y la hora de la muestra, la versión de firmware y el valor de la muestra de UVI.

void enviarSMS(String texto, String nTel)

Esta función es la que efectivamente envía un mensaje de texto a un número de teléfono móvil. La función intenta volver al módem a un estado conocido si el tiempo de espera por la confirmación de envío supera los 30 segundos.

void escribirEEProm(int param, String valor)

Esta función escribe en la posición param el valor. El valor param es un índice del offset desde cero en donde escribir el valor

void clearDatosSMS()

Pone a cero los valores de almacenamiento temporales de latitud, longitud, día, hora y valor UVI medido que se usan para luego armar el mensaje SMS.

10 PRUEBAS

Desde el comienzo el proyecto fue definido en tres grandes módulos, a saber: el Arduino para recoger información del sensor UV y como eje y bloque central de procesamiento, un módulo de comunicaciones, y un módulo de GPS.

Tanto Arduino, como el módulo del GPS, son comunes hoy en día, y son provistos por infinidad de proveedores. Los módulos de comunicaciones no cuentan con tal variedad, y ésta es mucho menor en cuanto a los posibles proveedores de sensores. Incluso la variedad de precios en cuanto a la presentación posible es bastante amplia, y hubo que ajustarse al presupuesto indicado.

Se adquirieron:

- 3 arduinos
- 2 módulos GPS
- 2 módulos GPRS
- 4 sensores UV

Cada uno de estos elementos se compró a distintos proveedores, con diferentes orígenes y vías de transporte. Esto sumado a que la complejidad de importación está asociada al monto, resultó que cada dispositivo fue llegando en un momento distinto.

Fue previendo esto último que se tomó la decisión de diseñar módulos independientes, que pudieran ser probados de manera autónoma con respecto al resto. Esta separación permitió realizar protocolos de desarrollo y pruebas independientes.

10.1 ARDUINO

Como se describe en el Capítulo 7.1 Arduino es una plataforma *open* de trabajo. Del estudio de la documentación del IDE[69] y de los ejemplos disponibles en la red se pudo comprender el por qué de la popularidad de éste. Existen bibliotecas para manejar una cantidad muy grande de dispositivos y sensores, y la documentación para extender a otros es amplia y muy completa.

En cuanto se contó con los Arduinos se comenzó el estudio del IDE de trabajo. A partir de los ejemplos incluidos[70] fue rápida la familiarización con el dispositivo. Fue justamente el primer ejemplo: blink[71], un programa que hace parpadear un LED, que se diseñó el primer módulo lógico. Este permite detectar errores del sistema.

10.1.1 IDE DEL ARDUINO.

Objetivos: Familiarizarse lo antes posible con el entorno de trabajo y las características del mismo.

Parte del éxito del Arduino proviene de un IDE de fácil manejo. Arduino es una plataforma de electrónica abierta para la creación de prototipos basada en software y hardware flexibles y fáciles de usar. Se creó para artistas, diseñadores, aficionados y cualquiera interesado en crear entornos u objetos interactivos. En el propio entorno se programa en el propio lenguaje de Arduino basado en Wiring[72]. El entorno de desarrollo está basado en Processing[73].
Arduino puede tomar información del entorno directamente a través de sus pines de entrada mediante sensores. Existe una variedad muy grande de bibliotecas que soportan toda clase de sensores o periféricos, y la

inclusión de otros es relativamente sencilla. Durante el desarrollo del prototipo la versión de entorno Arduino fue variando. Para el prototipo decidimos quedarnos con la 1.0.3.

El primer objetivo fue familiarizarse con el entorno de programación y mediante la realización de un sencillo programa para hacer parpadear un led se iniciaba además un avance en la programación del sistema.

La Figura 42, muestra a continuación la IDE donde se programa, compila y programa la flash de la placa Arduino.

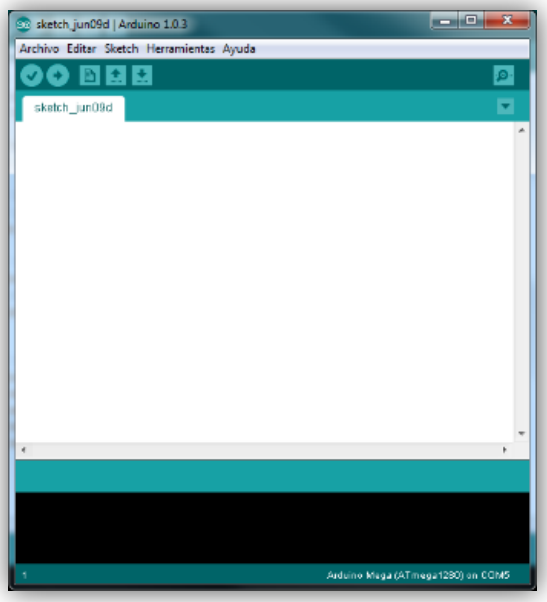


Figura 42 IDE del Arduino

El programa BLINK será el módulo para comunicar condiciones de error al exterior. El mismo se encarga de inicializar el modo de una pata de entrada/salida en modo salida, y luego hay un loop que alternativamente enciende y apaga el LED, con un intervalo (delay) de 1 segundo. El mismo se detalla a continuación.

```
// Pin 13 has an LED connected on most Arduino boards.
// give it a name:
int led = 13;

// the setup routine runs once when you press reset:
void setup() {
  // initialize the digital pin as an output.
  pinMode(led, OUTPUT);
}

// the loop routine runs over and over again forever:
void loop() {
  digitalWrite(led, HIGH);   // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
  delay(1000);               // wait for a second
  digitalWrite(led, LOW);    // turn the LED off by making the voltage LOW
  delay(1000);               // wait for a second
}
```

La estructura de un programa para Arduino es siempre la misma. Debe existir una función setup() , la cual es llamada una vez al inicio de la ejecución, y luego la función loop(). Todo el procesamiento se realiza en ésta función.

Esta primera prueba fue rápida y satisfactoria. Y rápidamente fue convertida en una función que dado un parámetro de entrada, parpadea según ese parámetro. Código de la función derivada blinkError, que se utiliza para indicar condición de error.

```
void blinkError(int veces, boolean mode){
// Esta rutina se encarga de informar de alguna condicion de error.
  // mode: TRUE, loop. FALSE, una vez
  int i;
  mostrar(ERROR_DESCRIPTION[veces]);
pinMode(ledPin1, OUTPUT);
  pinMode(ledPin2, OUTPUT);
  while(true){
    for (i=1; i<=veces;i++){
      digitalWrite(ledPin1,HIGH);
      digitalWrite(ledPin2,HIGH);
      delay(200);
      digitalWrite(ledPin1,LOW);
      digitalWrite(ledPin2,LOW);
      delay(200);
    }
    delay(1000);
    if (!mode) return;
}
}
```

De la primera aproximación al entorno IDE del Arduino y de la programación del mismo surgió la idea de tener una función que indique diversas condiciones de error del dispositivo. La rutina mostrar() se usó en el desarrollo para mostrar en una pantalla LCD diversa información del dispositivo. La pantalla no queda en el dispositivo prototipo. Se usa tanto el pin incorporado del Arduino que está conectado a un LED como un pin de entrada/salida configurado como salida para conectar un LED externo a la carcasa.

Otra forma de comunicación posible con Arduino es a través de la interfaz serial incluida. Mediante ésta se tiene un enlace serial entre el Arduino y el IDE, y se puede tanto enviar caracteres por el puerto serial, como recibirlos y mostrarlos en la pantalla.

Una modificación del programa BLINK permite escribir mensajes en pantalla.

```
// Pin 13 has an LED connected on most Arduino boards.
// give it a name:
int led = 13;

// the setup routine runs once when you press reset:
void setup() {
  // initialize the digital pin as an output.
  pinMode(led, OUTPUT);
  // initialize serial port
  Serial.begin(9600);
}

// the loop routine runs over and over again forever:
void loop() {
```

```
  digitalWrite(led, HIGH);   // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
  Serial.println("Encendido");
  delay(1000);              // wait for a second
  digitalWrite(led, LOW);    // turn the LED off by making the voltage LOW
  Serial.println("Apagado");
  delay(1000);              // wait for a second
}
```

En el código se ve lo sencillo que es: se abre el puerto, y se utilizan funciones de la clase Serial para escribir en el puerto serial.

10.2 GPS

10.2.1 OBJETIVOS:

- Entender y familiarizarse con el GPS y los mensajes originados por éste.
- Diseñar y codificar una función que decodifique los mensajes de ubicación del GPS.
- Diseñar la forma de comunicación (hardware) con el módulo GPS.
- Probar el diseño de comunicaciones con el módulo GPS.
- Probar el código y mostrar los resultados de ubicación.
- Comparar con el resultado obtenido por el GPS del celular.

10.2.1.1 ENTENDER Y FAMILIARIZARSE CON EL GPS Y SUS MENSAJES

El módulo del GPS tiene como vía de comunicación una puerta serial. Generalmente el protocolo utilizado es 4800 8N1. Arduino, que se conecta a un PC por medio de un puerto USB (que es un puerto serial[74]) proveía desde el inicio una forma de simular la comunicación con el módulo GPS.

Los módulos de GPS incluyen la funcionalidad de procesamiento de los mensajes recibidos desde los satélites y terminan comunicando mensajes por el puerto serial. De éstos mensajes, sólo se utilizará en el proyecto los mensajes RMC [Tabla 10]. Hay dos tipos de mensajes RMC: con datos válidos, o con datos inválidos. Así que en principio, las pruebas de simulación consistían en procesar dos mensajes.

De todas formas, para familiarizarse con el flujo de información, se utilizó un celular con GPS Samsung Galaxy SIII[75], el mismo es un celular con sistema operativo ANDROID[76]. Este último cuenta con distintas fuentes de aplicaciones como Google Play[77] y Samsung Apps[78], tanto pagas como gratuitas.

Entre éstas se encuentra el u-center GPS evaluation app[79], la cual provee de una funcionalidad de loggear todos los mensajes que manda el módulo GPS del celular, el cual trabaja con NMEA, al igual que el que se había adquirido. Por tanto, se puso a registrar desde el instante de encender el módulo de GPS incorporado al celular, hasta que el mismo tenía un fix lock (una ubicación precisa dada por 4 o más satélites a la vista, como se explicó en el Capítulo 4.2.5.4)

En la siguiente tabla, se muestra una parte de ese log, cuando los mensajes RMC cambian de inválidos (en rojo) a válidos (en verde):

```
$GLGSV,2,1,08,65,31,228,30,88,29,249,32,71,19,100,13,87,25,307,15*64
$GLGSV,2,2,08,74,51,093,,75,31,020,,73,21,146,,81,04,202,*6B
```

```
$GPGSA,A,1,,,,,,,,,,,,11.1,8.7,7.0*09
$GNGSA,A,1,,,,,,,,,,,,11.1,8.7,7.0*17
$GNGSA,A,1,,,,,,,,,,,,11.1,8.7,7.0*17
$QZGSA,A,1,,,,,,,,,,,,11.1,8.7,7.0*15
$GPRMC,092956.00,V,,,,,,,051212,,,N*79
$GPGGA,092957.00,3454.813002,S,05608.903233,W,1,06,4.8,92.0,M,9.9,M,,*6F
$PGLOR,1,STA,092957.00,0.026,0.000,491,1,48,1,P,F,L,0,C,2,S,0002,0,4,R,33F4*69
$PGLOR,1,SAT,G20,020,17,G23,026,1F,R01,025,3F,G13,020,1F,R24,032,1F,R07,022,35,R23,017,3*5F
$PGLOR,1,SIO,TxERR,0,RxERR,0,TxCNT,912,RxCNT,3732,DTMS,1000,DTIN,1,8,DTOUT,198,988,HATMD,39*05
$PGLOR,0,HLA,092957.00,L,,AL,,A,,H,,,M,0,AC,0,GR,0,S,,,SX,,,T,0,TR,,MN,0*36
$PGLOR,1,PWR,AVGP,105.320007,RFTM,1000,RUNT,1000,OSCTM,1000,SLPTM,0,MEASTM,1000*2D
$PGLOR,0,PPS,051212,092956.999,,,000.000,0,0,0,*04
$GPGSV,3,1,10,20,68,194,20,23,62,267,27,13,31,293,22,01,60,353,*71
$GPGSV,3,2,10,32,59,119,,11,37,352,,31,36,126,,17,15,254,*7E
$GPGSV,3,3,10,30,11,074,,04,02,218,*75
$GLGSV,2,1,08,65,31,228,30,88,29,249,32,71,19,100,22,87,25,307,17*64
$GLGSV,2,2,08,74,51,093,,75,31,020,,73,21,146,,81,04,202,*6B
$GPGSA,A,3,13,20,23,,,,,,,,,2.5,1.6,1.9*3B
$GNGSA,A,3,13,20,23,,,,,,,,,2.5,1.6,1.9*25
$GNGSA,A,3,65,71,88,,,,,,,,,2.5,1.6,1.9*21
$QZGSA,A,3,,,,,,,,,,,,,2.5,1.6,1.9*26
$PGLOR,1,FIX,33.2,34.0*25
$GPRMC,092957.00,A,3454.813002,S,05608.903233,W,000.0,,051212,,,A*77
$GPGGA,092958.00,3454.813002,S,05608.903233,W,1,06,4.8,89.7,M,9.9,M,,*6D
$PGLOR,1,STA,092958.00,0.026,0.000,491,1,48,0,P,F,L,0,C,1,S,0002,0,4,R,33F4*64
$PGLOR,1,SAT,G20,020,1F,G23,025,1F,G13,020,1F,R24,031,1F,R09,013,31,R07,018,3F*54
$PGLOR,1,SIO,TxERR,0,RxERR,0,TxCNT,516,RxCNT,2656,DTMS,996,DTIN,1,8,DTOUT,179,906,HATMD,40*3F
```

Por tanto se tenía lo necesario para hacer el fragmento de código que abriera el puerto serial, leyera datos, descartara cualquier mensaje que no fuera RMC, verificara que los datos fueran válidos y extrajera los distintos campos del mensaje. Tal como se vio en el Capítulo 6.2.3.4.

Los mensajes se podían enviar desde la consola de monitor serial [80] y no habría diferencia por los datos, salvo el puerto de entrada, y el flujo.

Las comunicaciones con el GPS pudieron simularse, debido a que el módulo GPS tiene un funcionamiento totalmente autónomo: una vez conectada la energía, luego del encendido, el módulo va brindando información de acuerdo con el protocolo NMEA por una interfaz serial.

10.2.1.2 Diseñar y codificar una función que decodifique los mensajes de ubicación del GPS.

Como se mencionó más arriba, del log se estudiaron los mensajes y de acuerdo con las recomendaciones se usó el mensaje GPRMC, descartando los otros. Esto se pudo simular también con un fragmento de código que dado un mensaje GPRMC verificaba la validez de los datos y extraía la información del mismo.

En el código, además de verificar si los datos del mensaje tienen posicionamiento válido o no, se decodifican los campos de latitud, longitud, fecha, hora del mensaje. En esta fracción de código hay bloques activos según la existencia o no de determinadas definiciones: <DEBUG>, <DEBUG1>, <PRUEBASMS>. Son típicamente utilizados en la programación para utilizando un mismo cuerpo de programa, tener distintos comportamientos con “prender” o “apagar” una llave, en este caso, la existencia o no de una definición.

Se presenta en el Anexo [A.7] el código de programa donde se procesa una línea, si es un mensaje GPRMC

10.2.1.3 Diseñar la forma de comunicación con el módulo GPS.

A pesar de que el Arduino en su entrada serial trabaja con señales TTL estándar de 0-5v[81], y por el otro lado, el módulo GPS trabaja con niveles seriales LVTTL (*low voltage TTL*) de 0-3.3v. No hubo necesidad de un circuito de conversión de niveles dado que sólo se utilizaba la señal RX. De acuerdo al estándar TTL, una señal de entrada se considera baja entre 0 y 0.8v, y se considera alta entre 2.0 y 5v[82]. El estándar JEDEC para la lógica de 3.3v tiene definido como estándar para V_{OL} tanto para LVCMOS (*low level CMOS*) como para en 2.4v. De esta manera, nuestro peor caso y sin tener en cuenta la tecnología que maneje el módulo GPS, es que el V_{OL} será interpretable como alto por TTL sin necesidad de que medie circuito adaptativo de niveles alguno. El módulo se comportó satisfactoriamente desde el inicio, y se conservó casi sin modificaciones.

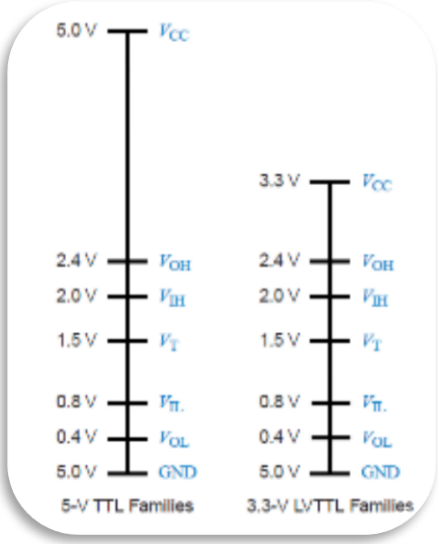


Figura 43 Tabla de niveles TTL y LVTTL[83]

10.2.1.4 Probar el diseño de comunicaciones con el módulo GPS.

En cuanto se recibió el módulo GPS para pruebas, lo único que hubo que hacer fue conectarlo a la energía, y teniendo en cuenta las consideraciones indicadas anteriormente con respecto a los voltajes del puerto serie del Arduino y del puerto serie del GPS, se pudo establecer la conexión directa y procesar los mensajes sin inconvenientes.

Se decidió comenzar con un simple sketch que escuchara los mensajes NMEA provenientes del GPS en un puerto serial (en particular el Serial2) y los mostrara tal cual eran recibidos en la pantalla del PC, por medio de la comunicación serial incluida en el IDE. Para ello se utilizó el código que se muestra a continuación.

El código es simple, todo lo que entra por el puerto “Serial2” se envía al puerto “Serial” que es el de comunicaciones con el PC host del IDE.

La función setup() inicializa los puertos seriales a utilizar. En este caso, se utilizaría el puerto serial “Serial2” para comunicarse con el módulo GPS, y el puerto serial “Serial” para enviar mensajes al PC a través de la interfaz gráfica de texto tipo consola incluida en el IDE del Arduino, llamada monitor serial, a la que se accede desde la propia interfaz del IDE.

En la función loop(), se lee del puerto Serial2 y se escribe exactamente lo que se leyó en el otro puerto, Serial, el monitor del IDE.

Hay definida una variable global del tipo char llamada “ch” que es la que se usa para almacenar cada dato recibido desde el módulo GPS por el puerto de comunicaciones. Asimismo, esta variable “ch” es la que se utiliza para escribir en el puerto serial Serial para que el programa monitor serial lo recoja y lo muestre en pantalla.

```
char ch;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
Serial2.begin(4800);
  Serial.println("Comunicacion con modem listo.");
}

void loop() // run over and over
{
  // estas son las respuestas desde el GPS
if (Serial2.available()>0){
     while(Serial2.available()>0){
       ch = Serial2.read();
       Serial.print(ch);
}
  }
 }
```

La [Figura 44] es la captura de la pantalla del monitor serial, incluido en el IDE del Arduino. En ella se muestra la salida al momento de encendido del Arduino o de inicio del programa de prueba de comunicaciones con el módulo GPS:

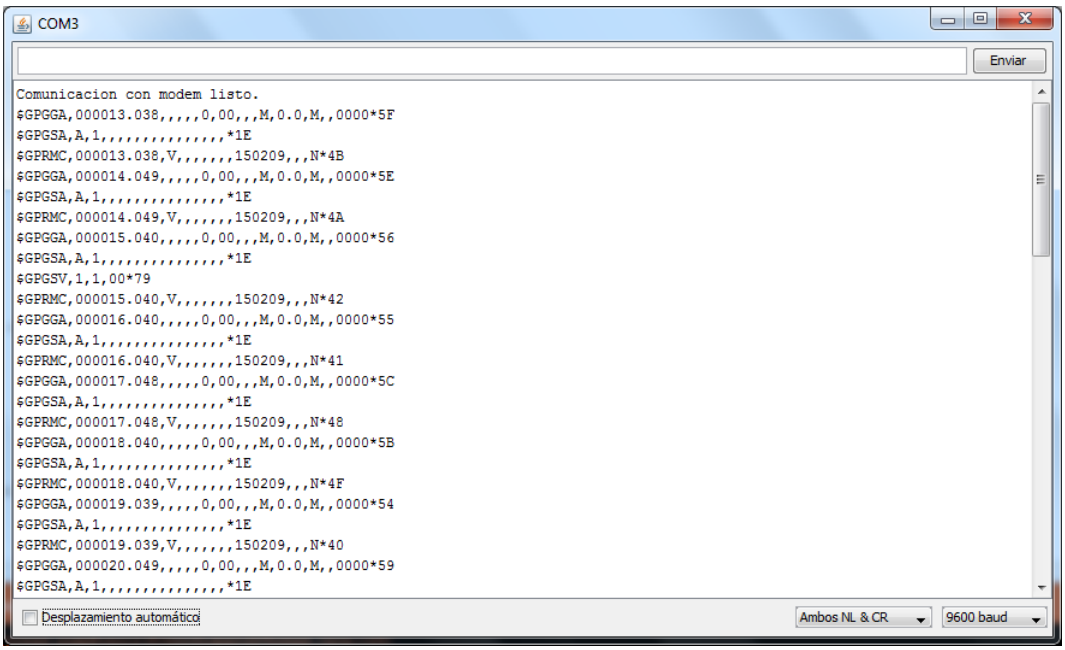


Figura 44 Captura de la pantalla del monitor serial del IDE

En la [Figura 44] se muestra la salida del programa, descrito anteriormente, para la prueba de comunicaciones con el módulo de GPS a través del puerto Serial del Arduino. La prueba se hizo para verificar que las comunicaciones de lectura, por hardware, funcionaban correctamente.

Como se puede apreciar, el formato de salida es idéntico al obtenido anteriormente, al capturar la salida del GPS del celular Samsung Galaxy S3.

En la [Figura 45] se ve el modulo GPS conectado al Arduino, en el momento en que se estaba realizando la adquisición de los datos para pruebas.

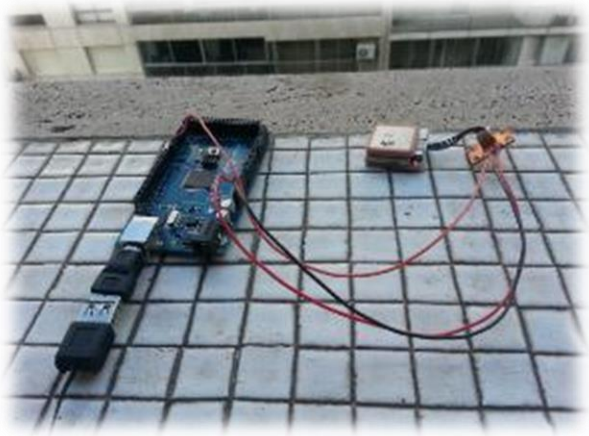


Figura 45 Arduino con el software cargado y con el modulo GPS conectado

Una segunda prueba realizada fue con el software de uso libre SirfDEMO. El mismo es desarrollado por la empresa que fabrica los módulos, y muestra en pantalla y en forma gráfica la información recibida por el módulo GPS.

Con este software se pudo probar el correcto funcionamiento de los módulos GPS, entender mejor otros mensajes que no se usaron en el proyecto, y tener una idea del procedimiento de fix lock: el mecanismo por el cual un GPS da por válida la información de posición.

En la [Figura 46] se ven representados los satélites a la vista al momento de la captura, el log de la información recibida, la posición, obtenida, y un gráfico de la señal relativa a los satélites.

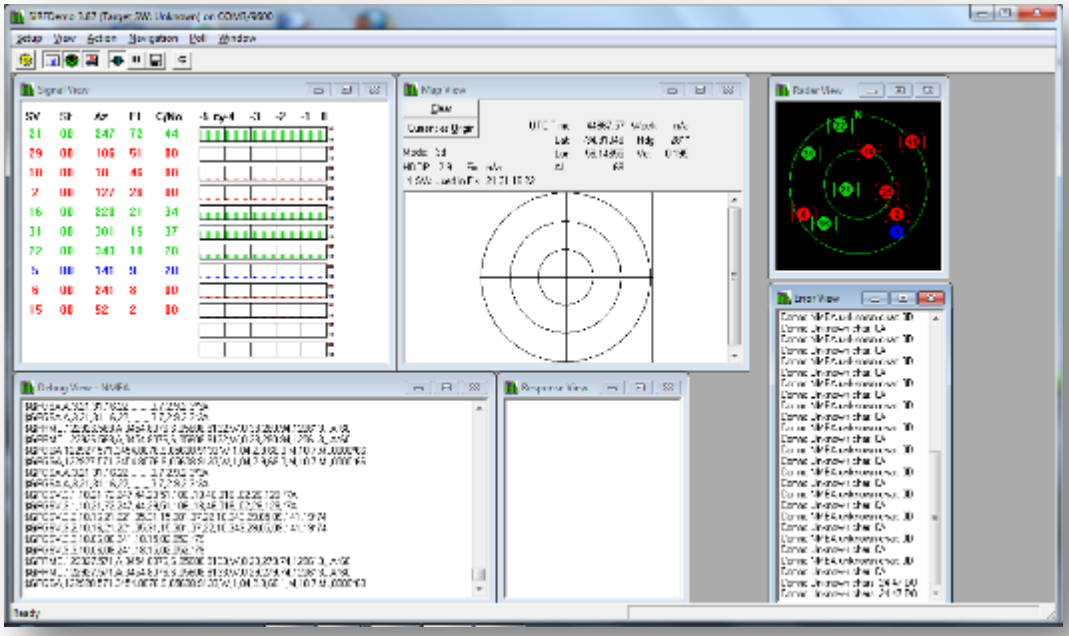


Figura 46 Captura de pantalla del software SirfDEMO.

10.2.1.5 Prueba de código y Muestra de los resultados de ubicación.

El siguiente paso fue probar el código diseñado, y anteriormente probado con un dato copiado del log conseguido, en tiempo real y con la información pertinente proveniente del módulo GPS.

El resultado del código está en la [Figura 47]. Es una captura de la pantalla del monitor serial del IDE del Arduino, con la rutina de procesamiento de las líneas recibidas por el puerto serial.

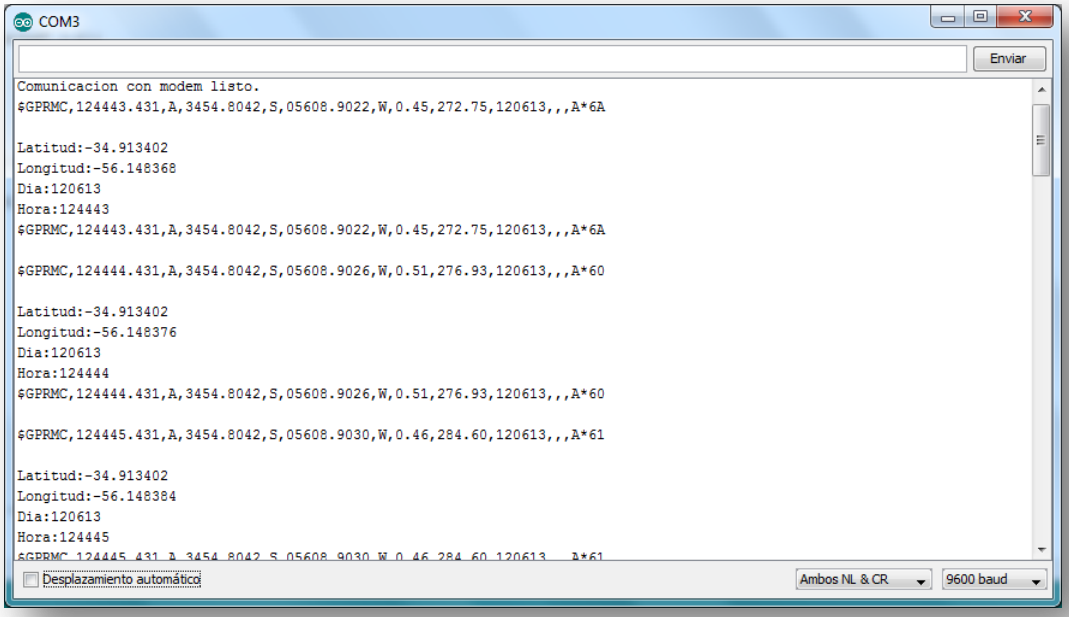


Figura 47 Captura de la pantalla que muestra la ubicación dada por el módulo GPS.

En la captura de pantalla se ve desplegada la información del mensaje RMC proveniente del módulo GPS

10.2.1.6 Comparar con el resultado obtenido por el GPS del celular.

Al comparar los datos decodificados con los datos del GPS del celular obtenidos por el software instalado, vemos que concuerdan. Para las coordenadas el GPS indica -34,913402, -56.148232, lo que convertido a grados, minutos y segundos es 34° 54’ 48.3” S, 56° 08’ 53.6” O.

Para las coordenadas extraidas del GPS, -34.913402, -56.148376 corresponden a 34° 54’ 48.2” S, 56° 08’ 54.2” O. La diferencia en latitud entre ellos es de 0.1” y en longitud 0.6”. Un minuto en latitud en una carta náutica equivale a una milla marina, 1852 m. Un segundo es la 60ava parte de eso, o sea 30 m. La diferencia entre ambas coordenadas es de 3 m en latitud, 18 m en longitud. La precisión del módulo GPS utilizado es del orden de los 30 m. La precisión del módulo GPS del celular indicada es de 16m. En ambos casos significa que la posición exacta se encuentra dentro de un círculo de centro las coordenadas entregadas, y radio la precisión del GPS en cuestión. Por tanto, se puede decir que ambos marcan el mismo punto.

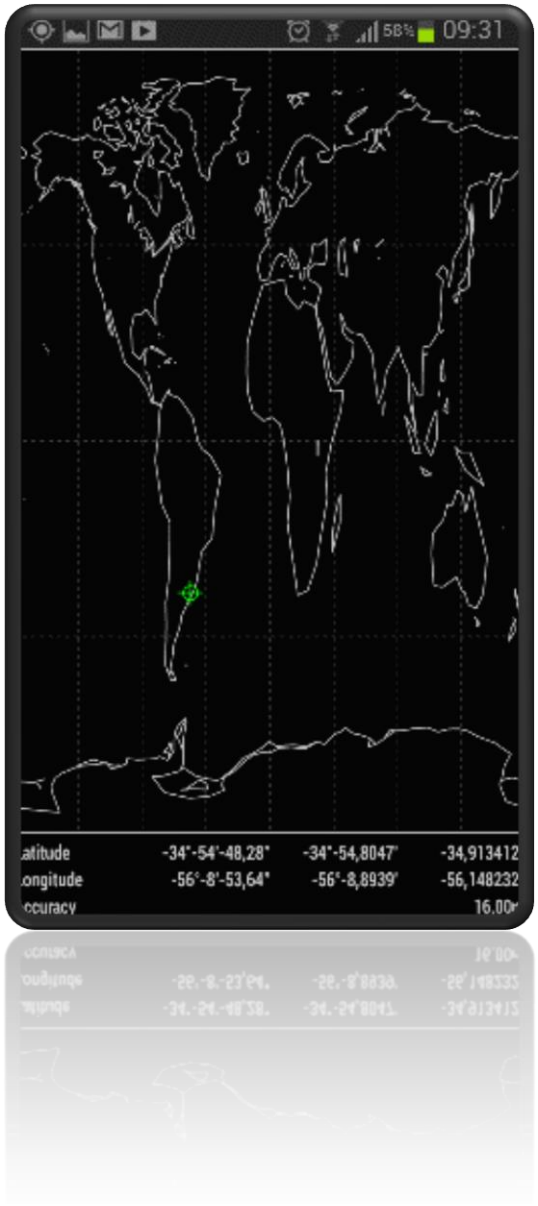


Figura 48 Captura de la pantalla del celular

En la [Figura 48] se ve expresada la latitud y longitud obtenida por el celular, al mismo tiempo que se realizaba la captura de pantalla de la [Figura 48].

10.3 COMUNICACIONES

10.3.1 PRUEBAS DE GEULMÓVIL

Tal como se describe en el capítulo 6.2.3, el módulo GPRS del módulo de comunicaciones sólo se podía estudiar el manual[84][85]. De todas formas, la forma de comunicación era por serial, y ya se tenía experiencia en el manejo de las comunicaciones seriales por el Arduino. La diferencia estaba en que se debía realizar un circuito de conversión de niveles. El circuito elegido para tales efectos es el clásico MAX232.
El kit modem adquirido para el proyecto, contiene tanto el módem como un módulo GPS, basado en otro chipset, pero de funcionamiento idéntico al que usamos en las pruebas: una vez encendido, comunica por puerto serial a 4800 8N1 la información de posicionamiento a través de mensajes NMEA con una frecuencia de 1 Hz.
Para familiarizarnos con el modem, y probar los comandos, utilizamos un PC con un puerto de comunicaciones estándar, y el programa Putty.
Los objetivos de las pruebas fueron probar el correcto funcionamiento del modem, y también probar el conjunto de comandos a utilizar, y sus códigos de devolución si existen, a los efectos de realizar luego el programa.
Las pruebas fueron sencillas. La placa se comportó como se esperaba en el área de las comunicaciones. Los comandos AT fueron extraídos del manual del fabricante [ver A.8]. Se investigaron comandos de identificación (IMEI, IMSI) comandos para comunicarse con la SIM (verificar si hay PIN asignado o no), y los comandos para enviar, recibir y eliminar mensajes de texto.
Una vez identificados y conocidos los comandos necesarios, se trasladaron a diversas funciones [ver A.5]
La clase Serial trabaja con un buffer de 64 caracteres de entrada. El parámetro que se define para el tamaño del buffer se define en el archivo HardwareSerial.cpp[86]. A raíz de algunos artículos encontrados en internet [87], [88][89], sobre lo escaso que puede resultar este buffer en aplicaciones de tiempo real, decidimos ampliarlo al doble, o sea, 128 caracteres.
En todas las pruebas que se hicieron (enviando, por ejemplo, un mensaje SMS cada 10 segundos aproximadamente), este buffer demostró ser suficiente.

10.3.2 TESTING SOBRE COMUNICACIÓN CON GEULMAPA

Se realizaron diferentes etapas de testing con GEULMapa para verificar el componente de comunicación. En primera instancia se realizó una sesión donde fueron enviados 10 datos vía SMS, la cual sirvió para detectar diferencias en el uso del estándar de SMS.

En segunda instancia se realizó una sesión con el envío de aproximadamente 15 datos. Para esta sesión se sustituyó en GEULMapa el identificador del móvil que era el número de teléfono por el IMEI (International Mobile Station Equipment Identity) de 15 dígitos. GEULMapa pudo detectar y solucionar los siguientes errores:

- Falla debido al tamaño del IMEI (15 dígitos) y el tamaño de dato que esperaba GEULMóvil.
- Omisión en el servidor GEULMapa de los segundos enviados por GEULMóvil.
- Error de formato en dos de los trece datos, el error era una línea vacía al principio del mensaje.

Una vez que los datos llegaron correctamente, no fue necesario realizar más pruebas.[**90**]

10.4 Sensor UV

10.4.1 Línea de Tiempo.

Lo siguiente es un cronograma con las fechas de hitos importantes en lo referente a las pruebas referentes a la adquisición UV. Se incluye un punteo de las conclusiones y consecuencias de cada prueba.

- ***6/2012: Adquisición de medidores de mano.***
    - Pruebas iniciales de adquisición UV. Se postergaron las pruebas hasta la primavera, donde el UVI tiene un mayor rango dinámico al correr de un día.

- ***09/ 2012: Medidas múltiples con los medidores de mano.***
    - Pruebas extra de adquisición UV, al comienzo de primavera.
        - Comparación entre los medidores de mano, en diferentes lugares de Montevideo. Los sensores arrojaron resultados similares.
        - Se utilizan los sensores para familiarizarse con las mediciones de UVI, como se detalla en la Sección (Arquitectura y diseño).
        - Se corrobora el funcionamiento aproximado de los sensores con las medidas dadas mediante modelos meteorológicos.

- ***12/ 2013: Construcción del par emisor-receptor infrarrojo***, (ver anexo: Construcción del par emisor-receptor infrarrojo para simular un sensor analógico de ultravioleta.)
        - Prueba del sistema de adquisición UV mediante un sensor de similares características físicas al esperado.
        - Se adquiere la capacidad de relevar automáticamente curvas de voltaje del sensor UV en función de la radiación recibida.
        - Luego de estas pruebas , como el uso del sensor UV estaba garantizado por el fabricante y era muy similar al del medidor infrarrojo, se esperaba que era 'solo conectarlo y que funcionara'

- ***04/ 2013: Adquisición del primer sensor (TOCON E1)***

    - Pruebas inmediatas de funcionamiento eléctrico, el día que se recibió.
        - Se corroboró que censaba acercándolo a un tubo-luz (se sabe que emite UV en bajas cantidades) y a una lámpara CFL. La medía aumentaba.
        - Se probó a la puesta de sol y el sistema arrojaba un índice correspondiente a voltajes bajos. El sensor de mano también oscilaba en 0.0-0.1.

- 5***/ 2013: Pruebas con el primer sensor adquirido (TOCON E1)***

    - Se corroboró que éste saturaba para valores bajos de UVI y se contactó inmediatamente al fabricante.

- Se comparó la medida del sensor con el medidor de UV del GMARS.
- Se descubrió que el comportamiento no era el esperado para un sensor del tipo E1.
- El fabricante envió un nuevo sensor, el cual llego el mes de junio.

6***/ 2013: Adquisición del medidor TOCON E2.***

- ***Comparación entre dos sensores de mano para comparar su funcionamiento.***
- ***Comparación entre el TOCON E2 y un sensor de mano.***
- ***Nueva interoperación rápida con el sensor de la FING.***

Pruebas a futuro:

- Se planea una comparación a largo plazo de las medidas del sensor de GEULMÓVIL con el registro mantenido por el GMARS-IFFI.

10.4.2 PRUEBAS DEL SENSOR ADQUIRIDO EL 4/2013 - TIPO TOCON E1

10.4.2.1 PRIMERAS PRUEBAS

Para calibrar el sensor recibido, se midió en condiciones de baja y alta radiación UV con el sensor de mano adquirido anteriormente y con el sensor recibido de sgLux. Para esto, se realizaron varias series de medidas, a saber:

1. Pruebas en tiempo corto con lámparas y tubo-luces, variando la distancia.
2. Pruebas en tiempo corto e interponiendo vidrio como atenuador a la radiación solar

Las medidas del *tipo 1* sirvieron para corroborar la coherencia del funcionamiento del sensor para bajos niveles de radiación UV: al alejar el sensor o aumentar el ángulo de incidencia de la luz se obtiene un voltaje en el sensor (y por tanto un UVI) cada vez menor.

Mediante medidas del *tipo 2* se verifico que el sensor saturaba para índices UV relativamente bajos. La instantánea de fotos de la [Figura 49] ilustra el experimento realizado.

Uno de los experimentos se ilustra en las [Figura 50]. Tener en cuenta que se esperaba estar trabajando con el sensor encargado: un modelo TOCON_E2.

Figura 49 Test de Saturación del Sensor

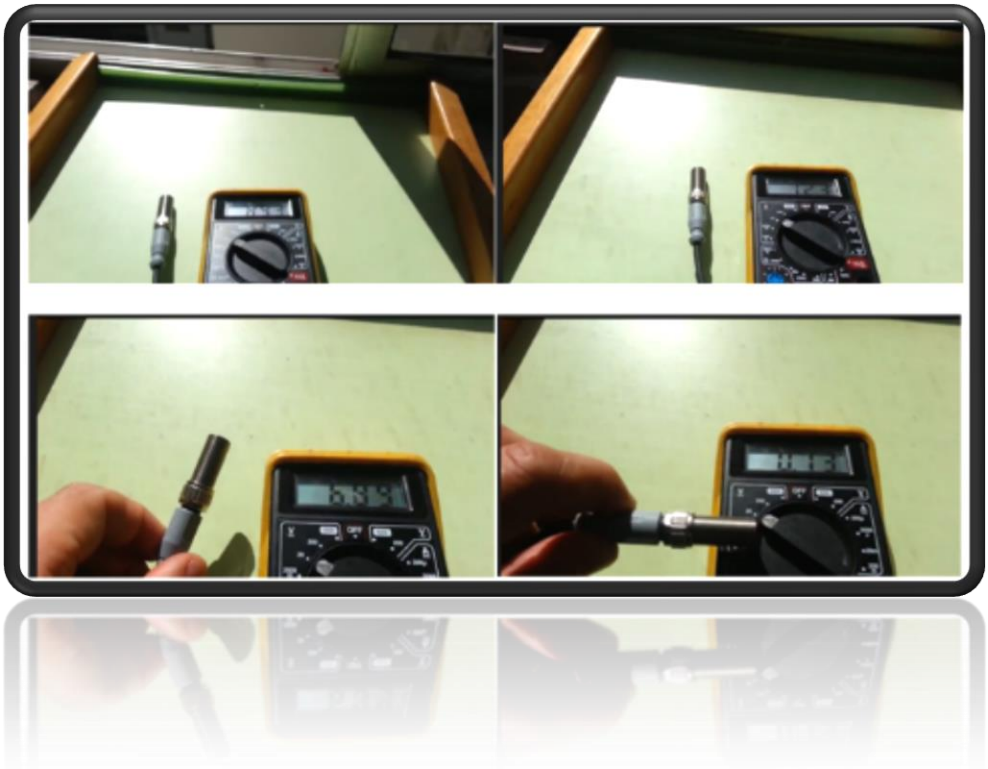


Figura 50 Test de saturación 2

Descripción [Figura 50]:

a) Vidrio abierto, lectura del sensor de 8.93 V.
b) Vidrio cerrado, lectura de 7.23V.
c) Vidrio cerrado y sensor inclinado 30 grados respecto a la dirección del sol. Lectura del sensor de 6.85V
d) Vidrio cerrado, sensor normal a la dirección solar. Lectura de 0.13V.

La Figura 50 muestra uno de los experimentos realizados. Alimentando al sensor con una batería de 9V, se lo expone a la luz directa del sol cuando el UVI es de 4.7 y este, al contrario de lo esperado, satura. Al interponer un vidrio de 4mm el UVI baja, sacando al sensor de saturación. Luego, al aumentar el ángulo de incidencia el sensor continúa bajando su valor, mostrando que el sensor no se encuentra dañado, sino que simplemente satura para valores bajos de UVI.

Al contactar al proveedor, este manifestó que habían enviado el sensor incorrecto: probablemente un TOCON E1, que satura nominalmente con índices bajos. Esto es porque la sensibilidad de este sensor es diez veces superior a la solicitada: 1.7Volts/UVI alimentando a 5V, lo que implica que este satura con un UVI de 3.1 aproximadamente.

10.4.2.2 COMPARACIÓN RÁPIDA CON EL APARATO DEL IF

En la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República se encuentra el grupo GMARS (Grupo de Modelado y Análisis del Recurso Solar)[91]. Este grupo de investigación dispone de una amplia gama de instrumentos de precisión para medida de la radiación solar. Entre esos instrumentos, se dispone de un espectro radiómetro medidor de radiación ultravioleta, que mide radiación UVI y UVB entre otros. Con ese instrumento, mediante la lectura de UVB, puede darse una buena aproximación del UVI y dado que es un patrón secundario, es ideal para comparar su medida a la de nuestros sensores.
Al contactar a los integrantes de GMARS, ellos tuvieron la gentileza de subir a la azotea de la facultad para darnos el valor de la medida de UVI, accesible chequeando tensión manualmente, mediante un voltímetro, en la circuitería interna del sistema. Cabe destacar que su sistema está pensado para mediciones de radiación en largos periodos de tiempo mediante el uso de dataloggers por lo que no existe ni es necesaria para ellos la facilidad de tener mediciones automáticas en tiempo real.

Figura 51 Circuiteria Interna del Sistema

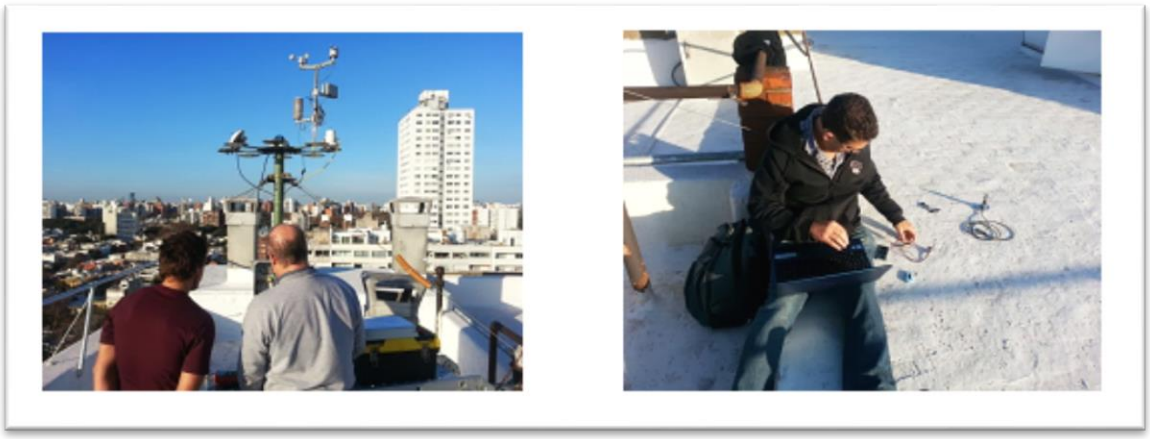


Figura 52 GMARS - GEULMÓVIL

10.4.2.2.1 DETALLES DE LA PRUEBA:

El objetivo era comparar la medida del UVI de 3 sensores.

- Medidor de mano.
- Modulo Adquisición de GEULMóvil conectado al TOCON E1
- Medidor de radiación UV Del IFFI , Rango UV-B.

La medida fue por la tarde, momento en el cual se tiene un UVI bajo, capaz de entrar en el rango de funcionamiento del sensor disponible a la fecha. El instrumento del IFFI funcionaria como patrón.

10.4.2.2.2 RESULTADOS:

La tabla siguiente muestra las medidas realizadas por los tres sensores.

Sensor IF (UVI)	Sensor manual (UVI)	Sensor (V)	Alimentacion del Sensor (Vcc)	UVI esperada Del Sensor * UVI= [V/(UVI/DV)]*(Vcc/5V)
0.74	0.7-0.8	3.01V	4.89	1.8

** Constante (nominal) del sensor E1: DV/UVI = 1.7 (Volts/UVI) –declarado por el del fabricante. Sensor alimentado con Vcc=5V.*

UVB selective (SiC)	Peak wavelength = 280nm Sensitivity range (S=0,1*Smax) = 230nm - 315nm, for Erythema Curve and other UVB measurements, complies with CIE087 and DIN5050			
1 UVI input produces electrical output of:				
TOCON_E1	1.7 V per UVI	0.01 UVI	3 UVI	UV-Index measurements, if an attenuating diffusor is used
TOCON_E2	**170 mV per UVI**	0,1 UVI	30 UVI	UV-Index measurements
TOCON_E3	1,00E-01	5,00E-03	7,50E-01	UVB/UVC radiation measurements

Figura 53 Detalle K(cte) de ToconE1

10.4.2.2.3 ANÁLISIS:

El problema detectado, es que para ajustar los datos del sensor E1 con el del fabricante, este último, debería tener una nueva constante del sensor dada por:

$$\text{Nueva } DV/UVI = 3.01V/0.74 = 4.05 \text{ Volts/UVI}$$

Esta constante es muy lejana a la del fabricante, por lo que se sospecho nuevamente que el sensor fuera defectuoso, o que se haya enviado el sensor no adecuado.

Por otro lado, el instrumento de mano de bajo precio dio exactamente la misma medida que el patrón del IFFI. Esto, junto a las pruebas realizadas en 2012 corrobora aun más su buen funcionamiento.

10.4.2.3 IDENTIFICACION DE PROBLEMAS CON EL SENSOR E1

Si bien el fabricante da un valor estimado de la constante del sensor (volts/ Índice UV), estrictamente hablando, el sensor no viene calibrado. Ese proceso tiene un costo extra de €270 (US$ 360).

Sin embargo, según el fabricante la 'calibración' es muy fácil:

"Sólo es necesario ir a un instituto meteorológico en el que haya un buen instrumento de medición de UVI, apuntar el sensor a 0 grados al cielo (no al sol) para leer el voltaje y dejar que el instituto le diga su valor actual. Para mayor precisión, esperar hasta que el cielo esté nublado o esperar unas horas y volver a hacer la prueba. De esta manera se obtiene un instrumento tan preciso como el instrumento del instituto".[92]

Exactamente ese procedimiento se ejecutó en la prueba realizada en el IFFI, no al mediodía debido al problema de la saturación, pero por la tarde, cuando el sol estaba a unos 50º.

Mediante pruebas extra de exposición a luz visible, se encontraron incoherencias con el funcionamiento esperado (existencia de offset y una posible constante del sensor más de 2 veces mayor que la esperada a priori).

El comportamiento del sensor enviado no correspondía con el del tipo TOCON E1. Si bien el fabricante envió un nuevo sensor, no supo responder qué tipo de sensor nos podría había enviado por error.

10.4.2.4 MEDIDAS FINALES REALIZADAS SOBRE EL SENSOR UV.

Luego de dos semanas de cielo nublado, el día 27-6, fue especialmente adecuado para realizar medidas, pues el tiempo durante el mediodía se encontraba soleado, con baja humedad y con nubosidad escasa.
El lugar de las medidas fue la azotea de la Facultad de Ingeniería, desde las 12pm hasta las 6pm. La temperatura ambiente al mediodía fue de alrededor de 15°C, y de 12°C a las 7pm. A menos que se indique lo contrario, el cielo se encontraba completamente despejado, y en ningún momento se interpusieron obstáculos entre el sol y los sensores usados.

Se realizaron 3 experimentos, a saber:

1. Comparación entre el sensor TOCON E2 y el sensor de mano durante el mediodía
2. Medidas automáticas durante una tarde para estudiar las características de la medida respecto al tiempo y luego simular el algoritmo de envío de datos.
3. Relevación de la curva comparando con el sensor de facultad.

10.4.2.4.1 EXPERIMENTO 1: COMPARACIÓN ENTRE EL SENSOR TOCON E2 Y EL SENSOR DE MANO

10.4.2.4.1.1 Introducción

Si bien el sensor de mano es de bajo costo y su funcionamiento correcto no está garantizado por el fabricante, luego de corroborar que las medidas entre dos sensores de manos diferentes están altamente correlacionadas, se montó una experimento para investigar la relación entre ambos sensores.
Esto se realizó por dos motivos:

- Antes de tener los sensores TOCON, los sensores manuales arrojaron, desde que se adquirieron, valores coherentes con el UVI brindado diariamente por meteorología y por el pronóstico basado en modelos satelitales.
- Si bien se sabe que responden a la luz visible, es interesante estudiar el desempeño de dichos sensores manuales, de muy bajo costo. De generar valores coherentes con sensores de mayor calidad, con una incertidumbre aceptable, se podría considerar versiones futuras de GEULMóvil de menor costo (teniendo mayor incertidumbre en cada medida, pero pudiendo colocar más móviles para compensar).

10.4.2.4.1.2 Montaje experimental

La [Figura 54] muestra el sistema de medición. Por un lado el sensor, alimentado a través de un regulador de voltaje del tipo 7805, y con su canal de señal conectado a un tester Extech EX330 funcionando como voltímetro.

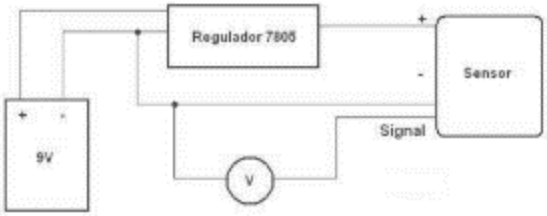


Figura 54 Esquema del Circuito usado en el experimento para comparar sensor TOCON con el Sensor Portátil

Figura 55 Sensor Portátil

El sistema propuesto para alimentar el sensor es minimal y autónomo, además de estar desacoplado del resto de GEULMóvil.
Se tomaron medidas manuales en intervalos de un minuto. En la mayoría de los periodos de medición, los dos sensores variaron su lectura durante el minuto de medición.

- El voltímetro digital arrojaba valores unos 3mV desviados del valor medio, igualmente encontrándose dentro del rango de incertidumbre de la medida del aparato.
- El sensor de UVI manual oscilaba en torno a 0.3 en índice UV.

Se tomó como criterio observar cual de las lecturas era la más estable en el periodo y quedarse con ellas.

10.4.2.4.1.3 Resultados

Se pudo evidenciar, en la media hora de la medida, que el sensor TOCON evidencia un leve aumento del UVI, pero la medida del sensor de mano oscila en torno a un punto. Lo anterior nos da una noción de cuanto oscila el sensor manual para un UVI relativamente fijo y con tendencia a subir.

A continuación en la [Figura 56] se muestra una grafica de los valores del sensor TOCON en función de las medidas del sensor manual.

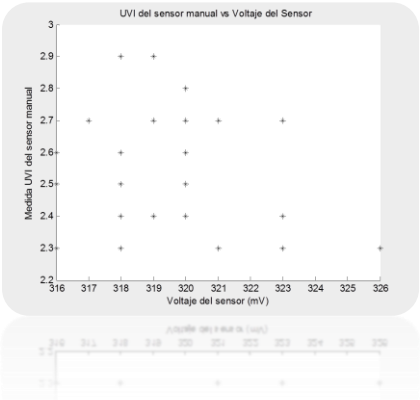


Figura 56 Sensor Manual UVI vs TOCON Voltaje

Se puede realizar un relevamiento de la curva UVI-V para el sensor TOCON si se consideran todos esos puntos como los correspondientes a un único valor de UVI y se fuerza el cruce de la curva por cero:

V= (320 ± 10)mV =Vo ± dV

UVI= (2.6 ± 3) = UVIo ± dUVIo

Entonces, una curva posible, en función de las medidas del sensor de mano seria:

UVI(TOCON)= $(M \pm d_M) * v$
M= $(UVI_0 / V_0) = 8.1$

Por la regla de propagación de incertidumbre relativa:

$(\sigma d_M/M)^2 = (d_{UVI}/UVI_0)^2 (d_V/V_0)^2 = (3/2.6)^2 + (10/320)^2$

La incertidumbre relativa en el voltaje es despreciable, y la incertidumbre del relevamiento proviene aproximadamente de la incertidumbre en el valor de UVI del sensor manual:

$\sigma d_M = M * (d_M/M) = 1.1$
Entonces:

UVI(TOCON) = (8±1)*V

Posteriormente, se tomo otra tanda independiente de medidas, de 45 minutos, que dio los mismos resultados que la anterior.

V= (312 ± 5)mV =Vo ± dV

UVI= (2.5 ± 3) = UVIo ± dUVIo

UVI(TOCON) = (8±1)*V

Se deduce, relevando con el sensor de mano:

$$UVI(TOCON) = (8\pm1)*V$$

Tomando como patrón al sensor de UVI de mano, se tiene, como *regla de pulgar*, que la medida del TOCON, multiplicada por 8 da el valor del sensor de mano. Más tarde se verá que dicho relevamiento de la curva concuerda, dentro de las tolerancias, con el obtenido intercorparando con el sensor del GMARS.

10.4.2.4.1.4 Conclusiones del experimento 1

El sensor UV dio valores similares en ambas tandas de medidas. Esto, al menos muestra que existe cierta coherencia en los valores que este arroja. Cabe acotar que como prueba de funcionamiento coherente, o 'sanity check' de GEULMóvil el grupo suele usar el sensor manual para corroborar que dicha coherencia se mantiene comparando la lectura del sensor (a través de un display) con dicho valor, al inicializar el sistema.

10.4.2.4.2 EXPERIMENTO 3: RELEVAMIENTO DE LA CURVA UVI-V PARA EL SENSOR TOCON E2 TOMANDO COMO PATRÓN AL SENSOR UVB INSTALADO EN FACULTAD DE INGENIERÍA.

10.4.2.4.2.1 Introducción

El proceso es exactamente el realizado el mes de mayo, y mediante el cual se descubrió que el sensor originalmente dado por el fabricante no daba medidas coherentes. Para ser breves, a partir del voltaje del canal correspondiente en el sensor del grupo GMARS, se deduce el UV-B a través de la sensibilidad del aparato, como se muestra en la [Figura 57] [**93**]

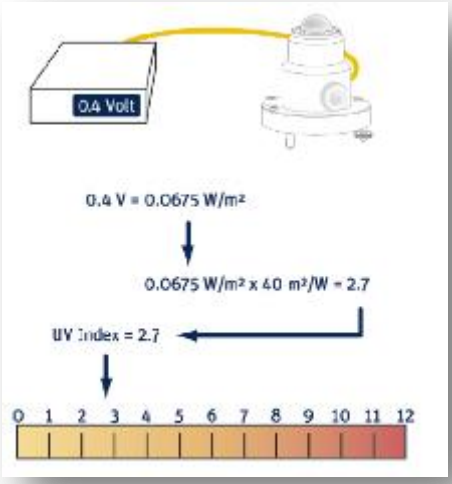


Figura 57 Proceso de medición de UVI.

Nota: El sensor de la figura tiene una sensibilidad diferente al del GMARS.

Por otro lado, se mide el voltaje de nuestro sensor, obteniendo un punto para el relevamiento de la curva. La recta del sensor se traza sabiendo que esta debe pasar por el origen. Dicho procedimiento, según el fabricante (quien implícitamente asegura linealidad y baja incertidumbre) es suficiente para relevar la curva TOCON.
Hay que recordar que el sensor llego solo dos semanas antes de la medida realizada, en las últimas etapas del proyecto, y el grupo confía en el correcto funcionamiento del sensor, según indica el asesoramiento técnico brindado por el fabricante.
Cabe acotar que los integrantes de GMARS, tuvieron a la gentileza de ofrecernos los datos correspondientes al día de la medida (correspondiente al experimento 2) para comparar mejor. Sin embargo, dichos datos se recogen semanalmente y si bien se esperaban tener un día después de la prueba que se está describiendo, al momento de terminar la presente memoria, por razones de fuerza mayor los datos del GMARS aun no se encuentran disponibles.
Notar que una vez que se disponga de esos datos, basta realizar una interpolación por mínimos cuadrados, exactamente como se hizo al comparar los dos sensores de mano.

10.4.2.4.2.2 Resultados:

La [Tabla 23] muestra las medidas realizadas por los tres sensores. La medida se realizo a las 15:35.

Figura 58 Detalle de los sensores de GEULMóvil y del GMARS. La hora de la foto no se corresponde con la de la medida.

10.4.2.4.2.2.1 Medida del sensor del GMARS:

V_{IF}=Sensor IF (mV)	S_{IF}=Sensibilidad del canal *(V/W/m^2)	UVI IF ($40*V_{IF}*S_{IF}$)
0.1909	0.206	1.573

Tabla 23 Medidas de los tres sensores.

* Proporcionada al GMARS en la hoja de calibración del fabricante. Es propia de cada aparato.

10.4.2.4.2.2.2 Medida TOCON:

V_{TOCON}=Sensor TOCON (mV)	C_{TOCON}=Constante del sensor (V/UVI)	UVI nominal esperado (V_{TOCON}/C_{IF})
133 mV	170 mV/UVI	0.8

*C_{TOCON} = Constante (nominal) del sensor E2: DV/UVI = 0.17 (Volts/UVI) –declarado por el del fabricante. Sensor alimentado con Vcc=5V.

Nota: Hasta este momento, se confiaba en el valor de constante nominal dada por el fabricante. Como se detalle en la sección de problemas surgidos, luego de notificarle la discrepancia con el resto de las medidas, el fabricante dijo que no garantizaba su valor si no se pagaba un costo extra por calibrar.

10.4.2.4.2.2.3 Medida del Sensor Manual:

UVI_{MANUAL}	UVI esperado*
1.3±1	1.2±3

Nota: El UVI esperado, se calcula mediante la relación estimada entre el UVI del sensor de mano y el voltaje del TOCON mostrada en la sección anterior.

10.4.2.4.2.2.4 Medidas esperadas según el modelo meteorológico.

El servicio de estimación de UVI por satélite, para la ciudad de Montevideo [**94**], daba para la zona, entre las 15 y las 16 horas un valor UV (ver figura, observación: la hora en Sao Paulo es la misma que en Montevideo a esta altura del año) menor que 1.

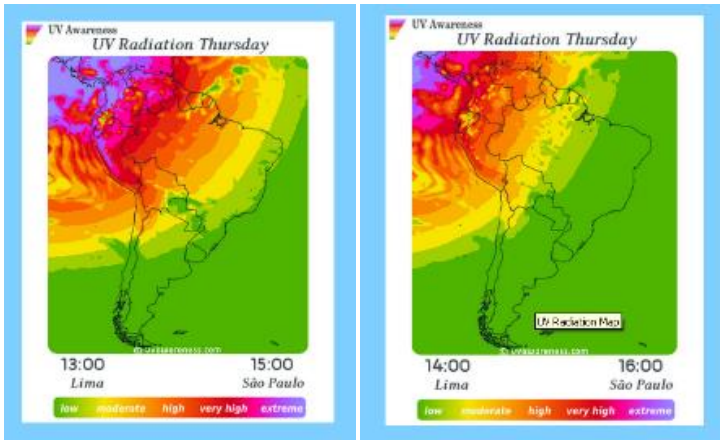


Figura 59 Mapa del pronóstico de UVI, Montevideo, entre las 15:00 y las 16:00 hs.

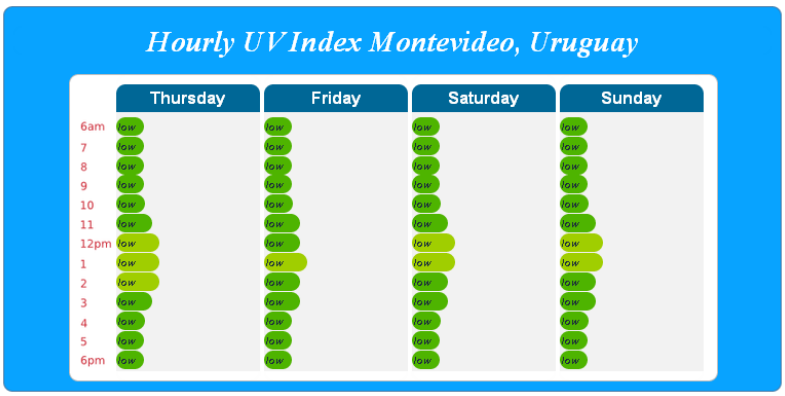


Figura 60 Pronóstico UVI para los días 27/6/2013 - 30/6/2013

uv index	uv range	risk	uv protection
11+	11+	extreme	Prolonged exposure to extreme levels of UV radiation can pose serious health risks. Try to stay out of direct sunlight until UV Index levels decrease or really cover up! UV protective clothes and wide brimmed hat should be used along with sunglasses and SPF 30+. Seek shade when possible.
10, 9, 8	8 - 10.9	very high	If you're in the Sun and the UV Index is 'very high' a wide brimmed hat can help protect your head, face, eyes, neck, shoulders by creating shade. Legs and arms can be protected with UV protective clothing. SPF 30+ should be used on exposed skin.
7, 6	6 - 7.9	high	When the UV Index is 'high' there is a real possibility of skin or eye damage. Good UV protection would include sunglasses, a hat, SPF 15+ and UV protective clothing.
5, 4, 3	3 - 5.9	moderate	If the UV Index level is closer to low not much protection is needed. Otherwise, sunglasses, a hat, and SPF 15+ applied to exposed areas should provide adequate UV protection.
2, 1	0 - 2.9	low	When the UV Index is 'low' there is little risk of exposure. Unless you are especially sensitive to UV radiation generally no protection is needed.

Figura 61 El valor máximo esperado es menor o igual a 2.9

En el archivo histórico del Temis, se puede corroborar la información [**95**]

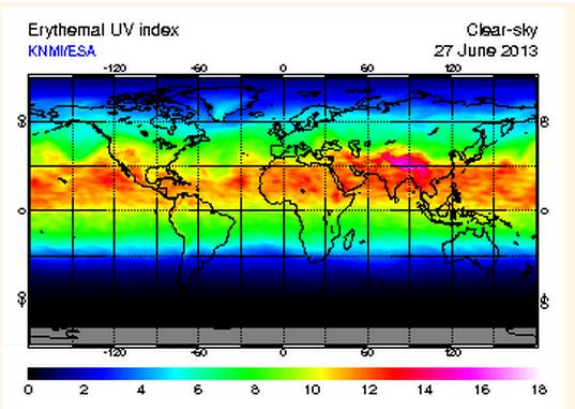


Figura 621 Pronóstico de TEMIS, para la hora de la prueba.

El pronóstico UV daba un UVI (*Clear Sky*, que es equivalente, porque el cielo no estaba nublado a esa hora) menor a 3 durante el día entero. De hecho, pronosticaba un valor entre 2 y 2.9 entre las 12pm y las 3pm, como se obtuvo en las medidas anteriores con el sensor manual.

10.4.2.4.2.2.5 Resumen

La figura siguiente, muestra las diferentes medidas de UVI de acuerdo a cada una de las fuentes disponibles, con incertidumbres mostradas con un factor de obertura k=2. Como puede verse, las tres medidas son compatibles

Relevamiento GMARS	Valor del sensor manual	Pronostico satelital
1.57±0.1	1.3±0.3	1.25±0.5

Figura 632: Resumen de las medidas de UVI tomadas, junto con su incertidumbre asociada (2 sigma)

Dado que el voltaje del sensor TOCON a la hora de la medida, era de (133±5) mV, puede hallarse la sensibilidad del TOCON usando cada una de las medidas anteriores como patrón.

Relevamiento GMARS	Valor del sensor manual	Pronostico satelital
11.8±0.7	9.8±2.3	9.4±3.4

Figura 643: Resumen de las medidas de UVI tomadas, junto con su incertidumbre asociada (2 sigma)

Por lo tanto, la curva relevada, usando como patrón el instrumento del GMARS es:

$$UVI(TOCON) = \mathbf{11,8} * \mathbf{V(TOCON)}$$

En la sección de cálculo de incertidumbres, se encuentran todos los detalles la incertidumbre asociada a esta calibración.

10.5 PRUEBAS DEL ALGORITMO DE ENVÍO DE DATOS UV

10.5.1 EXPERIMENTO 2 (27/06/2013): MEDIDAS AUTOMÁTICAS PARA ESTUDIAR LAS CARACTERÍSTICAS DINÁMICAS DE LA MEDIDA DE UVI.

10.5.1.1.1.1 Introducción

Se recolectaron datos directamente desde un Notebook, usando una comunicación serial mediante la conexión USB entre Arduino y la Notebook, leyendo el voltaje del sensor con un tiempo de muestreo de dos segundos. El voltaje de alimentación del sensor, de 5.03V, fue provisto por Arduino.
Como se mencionó anteriormente, las medidas se tomaron en la azotea de la Facultad de Ingeniería, con la idea de hacer una futura comparación entre los datos obtenidos con los que guarda el GMARS. La hora de inicio de las toma de medidas fue 15:13, horario en el que el cielo se encontraba sin nubes.

Figura 65 Fotos correspondientes al experimento 2

La [Figura 65] (izquierda) muestra parte del dispositivo experimental usado. No se muestra la conexión entre Arduino y la Notebook. En el fondo puede verse el sensor del GMARS. Alrededor de las 16h el cielo se torno nublado, como puede verse en la foto. Al final de las medidas (derecha), el índice UV se torno despreciable, principalmente por la presencia de nubes y la baja posición del sol.

10.5.1.1.1.2 Resultados

La Figura 66 muestra los resultados obtenidos para el UVI, donde el valor del conversor A/D, entero entre 0 y 1023, que digitaliza los valores y es enviado por el puerto serial ya fue convertido a voltaje.

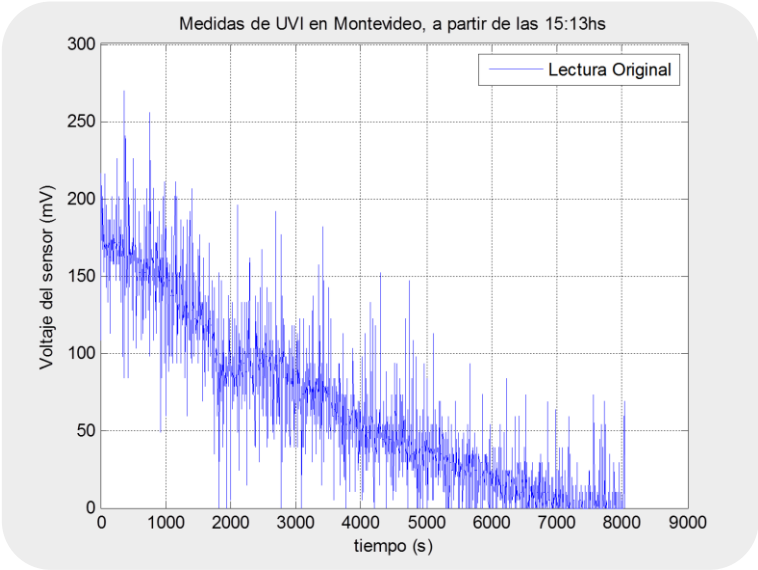


Figura 66 UVI vs Tiempo - 27/6 - Hora 15:13

Como puede verse, la señal obtenida es muy ruidosa, por lo que es conveniente graficarla junto a su media y su mediana para tener una idea de la tendencia de los datos.
En la Figura 67, Se señalizan mediante puntos los valores que enviaría GEULMóvil usando el algoritmo de detección de máximos con ventana de 20 minutos, muestra los valores de las medidas acompañados por su media y mediana, ambas calculadas en una ventana de 5 minutos de largo. Dicho largo de ventana se eligió acorde a la recomendación de la OMS en su índice solar mundial:

"La información sobre el IUV… Si se dispone de observaciones continuas, es útil manejar valores medios de periodos de 5 a 10 minutos para mostrar los cambios a corto plazo"

Si se calcula el promedio o la media con una ventana de tiempo suficientemente grande, se logra inmunidad al ruido y se obtiene una curva con la tendencia del UVI en función del tiempo. Según la recomendación anterior, 5 minutos resulta ser un valor adecuado.
También se muestran los datos que se envían al elegir como criterio de envío de mensajes tomar el máximo en la ventana temporal de 20 minutos Dichos valores pueden verse como las salidas de los datos aplicándose a un filtro de máximo de ventana 20 minutos y muestreadas cada veinte minutos. GEULMóvil, como se explico en secciones anteriores, con el algoritmo de envío de datos elegido, mandaría, cada 20 minutos los valores correspondientes a ese filtro. En la Figura 67 se aprecia como el ruido superpuesto a las medidas hace que el máximo tome un valor muy alejado a la tendencia de la medida (ilustrada ya sea por la mediana o por el promedio).
Se debe aclarar que esas grandes oscilaciones no se deben al sensor, pues los datos medidos estaban siendo chequeados visualmente con un tester en paralelo, el cual presentaba variaciones rápidas pero no mayores a 5mV.

Para las medidas de la grafica, el valor enviado por GEULMóvil llega a tener dispersiones respecto a la media (o a la mediana) del orden de 25mV. Eso implica errores porcentuales de hasta un 15% solamente debido al ruido presente.

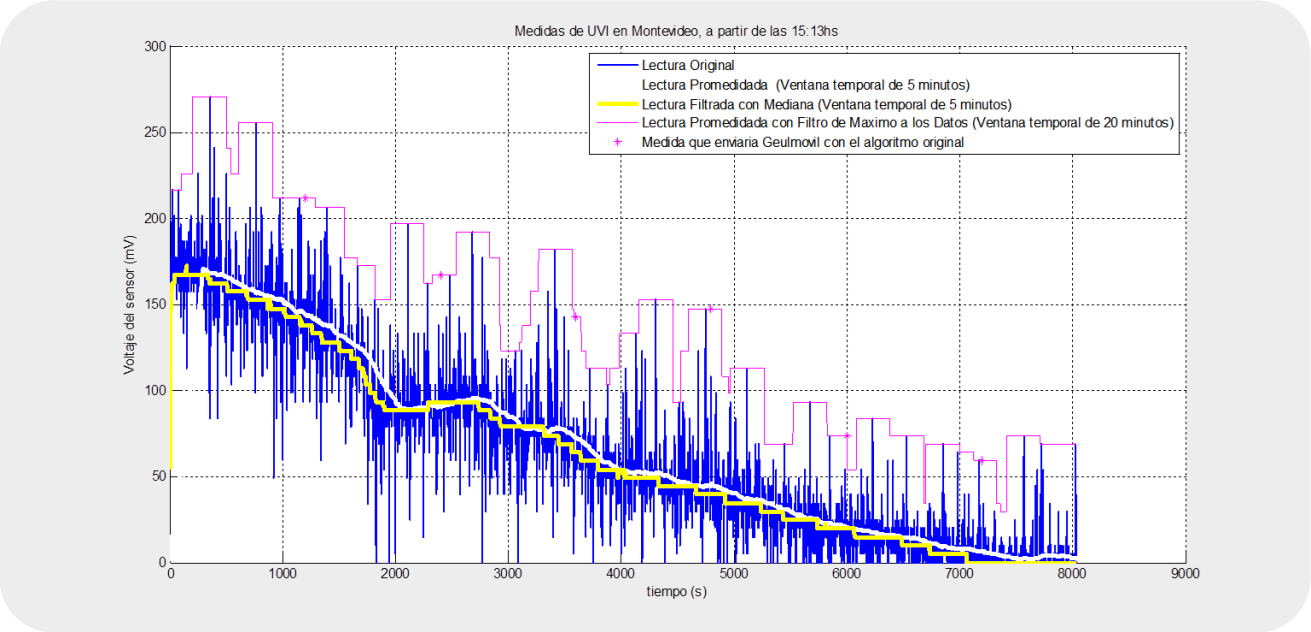


Figura 67 UVI vs Tiempo, 27/6, acompañado de la señal filtrada

Este valor es demasiado alto, por lo que se decide probar otro algoritmo de envío de datos y evaluar su performance para las medidas obtenidas.

En el Anexo A.15 que se recomienda leer antes de pasar a la sección siguiente, se explica la elección de un nuevo algoritmo de detección, así como la razón de que los datos de esta prueba hayan sido ruidosos. La siguiente sección contiene al análisis de resultados evaluando el funcionamiento del algoritmo propuesto

10.5.1.1.2 PERFORMANCE DEL NUEVO ALGORITMO

10.5.1.1.2.1 Caso de uso típico: Medidas del experimento 2.

Si bien se maneja la hipótesis de que la señal obtenida sea tan ruidosa porque el canal de comunicación por el que se obtuvieron los datos (y no porque las medidas reales los sean), el conjunto de datos obtenidos sirven como caso de uso extremo para aplicar simulaciones del nuevo algoritmo propuesto.

Comencemos viendo la [Figura 68] como el promedio y la mediana con ventanas de tiempo largas, del orden de 5 minutos, representan a la medida de manera satisfactoria, filtrando el ruido.

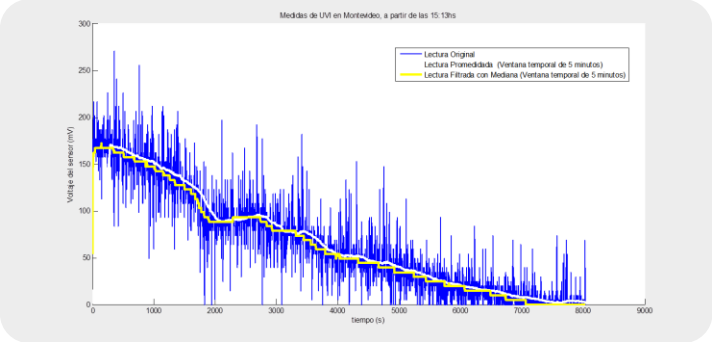


Figura 68 Datos originales y Filtrados con Filtro de Mediana y Promediador en ventanas de 5 minutos

En la [Figura 68], la señal promediada, así como la señal pasada por el filtro de medianas, usan una ventana de tiempo muy grande de unas 600 muestras para dar su valor, por lo que su implementación como algoritmo en línea consume demasiados recursos.

Lo que se hace con el pre-filtrado propuesto en el nuevo algoritmo es calcular una versión de dichas señales con una ventana de tiempo más corta, del orden de 10 muestras. Se busca así obtener un valor cada 20 minutos que refleje la tendencia representada por la mediana, o equivalentemente, el promedio.

La [Figura 69] muestra como el preprocesado, ya sea por promedio o por mediana, genera medidas menos ruidosas. Al hallarle el maximo en los 20 minutos a dichas medidas, se obtienen datos a enviar mas cercanos al valor UVI deseado.

La señal amarilla de la mediana calculada con ventana de tiempo larga aparece como guía, pues ayuda a ver como evolucionaría la señal si su ruido fuese menor.

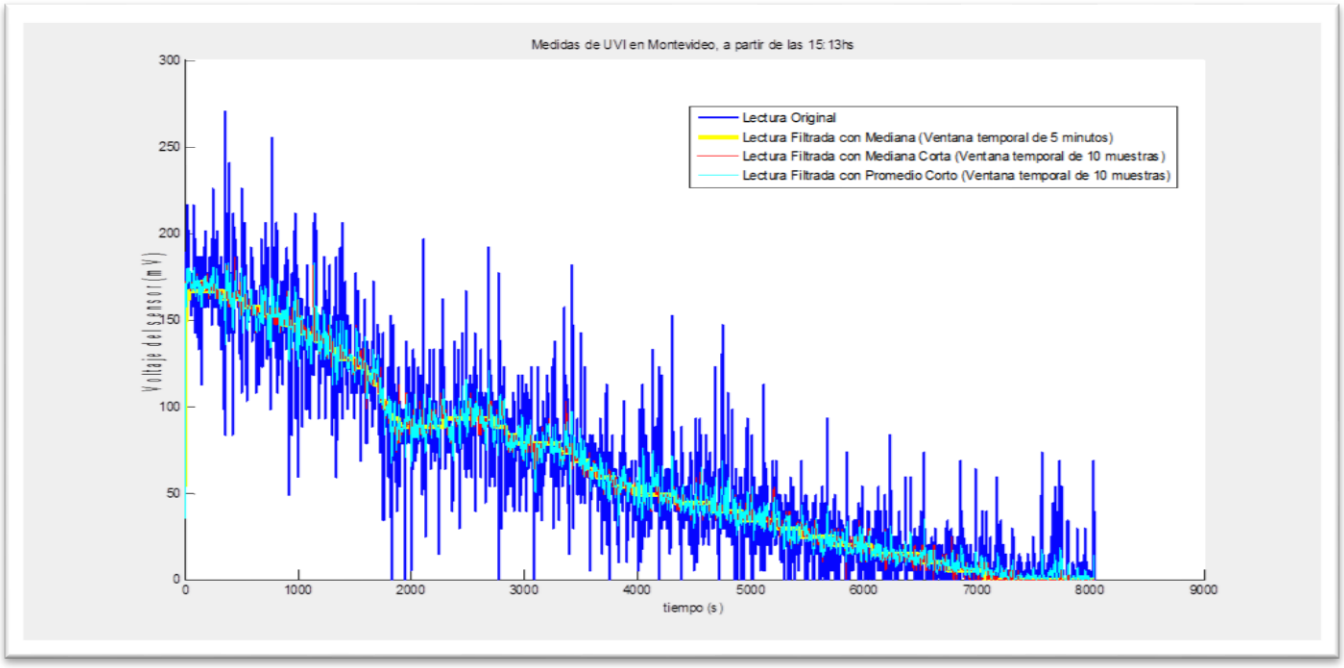


Figura 69 Medidas procesadas con Filtro de Mediana y con Filtro Promediador

Notamos como el ruido disminuye considerablemente luego de pre procesar la señal.

Finalmente, se incluye la grafica de los máximos [Figura 70], obtenidos de la señal original y de la señal pre procesada. El valor del máximo se almacena localmente en el programa de Arduino y se envía cada veinte minutos, se grafican también los valores enviados por GEULMóvil en cada uno de los algoritmos de pre-procesamiento presentados.

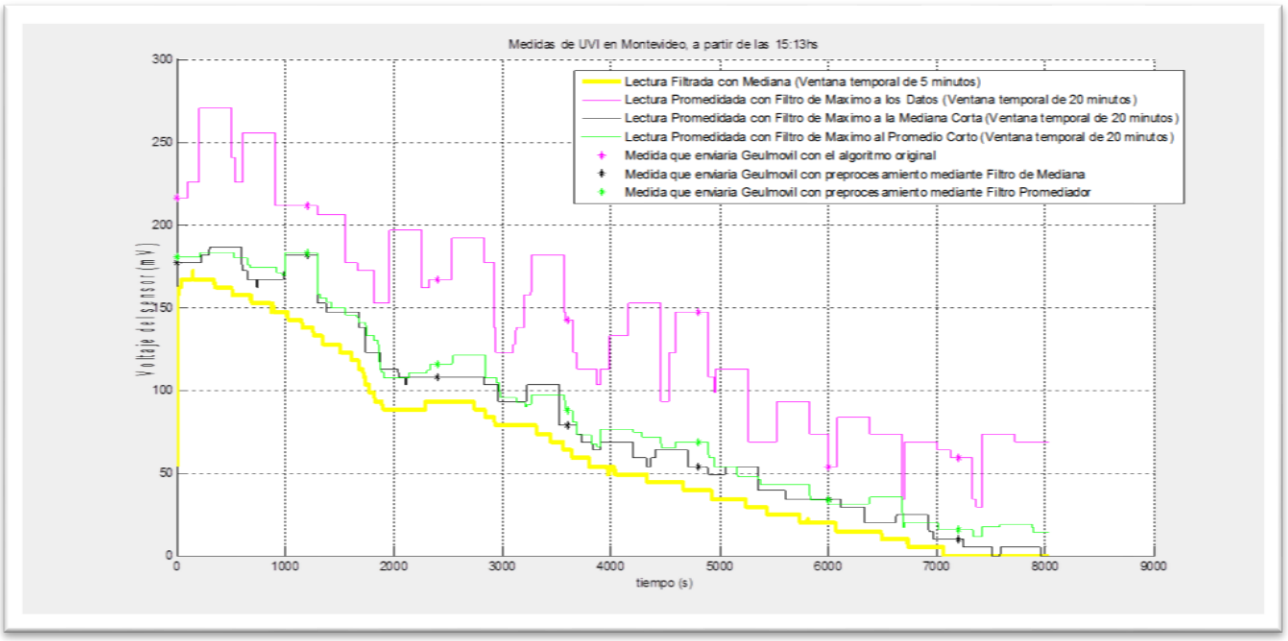


Figura 70 Datos UVI filtrados con mediana de ventana 5 minutos, y datos enviados por GEULMóvil para cada uno de los 3 algoritmos simulados (sin pre-filtro, filtro promediador de orden 10 y filtro de mediana de orden 10).

Se puede ver como las medidas de los nuevos algoritmos tienen menor dispersión, y aproximan de forma razonable las curvas de promedio y mediana, pero sin requerir tanto poder de procesamiento en línea.
La grafica sirve también para mostrar la enorme mejora de performance del nuevo algoritmo, a costa del procesamiento extra, segundo a segundo, de la mediana de un conjunto de solo 20 valores (veinte segundos en el esquema de envío de datos cada un segundo), lo cual no representa un gran esfuerzo computacional.
Si se calcula el error como el apartamiento máximo entre la mediana y los valores de los algoritmos se tiene:

Sin pre-procesamiento	*Con mediana*	*Con promedio*
24mV	*10mV*	*10.2mV*

Tabla 24 Desviación máxima entre la mediana de ventana 5 minutos y los datos enviados por GEULMóvil

Dicha desviación es más coherente con el valor de exactitud del sensor, de 8mV (1 sigma)

10.5.1.1.3 CASO DE USO 2: LAPSOS CORTOS DE EXPOSICIÓN AL SOL.

Veamos cómo funciona el algoritmo en un caso de uso que ilustra la necesidad de usar el máximo de la señal pre-procesada para informar el UVI.
Simulamos una situación en el que el móvil, una vez que arranca, demora 19 minutos en exponerse a la luz del sol, la cual es detectada por el sensor recién en el último minuto y medio:

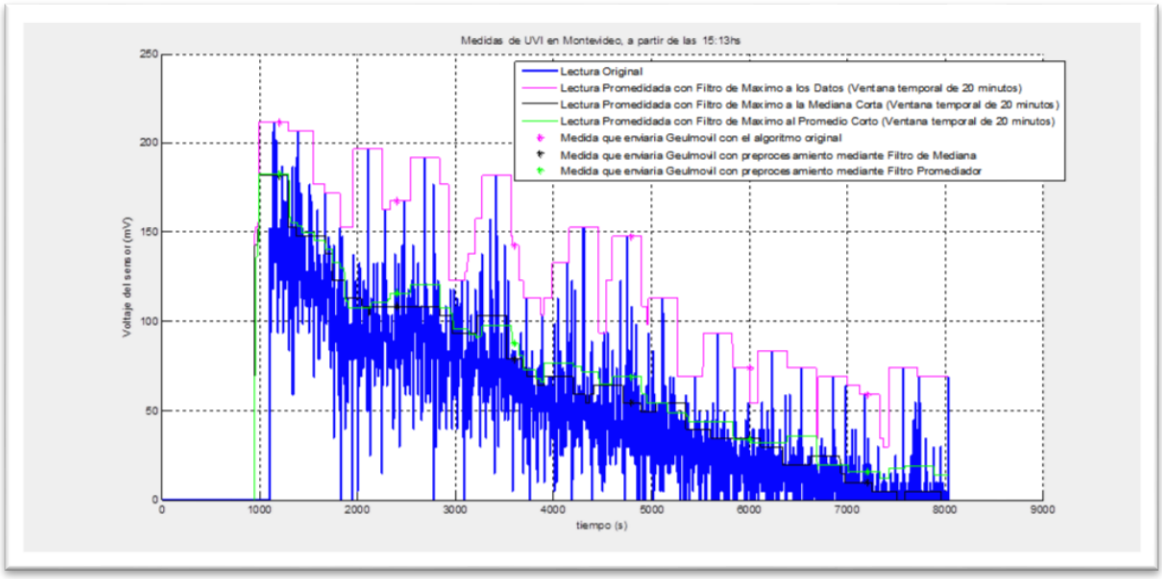


Figura 71 Modificación de las medidas del Experimento 1 para simular un caso del sensor bloqueado y los primeros 18 minutos arrojando igual un resultado correcto. Notar como el preprocesado continua disminuyendo el error.

Como puede notarse en la [Figura 71], dicho minuto y medio es suficiente para que el sensor envíe un valor más cercano al UVI actual que al valor que midió el sensor la mayoría del tiempo (intensidad de UV nula), por lo que se considera válido el comportamiento del algoritmo en este caso de uso. Si simplemente se hubiese promediado en los veinte minutos, el valor informado hubiese sido mucho más bajo. En el Anexo A.14 se encuentran los códigos de Matlab utilizados para el procesamiento de los datos.

11 INCERTIDUMBRE ASOCIADA AL INSTRUMENTO.

11.1 INTRODUCCIÓN

Esta sección resume las técnicas para calcular las incertidumbres asociadas a la medida del índice ultravioleta por parte de GEULMóvil. Parte de la metodología y vocabulario usados son los recomendada por la GUM (*Guide for the Expression of Uncertainty in Measurement*), [Ref. in1], que funciona como estándar en el mundo de la metrología para el cálculo de incertidumbre. En particular, se utiliza la interpretación de la GUM presentada en [Ref in2] y usada como estándar unificador por los metrólogos del CENAM (Centro Nacional de Metrología, México)

La incertidumbre presentada es del tipo B y a 'cielo abierto', no contempla que el instrumento puede estar bloqueado aleatoriamente por obstáculos, factor que tiende a amentar el error de la medida enviada a GEULMapa. El algoritmo propuesto de procesamiento de datos previo al envió se encarga de que el sistema sea robusto a este bloqueo aleatorio, y a la misma vez, reducir fuertemente el aporte de la incertidumbre tipo A mediante el pre filtrado y hacerla despreciable respecto a la incertidumbre tipo B.

El [apartado 11.2] muestra el cálculo de incertidumbre, sin especificar las consideraciones tomadas para cuantificar cada aporte., y en la [sección 11.3] se detalla las especificaciones del instrumento referentes a la incertidumbre.

En el Anexo A.1, se pasa a explicar el efecto de cada una de las fuentes de incertidumbre y se detalla el cálculo de la incertidumbre asociada. Una vez cuantificado el aporte del término, se discute, cuando es posible, como podría minimizarse su efecto o como podría mejorarse al sistema GEULMapa/GEULMóvil para poder minimizarlas de considerarse necesario.

Por último, se hace un estudio estadístico de cómo repercute la incertidumbre asociada al instrumento en la presentación de datos en el servidor. Se consideran varios parámetros que caracterizan la calidad del sistema integrado, y se investiga el compromiso entre tener pocos móviles de baja incertidumbre o muchos móviles que den datos con alta incertidumbre.

11.2 CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE A PARTIR DE LA CURVA RELEVADA.

El UVI se deduce a través del voltaje del sensor $v(Tocon)$, mediante la curva experimental característica. Esta puede provenir de una calibración formal o un relevamiento manual y siempre es de la forma siguiente, garantizada por el fabricante:

$$UVI(Tocon) = m.v(Tocon) + b$$

O alternativamente:

$$y = mx + b$$

Donde por comodidad se usa la siguiente notación:

$y = \square VI(Tocon)$

$x = v(Tocon)$
$m \rightarrow Constante\ de\ sensibilidad\ del\ sensor\ (Tocon)$
$b \rightarrow UVI\ de\ offset$

Más allá de los valores numéricos particulares de m y b, según el funcionamiento esperado del sensor, siempre se puede suponer que el UVI de offset es despreciable. De hecho, usando los parámetros nominales del sensor, dados en la hoja de datos y mostrados en la tabla siguiente, se puede ilustrar este hecho:

'Dark Offset Voltage'	*'Approx. Sensitivity'*
$V_{OFFSET} = 5mV.$	S_{MAX} = *170mV/UVI*

$$b \approx \pm\frac{V_{OFFSET}}{S_{MAX}} = \pm\frac{5mV}{170mV/UVI} \approx \pm 0.03\ UVI$$

Observar que esto justifica también un relevamiento con cruce forzado por cero, pero independientemente de si el cruce fue o no forzado al relevar, se puede aproximar por:

$$y = mx$$

Aquí se estimara el efecto de la incertidumbre una medida hecha con sensor a partir teniendo en cuenta diversas fuentes de incertidumbre independientes que afectan a la medida.
Si se tienen en cuenta n fuentes de incertidumbre $u_{1,} \dots u_n$ independientes para la estimación, la Incertidumbre asociada u_y se calcula mediante la ley de propagación de incertidumbre:

$$u_y{}^2 = \sum_{i=1}^{i=n} u_i{}^2$$

A su vez, el error que afecta la variable *y*, se considera aditivo, Gaussiano, de media nula y con una desviación estándar u_y.

Otro hecho que será usado es la propagación de incertidumbre relativa para funciones que pueden escribirse como productos de términos:

$$y(x) = \frac{a_1(x) \dots a_k(x)}{b_1(x) \dots b_l(x)} \xrightarrow{entocnes} \frac{u_y}{y} = \frac{u_{a_1}}{a_1} + \cdots + \frac{u_{a_k}}{a_k} + \frac{u_{b_1}}{b_1} + \cdots + \frac{u_{b_l}}{b_l}$$

Los términos de la derecha, se denominan incertidumbres relativas asociadas a las fuentes de incertidumbre $a_1, \dots a_k,\ b_1\ , \dots, b_l$

A partir de la ley de propagación de incertidumbre, se tiene:

$$(dy)^2 = m^2 dx^2 + dm^2 x^2$$

Donde:

- dx es la incertidumbre asociada al voltaje y los factores que se toman en cuenta son:

1) Incertidumbre debida a la dependencia voltaje-temperatura.
2) Incertidumbre asociada al error de inclinación del sensor.
3) Incertidumbre asociada al error por coseno del sensor.
4) Incertidumbre en el proceso de calibración del sensor.
5) Incertidumbre debido a la medida de voltaje.

- dm es la incertidumbre asociada al parámetro m de la curva relevada. Sus parámetros nominales, con el factor de corrección por coseno y su incertidumbre incorporada, son acorde al Anexo A.1.9:

m	dm/m
11.6 (UVI/V)	4%

Más adelante, se detallan los cálculos de la incertidumbre en el voltaje, pero estos se pueden calcularse como:

$$(dx)^2 = (k_1 x)^2 + (k_2 x)^2 + (k_3 x)^2 + (k_4 x)^2 + dx_5{}^2$$

Entonces:

$$(dy)^2 = m^2(dx_5{}^2 + (k_1{}^2 + \square_2{}^2 + k_3{}^2 + k_4{}^2)x^2) + dm^2 x^2$$

Que se puede rescribir como:

$$(dy)^2 = \left(k_1{}^2 + k_2{}^2 + k_3{}^2 + k_4{}^2 + \left(\frac{dm}{m}\right)^2\right) y^2 + (m.dx_5)^2$$

En esta expresión puede verse el aporte de varios términos, cada uno asociado a fuentes de incertidumbre independientes:

- Los términos $k_1{}^2, \dots, k_4{}^2, \left(\frac{dm}{m}\right)^2$, que juntos aportan a la incertidumbre total en forma de incertidumbre relativa por depender del valor de la medida. Como fabricantes, se los declara como parte de la incertidumbre asociada a la exactitud de instrumento.
- El término de incertidumbre $(m.dx_4)^2$, independiente de la medida, que resume el aporte de la incertidumbre asociada a la medida con el ADC. Como fabricantes, se lo declara como parte de la resolución asociada al instrumento.

Calculo de incertidumbre expandida:

Nro.	Fuente de incertidumbre	Cálculo	Incertidumbre asociada
1	Temperatura	Anexo A.1.2	$u_{\%1} = k_1 = 3\%$
2	Inclinación	Anexo A.1.8	$u_{\%2} = k_2 = 4.5\%$
3	Error coseno	Anexo A.1.4.3	$u_{\%3} = k_3 = 7\%$
4	Prueba fabricante	Anexo A.1.3	$u_{\%4} = k_4 = 1.5\%$
5	Medida del ADC	Anexo A.1.1	$u_5 = m.dx_5 = 0.1\ UVI$
6	Relevamiento GMARS	Anexo A.1.9	$u_{\%6} = \left(\frac{dm}{m}\right) = 4\%$

Tabla 25 Fuentes de incertidumbre expandida

Se agrupan en 2 términos, exactitud y resolución:

$$u_{Ex} = \sqrt{{k_1}^2 + {k_2}^2 + {k_3}^2 + {k_4}^2 + {k_6}^2} = 9.8\%$$
$$u_{Res} = u_5 = 0.1 \text{ UVI}$$

11.3 CONSIDERACIONES SOBRE LA PRESENTACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE.

La tabla siguiente muestra dichas las magnitudes con diferentes factores de cobertura:

Magnitud	K=1	K=2
Exactitud (k=2)	10%	20%
Resolución (k=2)	0,1UVI	0,2UVI

Es útil separar la incertidumbre presentada en dos zonas, dada la menor influencia del error por inclinación y por coseno cerca del mediodía y la importancia que tienen los datos a esas horas, al menos en verano.

Magnitud	Valor numérico $\theta_z < 40°$	Valor numérico $40° < \theta_z < 75°$
Exactitud	6% (k=1)	10% (k=1)
Resolución	0.1 UVI (k=1)	0.1 UVI (k=1)

Es importante notar que dada la complejidad del fenómeno físico, las incertidumbres alcanzadas hoy en día en las medidas de UV son bastante altas: los estándares tienen incertidumbres del orden del 3%, que conlleva incertidumbres del orden del 5% para las calibraciones y , junto a otras fuentes (como respuesta cosenoidal imperfecta) hacen que las medidas solares tengan incertidumbres entre 7%-9% . Las incertidumbres presentadas aquí son del orden del rango usual de 7%-16% presentados por instrumentos de medida de UVI con tecnología de banda ancha, como el de GEULMóvil, en los que el error por coseno suele ser la mayor fuente de error[**96**].

Con las correcciones sugeridas, se estima que la incertidumbre asociada al instrumento podría disminuirse a la mitad. La tabla con todas las incertidumbres asociadas es de mucha utilidad para saber en donde hay que enfocar los esfuerzos ingenieriles para mejorar la calidad del instrumento.

Si el propósito es presentar el UVI, interesan las siguientes probabilidades:

- La probabilidad P_{e1}de presentar un UVI entero errado, “por ej. digo 9 en vez de 10”.
- La probabilidad P_{e2}de dar un valor de escala OMS errado por un lugar (digo “riesgo alto” en vez de “muy alto”)
- La probabilidad P_{e3} de cometer un error grave en la presentación de UVI (digo “riesgo moderado” en vez de “muy alto”

A modo de resumen se presentan dichas probabilidades para un día de verano. Los detalles de cálculo se encuentran en el Anexo A.1.10 El cálculo fue hecho usando el hecho de que entre las 9:45hs y 15:40hs, el instrumento tiene una incertidumbre del 6%, y para las demás horas, un 10%[**97**].

Probabilidad	Valor numérico
P_{e1}	2%
P_{e2}	0.5%
P_{e3}	$\ll 10^{-6}$

12 COSTOS

Los costos asociados a un proyecto son una parte vital del mismo. Son estos un factor que pueden determinar si un emprendimiento es viable o no. Si bien no es el único elemento determinante, cuando el fin del proyecto es lograr un prototipo para luego comercializar, resulta para nada despreciable.

Los costos están separados en 3 grupos: materiales, servicios y horas hombre. Los costos materiales son aquellos que se derivan de la compra de todos los ítems necesarios para la construcción del prototipo. Los servicios pueden ser costos administrativos necesarios para diversos fines, como ejemplos son envíos, despachos de aduana, trámites, timbres, etc. También dentro de este rubro están los costos de servicios como puede ser una soldadura o una consultoría. Por último está el costo de la mano de obra asociado a la investigación y desarrollo del prototipo.

12.1 MATERIALES

Los materiales necesarios para la fabricación del prototipo son:

ARTICULO	#	U$S/$U	PRECIO UNITARIO	Subtotal	TOTAL inc. Impuestos
Kit GL865+JN3	1	U$S	202	202,00	202,00
Sensor UV con pre.	2	U$S	193	386,00	386,00
Housing metal	2	U$S	157	314,00	314,00
Kit GL865+JN3	1	U$S	179,31	179,31	179,31
GPS	1	U$S	98,48	98,48	98,48
GPS con antena ext.	1	U$S	58,11	58,11	58,11
antena mag	1	U$S	6,08	6,08	6,08
Hierro Percloruro al 40%	1	$U	54,05	54,05	65,94
Placa transparente 22x17	1	$U	40,9	40,90	49,90
Zócalo 18 patas	10	$U	5,35	53,50	65,27
Tira conector 40 c	1	$U	9,7	9,70	11,83
Conector mini pCI	3	$U	12,84	38,52	46,99
Conector mini 4p	2	$U	3,85	7,70	9,39
Terminal para con mini	40	$U	1,54	61,60	75,15
Conector mini 20p	2	$U	16,54	33,08	40,36
Conector mini 2p	4	$U	2,56	10,24	12,49
Tira 90grados	1	$U	20,86	20,86	25,45
LN317	2	$U	12,81	25,62	31,26
MAX232	2	$U	30,98	61,96	75,59
Zócalo 16p	2	$U	6,63	13,26	16,18
Cond 1 x 50	10	$U	4,42	44,20	53,92
R 1/8 10k	10	$U	0,59	5,90	7,20

BC547	6	$U	1,91	11,46	13,98
BC548	3	$U	1,91	5,73	6,99
LN556	2	$U	52,92	105,84	129,12
Zener 12 v	5	$U	3,748	18,74	22,86
Zener 24 v	5	$U	3,748	18,74	22,86
Relay 24 v	1	$U	33	33,00	40,26
Relay 5 v	1	$U	31,97	31,97	39,00
Fusibles de vidrio 1A	10	$U	4,066	40,66	49,61
Portafusible para impreso	5	$U	10	50,00	61,00
Gabinete 250x176x76	1	$U	396,9	396,90	484,22
Timer 555	2	$U	8,4	16,80	20,50
Cond 1 uf	5	$U	1,35	6,75	8,24
Cond 10 uf	5	$U	1,94	9,70	11,83
Cond 100 uf	5	$U	3,03	15,15	18,48
Cond 1000 uf	5	$U	16,98	84,90	103,58
Relay 1PDT 12v	2	$U	29,5	59,00	71,98
Resistencia 1M8	10	$U	1,05	10,50	12,81
Resistencia 2M2	10	$U	1,05	10,50	12,81
Placa resina cobreada	1	$U	54,02	54,02	65,90
Terminal impreso	4	$U	9,63	38,52	46,99
chip ancel	1	$U	150	150,00	183,00
recargas	1	$U	425	425,00	518,50
resortes	1	$U	300	300,00	366,00
tornillos varios	1	$U	50	50,00	61,00
Subtotal U$S					1.445,98
Subtotal $U *(incluye IVA)*					2.958,46
TOTAL $U (incluye IVA)					30.938,18

Tabla 26 Costos de Materiales. Tipo de cambio: 19.35$/U$

12.2 Servicios

Muchos de los materiales necesarios no se encuentran en el mercado local. Es por esto que hay costos de envíos y despachos. El módulo GPRS tendría un costo de envío y despacho, fue evitado en este proyecto ya que en ambas instancias de compra lo trajo

ITEM	CANTIDAD	PRECIO Un Costo Protipo
ENVIO Y DESPACHO SENSOR	1	1.500
ENVIO y DESPACHO GPRS	2	0,00
ENVIO y DESPACHO GPS	3	0,00
ENVIO Y DESPACHOARDUINO	3	0,00
ENVIO Y DESPACHO CIRCUITO IMPRESO	1	0,00
TOTAL		**1.500**

Tabla 27 - Costos de Servicios

12.2.1 Opciones de Servicios de Comunicación en Plaza

12.2.1.1 SMS

El costo asociado a los SMS se detalla en ésta sección.

	Descripción	COSTO EN $U
Móvil	CHIP	**148**
	Recarga Mensual	**25**
Servidor	MODEM 3G	**1100**
	CHIP	**148**
	Recarga Trimestral	**25**

Tabla 28 Costos SMS

Cada CHIP, por lo tanto, cada Móvil tiene en ésta modalidad 1000 mensajes libres al mes para enviar. Para el cálculo de los costos de cada móvil se asumió que se enviará una muestra cada 20 minutos durante 11 horas en verano. La medida se realizará desde las 8:30 hasta las 19:30. Esto resulta en un promedio de 33 muestras diarias durante 30 días al mes por cada dispositivo, resultando un total de 990 SMS mensuales por dispositivo.

Como se mencionó anteriormente, en base a los planes actuales alcanza para los móviles una recarga de 25 pesos mensuales para mantener las comunicaciones en promedio anual, enviando 4 mensajes por hora. En el caso de tener 10 móviles en circulación, el costo mensual promedio será de unos $308 mensuales, o $3700 anuales.

Se desprende de lo anterior que en lo que a costos respecta la mejor opción es el envío de SMS. Si bien presenta problemas de escalabilidad, resulta para esta primera etapa la elección más beneficiosa tanto a nivel de desarrollo como de no dependencia frente a terceros solicitando exoneraciones de costos en soluciones más complejas y costosas. Quedando esta gestión para una futura etapa de así requerirse.

12.2.1.2 SMS EMPRESA

El costo de este servicio se factura con distintas formas de tasación, en los cuales toda o parte de la mensajería puede ser paga por la empresa o por el usuario.

Las posibles formas de cobro son:

Los mensajes enviados y recibidos por los dispositivos son pagos por GEULMapa, el precio del mensaje depende del volumen mensual total.

Los mensajes enviados por los dispositivos son pagos por GEULMóvil a $0.34 imp. incl. y los recibidos están a cargo de GEULMapa, el valor de estos depende del volumen mensual total.

GEULMapa deberá abonar un costo de instalación de $1020 Imp. Incl y un mínimo mensual de $680 Impuestos Incluidos lo que habilita a enviar 2.000 SMS por mes.

Existen varios paquetes empresariales de mensajería de Texto SMS. El precio de cada mensaje se define según franjas como muestra la tabla siguiente.

Tipo de servicio	Cantidad de Mensajes enviados/mes	Precio por mensaje, Imp. Inc.
Aplicaciones de Información y atención a clientes y empresas	Entre 2.000 y 49999	$ 0.34 (pesos uruguayos cero con 34/100)
Aplicaciones de Información y atención a clientes y empresas	Entre 50.000 y 99999	$ 0.29 (pesos uruguayos cero con 29/100)
Aplicaciones de Información y atención a clientes y empresas	Más de 100.000	$ 0.24 (pesos uruguayos cero con 24/100)

12.2.1.3 VPN MOVIL

El costo de este servicio corresponde a tener un acceso central de 1Mbps y 100, 250 o 500 accesos remotos móviles. Es importante destacar que el costo del mismo para uno que para 100 accesos remotos, ya que estos se venden de a paquetes.

	Arrendamiento Mensual	Conexión	Cantidad de Puntos	Rendimiento del Plan	Tarifa por punto (IP) adicional	Tarifa por MB adicional
Remotos	Importe	Importe			Importe	Importe
100	$ 5000	$ 15534	100	5 GB	$ 60	$ 1
250	$ 8500	$ 15534	250	10 GB	$ 60	$1
500	$ 12.500	$ 15534	500	20 GB	$ 60	$1
Central						
	$ 2628	$ 2920	1	1Mbps	-	-
	$ 3573	$ 2920	1	2Mbps	-	-

Tabla 29 - Costos VPN Móvil

A los precios mencionados se le deben agregar los impuestos.

El tamaño máximo de un SMS es de 160 caracteres[44]. Los SMS están codificados a 7 bits, no a 8, lo que limita a 128 caracteres diferentes en lugar de los 256 que permitirían los 8 bits. Entonces un mensaje SMS de 160 caracteres ocupa 1.120 bits, ya que:

$$BW = 160_{char} \times 7_{bits} = 1.120_{bits}$$

Para los cálculos de los costos se asumió una muestra cada 20 minutos durante 11 horas en verano que sería el rango más amplio a medir. La medida se realizará desde las 8:30 hasta las 19:30. Esto resulta en un promedio de 33 muestras diarias durante 30 días al mes por cada dispositivo, resultando un total de 990 sms mensuales por dispositivo. De variar el tiempo de cada cuanto se manda una muestra o la cantidad de horas que se transmite en un día, también variarán los costos relacionados.

Es necesario estimar cuanto sería el Ancho de Banda requerido para el dimensionamiento del sitio central (GEULMPA). Para esto se considera un escenario de peor caso, es decir recepcionar sms de cada remoto simultáneamente.

Si se cuenta con 100 dispositivos y cada uno envía 1 sms al mismo tiempo entonces re requiere:

$$BW_{TOTAL} = 1.120_{bitsxsms} \times 100_{dispositivos} = 112.000_{bits} = 112\ kbps$$

Si se incrementara el número de móviles hasta 1000 el máximo ancho de banda requerido en el sitio central apenas superaría el Mbps.

De lo todo lo anterior desprende que, en los escenarios de despliegue esperados, el ancho de banda requerido para el sitio central nunca superaría 1 Mbps Siendo éste el BW a contratar en caso de inclinarse por ésta solución.

12.2.1.4 COMPARATIVO

El siguiente cuadro muestra un comparativo entre las distintas opciones:

COSTOS	SMS	VPN Móvil	SMS Empresa
Costo Mensual (5 disp)	125,00	7.628	1836
Costo Mensual (50 disp)	1.250,00	7.628	18.360
Costo Mensual (100 disp)	12.500	7.628	36.720
Tasa de Conexión	0,00	18.454	1.020
Costo en Chips (5 disp)	740,00	0,00	0,00
Costo en Chips (50 disp)	7.400,00	0,00	0,00
Costo en Chips (100 disp)	148.000,00	0,00	0,00

Tabla 30 Comparativo Comunicación de Datos

12.3 HORAS HOMBRE

A los efectos del cálculo de este proyecto se estimó en U$S 40 el costo de la hora de cada uno de los integrantes del proyecto. A continuación se encuentra el desglose de las distintas actividades que componen el mismo. Así como el costo asociado a cada una de ellas.

ACTIVIDAD	HORAS	PORCENTAJE	COSTO U$
PRUEBAS	155	**10%**	6.200
DESARROLLO	46,5	**3%**	1.860
CLASE	108,5	**7%**	4.340
CONFIGURACIONES	155	**10%**	6.200
REUNIONES	217	**14%**	8.680
DOCUMENTACION	310	**20%**	12.400
INVESTIGACION	558	**36%**	22.320
TOTAL	**1550**	**100%**	**62.000**

Tabla 31 Horas Hombre - Costo

Figura 72 Costo por Actividad

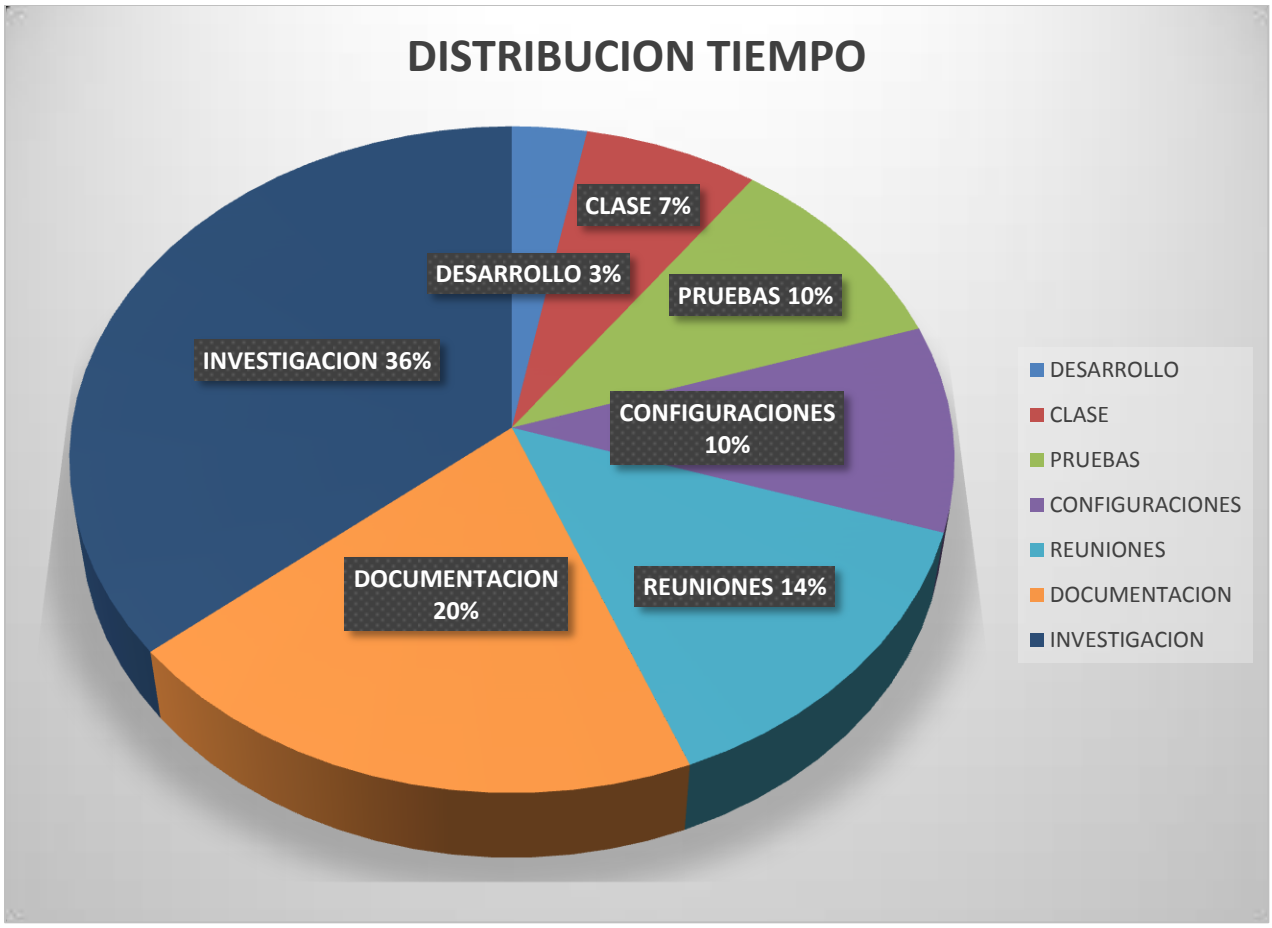


Figura 73 Distribución de Horas por Actividad

12.4 Costo Final

La suma de todos los rubros anteriores resulta en el costo de la fabricación del primer prototipo se eleve a un total de $ 1:233.103 como se muestra en la Tabla 32

ITEM	Monto en $	Monto en U$ @19.35
MATERIALES	30.903,18	1597.06
SERVICIOS	2.500	129.20
HORAS HOMBRE	1.199.700,00	62000.00
TOTAL $U	**1.233.103,18**	**63726.26**

Tabla 32 - Costo Final

12.5 Reducción de Costos

El prototipo de cualquier dispositivo comercializable es el que requiere la mayor inversión. Esto se debe a dos factores desarrollo y escala. Como se puede observar el rubro más elevado es de mano de obra. Esto se debe a la cantidad de horas necesarias para la investigación y fabricación del mismo.

El otro factor de importancia es la escala. Para este proyecto todo se adquirió de manera unitaria. A continuación se muestra la variación de precios por compras al por mayor.

Otro elemento a tomar en cuenta es el IVA. En caso de que es dispositivo fuera fabricado por una empresa, la misma podrá entonces descontar el IVA de los ítems adquiridos en plaza así como de los servicios.

Estos dos factores combinados pueden bajar sustancialmente el precio del servicio de telefonía celular asociado a cada chip de cada prototipo. Así como la posibilidad de contratar servicios de escala. A continuación se muestra una tabla comparativa de los distintos servicios ofrecidos en plaza.

DESCRIPCION	PAQUETE SMS	VPN MOVIL	SMS EMPRESA
Costo mensual (100 dispositivos)	25.620,00	9.306,00	24.480,00
Tasa de Conexión	0.00	17.824,00	1.020,00
Costo en Chips (100 dispositivos)	4.000,00	0.00	4.000,00
TOTAL	**29.620,00**	**27.130,00**	**29.500,00**

Tabla 33 Servicios sin IVA

ITEM	PROTOTIPO	UNITARIO	POR 10 Un	Por 100 Un	Por 1000 Un
SENSOR UVI		254,00	234,00	197,00	167,00
MODULO GPRS		202,00	180,00	170,00	160,00
MODULO GPS		56,00	51,00	44,00	44,00
ARDUINO		30,00	28,00	26,00	26,00
ELEMENTOS DE LOS CIRCUITOS		17,00	16,00	14,00	10,00
OTROS COMPONENTES		106,00	95,00	90,00	60,00
TOTAL DE MATERIALES	1.597,06				
HORAS HOMBRE		400,00 (10 horas @ 40)	360,00 (9 horas @ 40)	320,00 (8 horas @30)	240,00 (6 horas @25)
INVESTIGACION Y DESARROLLO	62.000,00	62.000,00	6.200,00	620,00	62,00
TOTAL	**63.597,06**	**63.065,00**	**7.164,00**	**1.481,00**	**769,00**

Tabla 34 Comparativo costo prototipo por unidad

En la [Tabla 34] se desglosan los importes calculados en base a la fabricación del GEULMóvil en cantidades crecientes. Lógicamente, los costos de investigación y desarrollo se reparten en la producción. En esta tabla, se consideró relevante el costo de producir una unidad, diez, cien y mil. Dado que se obtienen descuentos distintos de los distintos proveedores, se desglosan levemente los materiales. En lo que se refiere a las horas hombre, se hicieron las siguientes consideraciones:

Que las horas necesarias para realizar un ejemplar bajan con la cantidad, debido tanto al expertise que se adquiere, como a mejoras al utilizar componentes preensamblados, o con cierto nivel de proceso, hecho que se puede hacer a partir de ciertos números.

Que el costo por hora también disminuye, debido a que no es tan necesario tener mano de obra de “ingenieros” para todas los procesos de armado, sino que se puede mezclar con mano de obra no tan especializada.

13 CONCLUSIONES Y TRABAJO A FUTURO

13.1 TRABAJO A FUTURO

Es uno de los objetivos de esta documentación no solo mostrar y explicar el funcionamiento de lo que fue hecho, sino criticarlo constructivamente, mostrando aspectos a mejorar y también recursos que pueden servir como guía a quienes continúen con el desarrollo
Luego de finalizado el prototipo, el equipo de trabajo cree firmemente que se puede proseguir en el estudio del sistema para su implementación en forma masiva y para obtener un sistema capaz de cumplir con estándares comerciales.
Hay estudio por realizar, las secciones siguientes, dan una idea de los posibles caminos a explorar.

13.1.1 DETALLES FÍSICOS.

Para el desarrollo del proyecto, era importante contar con módulos independientes que pudieran ser repuestos si había problemas. Es evidente que desde el punto mecánico, es más complejo asegurar 4 placas que una sola. El equipo del proyecto piensa que al menos las dos placas desarrolladas podrían unirse en una sola, y que se puede optimizar un poco más el espacio utilizado. Eventualmente, el Arduino también podría ser integrado a una placa, si la misma se manda fabricar.
Desde el punto de vista de las vibraciones, habrá que esperar a ver si el armado sobre la placa de aluminio es apropiado y le da la solidez necesaria, y cuál es el comportamiento a mediano y largo plazo del Arduino y de la placa de comunicaciones.
También se debe esperar para ver si la elección de ese tipo de caja es la más apropiada para el proyecto. Quizás un contenedor metálico fuera más robusto, y en este caso, no sería necesario contar con una placa de aluminio adicional.
Con respecto al armado, también hay que esperar a ver si los conectores son suficientemente robustos para resistir muchas horas de vibraciones. Durante el transcurso de las pruebas realizadas en el móvil, nunca se produjo una desconexión de los componentes dentro de la caja del GEULMóvil, pero apenas se iniciaron esas pruebas.
Es evidente que hay mucha cosa que se aprenderá de la experiencia, de las “horas de vuelo” del producto.

13.1.2 SOBRE EL SENSOR EN PARTICULAR

Por motivos que escaparon a nuestro control, sólo se dispuso del sensor durante 15 días. De éstos, no todos pudieron utilizarse para realizar controles y medidas, porque el buen tiempo no siempre acompañó al proyecto. Incluso, a pesar de nuestros esfuerzos, en esos días hubo paro de docentes que iban a colaborar con la calibración del sensor, por lo que la hicimos con los medios que tuvimos a nuestro alcance.
Durante las pruebas del sensor, se detectó un comportamiento anómalo: un poco de ruido en la medida que no pudo ser identificado. Cada tanto una medida se aleja del promedio en el orden del 30%, y se entiende en principio que este fenómeno puede no ser normal. Si bien se adjudica al cable ruidoso, puede deberse a algún problema con el sensor, con la estabilidad de la fuente, con el conversor A/D integrado al Arduino o con la fuente de referencia que usa el Arduino. Todos estos puntos son elementos a revisar. Y hay que realizar un estudio con un conversor independiente para validar la observación realizada. Se plantean en consecuencia a dicha observación varias soluciones, y se estudia la performance de algunas de ellas.

13.1.3 Sobre caracterización y calibración del sensor

En el tiempo en que se dispuso del sensor, se realizo un relevamiento de la curva a partir de la medida de un único punto de UVI con un instrumento de precisión, y se caracterizo la incertidumbre asociada a dicho proceso. Es conveniente relevar la curva con datos correspondientes a varios días, de forma de tener medidas con valores diferentes de profundidad óptica de la atmosfera, que es una variable que tiene influencia indirecta en la medida.
El proveedor ofrece un servicio de calibración a un costo adicional. El equipo piensa que dado que el Arduino tiene varios canales de conversión, es posible utilizarlo en un Arduino dedicado, apropiadamente compensado, para calibrar todos los sensores de los móviles.
Sería conveniente también, en caso de poseer muchos móviles, tener un sensor fijo, ubicado por ejemplo en la azotea del Hospital de Clínicas que pueda ser usado para realizar pequeñas correcciones in-situ a las constantes del resto de los móviles, o descartar datos inválidos y anualmente calibrarlos uno por uno llevándolos al lugar.
Existen técnicas bien estudiadas para este tipo de "auto calibración" y se caracterizan por ser robustas, escalables, rápidas y no exigentes desde el punto de vista computacional. [**98**]
Por último, como se estudio en la sección de incertidumbre, conociendo ciertas variables atmosféricas, es posible corregir en tiempo real la medida UVI que manda cada móvil en base al conocimiento de variables atmosféricas. Los ángulos solares, por ejemplo, son calculables fácilmente a partir de la hora, pero otras variables atmosféricas deben ser estimadas a partir de medidas satelitales. Una gran cantidad de satélites hacen públicas sus medidas, y habría que estudiar cómo integrar este conocimiento como parte de algoritmo de corrección en el servidor central. La capacidad de procesamiento central tiene l potencial de disminuir la incertidumbre a la mitad, y un instrumento con una incertidumbre reducida a la mitad, puede dar resultados igual de precisos a cuatro instrumentos independientes.

13.1.4 Sobre el desempeño del sensor de mano y la posibilidad de usar sensores de bajo precio.

Durante casi un año se dispuso de sensores de mano, de muy bajo precio para realizar pruebas rápidas y familiarizarse con el índice ultravioleta. En ningún momento estos sensores funcionaron de manera disparatada, y siempre arrojaron valores coherentes con los dados por los servicios meteorológicos.
El equipo realzo varias pruebas que cercioran su correcto funcionamiento: cabe destacar la alta correlación entre dos sensores independientes y la baja diferencia entre las medidas del sensor del GMARS y el sensor de mano. El precio de dichos sensores es de 20 dólares, más de 10 veces del costo del sensor usado. Dado que el sensor es la parte más cara de cada móvil, se recomienda realizar un estudio y caracterización de este tipo de sensores, para estudiar la posibilidad de abaratar precios
Una de las razones por las que se hizo un estudio tan exhaustivo de la incertidumbre asociada al sensor de GEULMóvil es el de abrirle camino a alguien que explore el uso de sensores menos preciso, y el posible impacto en las medidas de cada uno de los factores tenidos en cuenta.

Existen trabajos publicados [**99**][**100**][**101**] que presentan tecnologías que pueden ser exploradas, entre ellas, algunas basadas en el fotodiodo que incluye al sensor manual de UVI. Un posible Proyecto de fin de Carrera seria la fabricación y caracterización completa (respuesta a la temperatura, a la luz visible, respuesta angular, estabilidad, etc.) de un medidor UV fabricado con alguna de las tecnologías existentes en las referencias.

13.1.5 Sobre algunos aspectos matemáticos del proyecto GEULMóvil/GEULMapa

Muchos aspectos matemáticos referentes a la elección de algoritmos óptimos para que GEULMóvil informe el UVI no son triviales, como se reflejo en la sección correspondiente. Un estudio a futuro de la estadística de los datos recolectados, influenciados aleatoriamente por nubosidad y otros obstáculos, podría dar como fruto algoritmos de envío con performance superior a los propuestos. Otro punto que merece un estudio matemático

independiente es el de la logística de los sensores móviles. En este caso, las variables a analizar serian el número óptimo de sensores fijos y móviles, así como las rutas más convenientes para los sensores móviles y la ubicación más conveniente de los sensores fijos.
También existe la posibilidad de que el servidor central utilice, además variables atmosféricas y espaciales de cada móvil para acotar la incertidumbre de la medida que envía, así como identificar móviles con comportamiento conflictivo.

13.1.6 Sobre la interacción completa con GEULMapa

Dado que los proyectos GEULMapa y GEULMóvil fueron creados en torno a dos proyectos de fin de carrera diferentes, se minimizo la interacción entre ambos, por motivos obvios de diseño modular.
La interfaz de comunicación y puesta a prueba fue realizada en conjunto, pero ambos subsistemas podrían integrarse aun más para tener un rendimiento óptimo.

13.2 Conclusiones

En el transcurso del desarrollo de este proyecto, se enfrentaron una variedad de situaciones. Ninguno de los integrantes del grupo tenía experiencia específica en las áreas requeridas. En todos los casos, luego de un estudio inicial, contactamos proveedores o grupos/personas con experiencia en el área.

El grupo de proyecto entiende que el resultado pedido, un prototipo, fue exitoso. Se pudo entregar un producto que cumple los objetivos solicitados, en el plazo convenido.

A pesar de las dificultades encontradas, el proyecto en sí mismo es posible. La tecnología que maneja es evolucionada: hay componentes avanzados para utilizar, que tienen en cuenta por ejemplo modos o configuraciones de bajo consumo, aunque no fueron relevantes para este proyecto.

En el desarrollo se tuvo que experimentar un poco: eso siempre es necesario cuando se trabaja en un proyecto pionero. El proyecto, en sí mismo, tiene facetas que escaparían normalmente al trabajo de un ingeniero en electrónica. La parte mecánica, por ejemplo, es un área que requiere una experiencia superior a la que se puede exigir obtener en el desarrollo de un prototipo. En el área de diseño de la caja, se acudió al apoyo de una profesional en el tema.

También se detectaron puntos débiles a ser tenidos en cuenta por futuras revisiones, y fueron apropiadamente documentados. Aún más: dentro de lo posible, la participación no se limitó a detectar el problema, que dadas las consideraciones del proyecto, no es poca cosa; sino que el equipo de proyecto se esforzó en analizar el problema, presentar caminos alternativos para resolver el punto, y hasta comenzar a realizar pruebas para verificar si el problema fue solucionado.

El resultado es un prototipo que entrega la medida solicitada, es fácilmente instalable y no se requiere conocimientos especiales para montarlo y desmontarlo, así como tampoco requiere realizar agujeros o montar estructuras especiales en los móviles. Y permite emprender el camino necesario para poder mejorarlo y lograr, mediante la experiencia, un mejor producto.

14 BIBLIOGRAFÍA

[1] (2009, Diciembre) Organizacion Mundial de la Salud. [Online]. http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs305/es/

[2] [Online]. http://es.wikipedia.org/wiki/Radiacion_ultravioleta

[3] (2009, Diciembre) Organización Mundial de la Salud. [Online]. http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs305/es/index.html

[4] subtipos de rayos ultravioleta. [Online]. http://es.wikipedia.org/wiki/Radiaci%C3%B3n_ultravioleta

[5] International Commission on Illumination. [Online]. http://www.cie.co.at

[6] International Commission on Illumination. [Online]. HTTP://WWW.CIE.CO.AT/INDEX.PHP/INDEX.PHP?I_CA_ID=837

[7] A. F. and B. L. Diffey McKinlay. Wikipedia. [Online]. http://en.wikipedia.org/wiki/Ultraviolet_index, McKinlay, A. F. and B. L. Diffey (1987) CIE J. 6, 17–22

[8] Meteorología y climatología. [Online]. http://meteo.navarra.es/definiciones/radiacion_ultravioleta.cfm

[9] McKinlay and Diffey. (1987) CIESIN. [Online]. http://www.ciesin.org/

[10] Organización Mundial de la Salud. (2003) World Health Organization. [Online]. http://www.who.int/uv/publications/en/uvispa.pdf

[11] (2008, Sep.) Official U.S. Government information about the. [Online]. http://www.gps.gov/systems/gps/performance/accuracy/

[12] The National Center for Biotechnology Information. [Online]. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1343229

[13] (2008, Oct.) Health Protection Agency. [Online]. http://www.hpa.org.uk/webw/HPAweb&HPAwebStandard/HPAweb_C/1223534061375?p=1204186170287

[14] Michael Hadjiargyrou, Marcia Simon, Miriam H. Rafailovich Tatsiana Mironava1. (2012, July) Wiley Online Library. [Online]. http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1751-1097.2012.01192.x/abstract;jsessionid=B264B4E9081884E53C3AFF9F4A11B8B2.d03t02

[15] Department of Industry, Innovation, Climate Change, Science, Research and Tertiary Education. [Online]. http://www.climatechange.gov.au/what-you-need-to-know/lighting/resources/fs1.aspx

[16] Sistema Posicionador Global GPS (Funcionamiento Básico). [Online]. http://www.cstg.com.ar/arg/gps_func.html

[17] Chris Rizos. (1999) Surveying and Geospatial Engineering. [Online]. http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/gps/gps_survey/chap3/311.htm

[18] Pedro Gutovnik. Pedro Gutovnik. [Online]. http://gutovnik.com/como_func_sist_gps.htm

[19] Venus638FLPx GPS Receiver Data Sheet. [Online]. http://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Sensors/GPS/Venus/638/doc/Venus638FLPx_DS_v07.pdf

[20] Possible Configurations of GPRS. [Online]. https://en.wikipedia.org/wiki/General_Packet_Radio_Service

[21] "A method to generate surface UV radiation maps over Europe using GOME, Meteosat, and ancillary geophysical data,".

[22] "Ozone Depletion 2010 - ONU,".

[23] Atmospheric Chemistry and Physics. [Online]. http://www.atmos-chem-phys.net/8/5615/2008/acp-8-5615-2008.html]

[24] "Sunshine on a Cloudy Day," http://www.americanscientist.org/issues/pub/sunshine-on-a-cloudy-day,.

[25] Roger Ceragioli. (2006, Dec.) Primer of Image Aberrations and their Graphical Representation. [Online]. http://rohr.aiax.de/chapter%202%20Refractor%20Design.htm

[26] APHAKIA. [Online]. http://www.spedex.com/resource/documents/veb/aphakia.htm

[27] 'R GOEL, S E SMITH MARY V GIBBENS. (1989) British Journal of Ophthalmology. [Online]. http://bjo.bmj.com/content/73/7/563.full.pdf

[28] W. S. Stark. (1981) Ultraviolet light: Photosensitivity and other effects of the visual system. [Online]. http://starklab.slu.edu/humanUV.htm

[29] UVSunSense. [Online]. http://www.queelsolnotequeme.com/uvsunsense_product_info.html

[30] UV Beads. [Online]. http://www.mindsetsonline.co.uk/product_info.php?products_id=3505

[31] Arbor Scientific. [Online]. http://www.arborsci.com/uv-beads-250-pack

[32] Gibson HL, "Medical photography; Clinical-Ultraviolet-Infrared," Rochester, 1973.

[33] 1.4" LCD UV Intensity Meter with Time Display. [Online]. http://dx.com/p/1-4-lcd-uv-intensity-meter-with-time-display-1-x-cr2025-58490

[34] UV Index Meter - Handheld. [Online]. http://www.hobby-boards.com/store/products/UV-Index-Meter-%252d-Handheld.html

[35] (2007, Oct.) Development of Silicon- on- Insulator. [Online]. http://www.oki.com/en/otr/2007/n211/pdf/otr-211-R10.pdf

[36] Oregon Scientific. [Online]. http://uk.oregonscientific.com/cat-Wellness-sub-i.Protect-UV-Monitor-prod-Handheld-UV-Monitor-.html#.UbaJdOdWySq

[37] "Scientific Assesement of ozone Depletion, Chapter 7," 2006.

[38] "Scientific Assesement of ozone Depletion 2010, Chapter 2," 2010.

[39] ELECTRO OPTICAL COMPONENTS. [Online]. http://www.eoc-inc.com/UV_detectors_silicon_carbide_photodiodes.htm

[40] Manfred Broy., "Requirements Engineering for Embedded Systems1. ," Technische Universität München, Institut für Informatik , München,.

[41] UV Awareness. http://www.uvawareness.com.

[42] SMS Empresa. [Online]. http://www.antel.com.uy/antel/empresas/movil/servicios/con-costo/sms-empresas

[43] (2012) VPN Móvil. [Online]. http://gse.antel.net.uy/info/vpnMovil.pdf

[44] Internet Engineering Task Force. (2010, Jan.) RFC 5724. [Online]. http://www.ietf.org/rfc/rfc5724.txt

[45] Winfield Hill Paul Horowitz, *The Art of Electronics*., 1989.

[46] (2010, Sep.) NE555 Datasheet. [Online]. http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ne555.pdf

[47] (1996, May) Philips Semiconductor devices 1N4001G to 1N4007G Product Specification. [Online]. http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/15026/PHILIPS/1N4001.html

[48] CadSoft EAGLE PCB Design Software. [Online]. http://www.cadsoftusa.com/eagle-pcb-design-software/?language=en&lang=en

[49] Arduino. [Online]. http://arduino.cc/

[50] ATMEGA1280 - 8- BIT Microcontroller with 256K Bytes In-System Programmable Flash - ATMEL Corporation. [Online]. http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/107090/ATMEL/ATMEGA1280.html

[51] (2013, Apr.) GL865 Hardware User Guide. [Online].

http://www.telit.com/module/infopool/download.php?id=2775
[52] "Manual Ref.Des.GL+JN_R1_31072012," 2012.
[53] EVK2. [Online]. http://www.telit.com/module/infopool/download.php?id=160
[54] GlobalSat WorldCom Corp. [Online]. http://www.usglobalsat.com/store/download/541/er411_ug.pdf
[55] SkyTraq. [Online]. http://www.skytraq.com.tw/
[56] SGlux. [Online]. http://sglux.de/
[57] TOCON selection guide. [Online]. http://www.scitec.uk.com/uvphotodiodes/datasheets/TOCON_selection.pdf
[58] (2001, Feb.) INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. [Online]. http://webstore.iec.ch/preview/info_iec60529%7Bed2.1%7Db.pdf
[59] GPS Receiver. [Online]. http://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Sensors/GPS/Venus638FLPx.pdf
[60] (2010, Aug.) Power Consumption Arduino. [Online]. http://forum.arduino.cc/index.php/topic,5536.0.html
[61] Alan Mitchell. Operating an Arduino for a Year from Batteries. [Online]. http://alanbmitchell.wordpress.com/2011/10/02/operate-arduino-for-year-from-batteries/
[62] Venus GPS with SMA Connector. [Online]. https://www.sparkfun.com/products/11058
[63] Venus 638FLPx. [Online]. http://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Sensors/GPS/Venus/638/doc/Venus638FLPx_DS_v07.pdf
[64] Max232. [Online]. http://www.ti.com/lit/ds/symlink/max232.pdf
[65] Sistema de tiempo real. [Online]. http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_tiempo_real
[66] Phillip Laplante, "Real-Time Systems Design andAnalysis," 1992.
[67] Mega AVR ATmega1280-16Au USB Board for Arduino. [Online]. http://dx.com/p/arduino-mega-avr-atmega1280-16au-usb-board-5v-82383
[68] ATmega1280. [Online]. http://www.atmel.com/devices/ATMEGA1280.aspx?tab=parameters
[69] Arduino Development Environment. [Online]. http://arduino.cc/en/Guide/Environment
[70] Ejemplos Arduino. [Online]. http://arduino.cc/en/Tutorial/HomePage
[71] Arduino Blink. [Online]. http://arduino.cc/en/Tutorial/Blink
[72] Wiring. [Online]. http://wiring.org.co/
[73] Processing. [Online]. http://www.processing.org/
[74] Universal Serial Bus. [Online]. http://www.usb.org/home
[75] Especificaciones Samsung Galaxy S3. [Online]. http://www.gsmarena.com/samsung_i9300_galaxy_s_iii-4238.php
[76] Sitio Oficial Android. [Online]. http://www.android.com/
[77] Play Store. [Online]. https://play.google.com/store?hl=en
[78] Samsung Apps. [Online]. http://apps.samsung.com/
[79] u-center GPS evaluation App. [Online]. https://play.google.com/store/apps/details?id=com.ublox.ucenter
[80] Serial Monitor - Arduino. [Online]. http://arduino.cc/en/Guide/Environment#serialmonitor
[81] Transistor-Transistor Logic (TTL). [Online]. http://www.siliconfareast.com/ttl.htm
[82] Positive Logic (active-high) and Negative logic (active-low). [Online].

http://webdocs.cs.ualberta.ca/~amaral/courses/329/webslides/Topic2-DeMorganLaws/sld017.htm

[83] Digital Switching Levels. [Online]. http://m.eet.com/media/1103154/Fig1.gif

[84] AT Commands Referece Guide. [Online]. http://www.telit.com/module/infopool/download.php?id=542

[85] Module Software User Guide. [Online]. http://www.telit.com/module/infopool/download.php?id=542

[86] HardwareSerial.cpp - Hardware serial library for Wiring. [Online]. https://github.com/arduino/Arduino/blob/master/hardware/arduino/cores/arduino/HardwareSerial.cpp

[87] Información Serial Arduino. [Online]. http://bleaklow.com/2012/02/29/why_im_ditching_the_arduino_software_platform.html

[88] HardwareSerial: More flexible buffer implementation. [Online]. http://comments.gmane.org/gmane.comp.hardware.arduino.devel/1710

[89] on demand and configurable Arduino HardwareSerial. [Online]. http://joost.damad.be/2012/10/on-demand-and-configurable-arduino.html

[90] Federico de Pro, Marcos Dutto, Fernando Suzacq Diego Cogorno, "Genereación en Tiempo Real de Mapas de Radiación UV," Montevideo, 2013.

[91] Grupo de Modelado y Análisis del Recurso Solar. [Online]. http://ursolar.org/

[92] Dr.-Ing. Tilman Weiss,.

[93] UV INDEX. [Online]. http://www.kippzonen.com/?page/91112/UV+Index.aspx)

[94] UV Awareness. [Online]. http://www.uvawareness.com/uv-index/uv-index.php?location=Montevideo

[95] Daily erythemal UV index. [Online]. http://www.temis.nl/uvradiation/SCIA/uvief.php?Year=2013&Month=06&Day=27

[96] S. Godin-Beekmann. Stratospheric Ozone and Surface Ultraviolet Radiation. [Online]. http://ozone.unep.org/Assessment_Panels/SAP/Scientific_Assessment_2010/04-Chapter_2.pdf

[97] Sun or Moon Altitude/Azimuth Table. [Online]. http://aa.usno.navy.mil/data/docs/AltAz.php#forma

[98] Nicholas D. Lane1, Andrew T. Campbell1, and Reza Olfati-Saber2 Emiliano Miluzzo1, "CaliBree: a Self-Calibration System for Mobile Sensor Networks,".

[99] Shukla, Mallik, Kumar, Previti, Di Marco, Sciuto, Anna Puglisi, Raineri. Mazzillo, "4H-SiC Schottky Photodiode Based Demonstrator Board for UV-Index Monitoring,".

[100] A WIRELESS EMBEDDED DEVICE FOR PERSONALIZED ULTRAVIOLET MONITORING. [Online]. http://nrlweb.cs.ucla.edu/publication/download/481/Biodevices_Paper.pdf

[101] Semiconductor ultraviolet detectors. [Online]. http://jap.aip.org/resource/1/japiau/v79/i10/p7433_s1?isAuthorized=no

[102] Arduino Mega. [Online]. http://arduino.cc/es/Main/ArduinoBoardMega

[103] 8-bit Atmel Microcontroller. [Online]. http://www.atmel.com/images/doc2549.pdf

[104] Silicon Carbide UV Photodiodes from sglux. [Online]. http://www.sglux.com/SiC_UV_Photodiode.82.0.html?&L=1]

[105] Pre-amplified SiC UV-Index Photodetector. [Online]. http://www.boselec.com/products/documents/TOCON_ERYCA_BEC_2011.pdf

[106] Stelios Kazadzis, Dimitrios Balis, Christos S. Zerefos, and Mario Blumthaler Alkiviadis F. Bais, "Correcting global solar ultraviolet spectra recorded by a Brewer spectroradiometer for itsangular response error ,".

[107] *, M.G. Kimlin1, J.C.F. Wong2, M. Wilson1 A.V. Parisi1. DIFFUSE COMPONENT OF THE SOLAR ULTRAVIOLET RADIATION IN TREE SHADE. [Online]. http://www.photobiology.com/photobiology99/contrib/alfio/

[108] TOTAL COLUMN OZONE AND SOLAR UV-B ERYTHEMAL IRRADIANCE. [Online]. http://www.gnest.org/journal/Vol8_No3/204-209_ACULININ_382_8-3.pdf

[109] Radiation on tilted surface. [Online]. http://www.greenrhinoenergy.com/solar/radiation/tiltedsurface.php

[110] Power from the Sun. [Online]. http://www.powerfromthesun.net/Book/

[111] Ultraviolet radiation and the INTERSUN Programme. [Online]. http://www.who.int/uv/intersunprogramme/activities/uv_index/en/index3.html

[112] Drainage gradient. [Online]. http://en.wikipedia.org/wiki/Drainage_gradient

[113] GUIDANCE NOTES ON ROAD PAVEMENT DRAINAGE DESIGN. [Online]. //www.hyd.gov.hk/en/publications_and_publicity/publications/technical_document/guidance_notes/pdf/gn035.pdf

[114] Ruta Nacional 7 (Argentina). [Online]. http://es.wikipedia.org/wiki/Ruta_Nacional_7_(Argentina)

[115] ROAD PAVEMENT DRAINAGE DESIGN. [Online]. http://www.hyd.gov.hk/en/publications_and_publicity/publications/technical_document/guidance_notes/pdf/gn035.pdf

[116] Ruling gradient. [Online]. http://en.wikipedia.org/wiki/Ruling_grade

[117] Interstate Highway standards. [Online]. https://en.wikipedia.org/wiki/Interstate_Highway_standards

[118] Guide to the expression of uncertainty in measurement. [Online]. http://www.bipm.org/utils/common/documents/jcgm/JCGM_100_2008_E.pdf

[119] (2010, Oct.) Telit. [Online]. http://www.grupoitech.com.br/baixar.php?baixar=ok&id_baixa=374&id=438&pag=wireless

[120] Hoja de datos del LM317, Texas Instruments. [Online]. http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm317.pdf

[121] Hoja de datos del LM317, National Semiconductors. [Online]. http://www.ee.buffalo.edu/courses/elab/LM117.pdf

[122] Relay Driver. [Online]. http://www.saburchill.com/tech/adobe/005.pdf

[123] Hoja de datos transistor BC109C. [Online]. http://pdf.datasheetcatalog.net/datasheet/philips/BC109C.pdf

[124] Hoja de especificación (catalogo) de relés miniatura de potencia tipo A. [Online]. http://www.metaltex.com.br/downloads/A.pdf

[125] (2010, June) Hoja de datos del NE555. [Online]. http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ne555.pdf

[126] aavid-standard-heatsinks. [Online]. http://www.aavid.com/sites/default/files/products/boardlevel/aavid-standard-heatsinks.pdf

[127] Trigonometric interpolation. [Online]. http://en.wikipedia.org/wiki/Trigonometric_interpolation

[128] Outlier. [Online]. http://en.wikipedia.org/wiki/Outlier

[129] Median filter. [Online]. http://en.wikipedia.org/wiki/Median_filter

[130] Linear general selection algorithm - Median of Medians algorithm. [Online]. http://en.wikipedia.org/wiki/Selection_algorithm#Linear_general_selection_algorithm_-_Median_of_Medians_algorithm

[131] Online algorithm. [Online]. http://en.wikipedia.org/wiki/Online_algorithm

[132] Maximum of Gaussian Random Variables. [Online].

http://mathoverflow.net/questions/63490/maximum-of-gaussian-random-variables
[133] Useful Bounds on the Expected Maximum of Correlated Normal Variables. [Online]. http://people.emich.edu/aross15/q/papers/bounds_Emax.pdf
[134] Coles S., "An Introduction to Statistical Modeling of Extreme Values," Springer, London., 2001.
[135] Where on Earth has the highest UV? [Online]. https://www.niwa.co.nz/sites/default/files/import/attachments/Liley_2.pdf
[136] sun_position.m. [Online]. http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/4605-sunposition-m
[137] MIDC SPA Calculator. [Online]. http://www.nrel.gov/midc/solpos/spa.html
[138] KippZonen Brochure UV Radiometers. [Online]. http://www.telepower.com.tw/userfile/44352/KippZonen_Brochure_UV_Radiometers_V1004_1.pdf
[140] [Online]. http://es.wikipedia.org/wiki/Ojo_humano#Catarata
[141] (1996, May) Philips Semiconductor devices 1N4001G to 1N4007G Product Specification. [Online]. http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/15026/PHILIPS/1N4001.html
[142] Wikipedia. [Online]. http://en.wikipedia.org/wiki/Ultraviolet#Applications_of_UV
[144] Sglux. [Online]. http://sglux.de/
[145] TOCON selection guide. [Online]. http://www.scitec.uk.com/uvphotodiodes/datasheets/TOCON_selection.pdf
[146] Scitec Instruments. [Online]. http://www.scitec.uk.com/
[147] Boston Electronics. [Online]. http://boselec.com/
[148] Diseño GuelMovil.
[149] Venus638FLPx. [Online]. http://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Sensors/GPS/Venus638FLPx.pdf
[150] Venus638FLPx. [Online]. http://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Sensors/GPS/Venus638FLPx.pdf
[151] Solar zenith angle. [Online]. http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_zenith_angle

15 REFERENCIAS

15.1 INDICE DE TABLAS

Tabla 1Tipos de rayos ultravioleta[4] 17
Tabla 2Categorías de exposición a la radiación UV 18
Tabla 3 Comparativo Tecnologías Móviles[20] 25
Tabla 4 Comparativo de Opciones Unidad Central 34
Tabla 5 Índice UV por Hora 37
Tabla 6 Gráficamente responde a una curva de Gauss 37
Tabla 7 Evolución UV – Intervalo 5 min 38
Tabla 8 Evolución del UVI de un día primaveral ligeramente nuboso 38
Tabla 9 Algoritmo de Obtención UV 39
Tabla 10 Formato Mensaje GPRMC 47
Tabla 11 Comparativo de Opciones GPRS 55
Tabla 12 Características Técnicas Arduino[50] 60
Tabla 13 Módulos GPS con y sin antena exterior 71
Tabla 14 Costos ANTENAS 72
Tabla 15 - Características de Sensores 77
Tabla 16 Características Tocon E2 78
Tabla 17 Formato Código IP 79
Tabla 18 Estimación de Consumo 83
Tabla 19 Consumo corriente GPS 83
Tabla 20 Parámetros TOCON 84
Tabla 21 Parámetros TTL-RS232 84
Tabla 22 - Tabla de Consumo de Componentes Principales 85
Tabla 23 Medidas de los tres sensores. 115
Tabla 24 Desviación máxima entre la mediana de ventana 5 minutos y los datos enviados por GEULMóvil 124
Tabla 25 Fuentes de incertidumbre expandida 129
Tabla 26 Costos de Materiales. Tipo de cambio: 19.35$/U$ 134
Tabla 27 - Costos de Servicios 135
Tabla 28 Costos SMS 135
Tabla 29 - Costos VPN Móvil 136
Tabla 30 Comparativo Comunicación de Datos 137
Tabla 31 Horas Hombre - Costo 137
Tabla 32 - Costo Final 139
Tabla 33 Servicios sin IVA 140
Tabla 34 Comparativo costo prototipo por unidad 140
Tabla 35 Probabilidades de error obtenidas en la simulación para *móviles con* $\mathrm{uEX} = 10\%$ *y* $\mathrm{uRes} = 0.1$ra 180
Tabla 36 Cantidad de errores *diarios obtenidos en la simulación para móviles con* $\mathrm{uEX} = 10\%$ *y* $\mathrm{uRes} = 0.1$ 181
Tabla 37*Probabilidades de error obtenidas en la simulación para móviles con* $\mathrm{uEX} = 5\%$ *y* $\mathrm{uRes} = 0.1$ 181
Tabla 38 *Probabilidades de error obtenidas en la simulación para móviles con* $\mathrm{uEX} = 5\%$ *y* $\mathrm{uRes} = 0.1$ 182
Tabla 39 *Cantidad óptima aproximada de móviles para satisfacer diversos criterios de calidad según la exactitud de cada móvil* 182
Tabla 40 - Comandos AT Utilizados 223

15.2 INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Gráfica logarítmica del coeficiente de acción eritemática [9] 18
Figura 2 Geolocalización 1 21
Figura 3 Geolocalización 2 21
Figura 4 Geolocalización 3[16] 21
Figura 5 Sensor UV Digital 29
Figura 6 Sensor UV Placa 29
Figura 7 Sensibilidad de Espectro 29
Figura 8 Sensor UV OregonScientific 29
Figura 9 Esquemático de Diseño 31
Figura 10 Evolución UVI 35
Figura 11 Evolución UVI Uruguay por Hora 36
Figura 12 Captura pantalla portal GEULMapa en la que se ven móviles (simulados) enviando datos en tiempo real 35
Figura 13 Diagrama de flujo de señales de UVI del comportamiento ideal del sistema GEULMóvil/GEULMapa para cada móvil 36
Figura 14 Diagrama de flujo de señales UVI del sistema GEULMóvil/GEULMapa con canal de comunicacion digital 36
Figura 15 Diagrama de flujo de señales de UVI del sistema GEULMóvil/GEULMapa con canal de comunicación digital y algoritmo de búsqueda del máximo 37
Figura 16 Diagrama de flujo de señales de UVI del sistema GEULMóvil en el que se muestra el algoritmo original de búsqueda del máximo y se hace explicita la presencia de ruido y obstáculos 37
Figura 17 Diagrama de flujo de señales UVI del sistema GEULMóvil/GEULMapa, versión final 38
Figura 18 Detalle del sistema de procesamiento local propuesto 38
Figura 19 Diagrama en detalle del flujo de señales entre un móvil y el servidor en el sistema propuesto a futuro para GEULMóvil/GEULMapa. Se incluye explicitamente también la señal GPS[n] enviada junto a la medida UV[n] 39
Figura 20 En ciudad pueden ser edificios, túneles, que se interpongan. 45
Figura 21 En ruta pueden ser medidas esporádicas, afectadas por obstáculos: árboles, puentes, cerros, etc. 45
Figura 22 Nubosidad puede afectar la medida, esporadicamente o tiempo largo. En el primero se espera minimizar el efecto de la nobosidad en la medida, mandando el valor máximo. 45
Figura 23 En el caso de uso principal, movil en ruta, se esperan resultados en los que la interposición aleatoria de objetos sea minima 41
Figura 24 Diagrama básico VPN móvil 50
Figura 25 Esquema de Primer Nivel de los mensajes SMS 54
Figura 26 – Circuito de Protección y Delay en el encendido del Dispositivo 51
Figura 27 - Placa Circuito Protección (diseñada en Eagle) [48] 57
Figura 28 Aduino Mega 53
Figura 29 Regulador Lineal 62
Figura 30 Regulador de Switcheo 63
Figura 31 GL865 57
Figura 32 Pines GL865 59
Figura 33 Reference Design 66
Figura 34 PINes Modulo GPS ER-411 70
Figura 35 Diagrama bloques VENUS [HYPERLINK "" \l "Ven5" 120] 69
Figura 36 Diagrama bloques VENUS [150] 70
Figura 37 PINES VENUS 70
Figura 38 - MAX 232 - Conversor de nivel TTL/RS232 80
Figura 39 - Diagrama Conceptual del Sistema 82

Figura 40 - Corriente consumida por la Placa 82
Figura 41 - Flujo de Corriente del prototipo - Corrientes efectivas 85
Figura 42 IDE del Arduino 94
Figura 43 Tabla de niveles TTL y LVTTL [83] 98
Figura 44 Captura de la pantalla del monitor serial del IDE 99
Figura 45 Arduino con el software cargado y con el modulo GPS conectado 100
Figura 46 Captura de pantalla del software SirfDEMO. 101
Figura 47 Captura de la pantalla que muestra la ubicación dada por el módulo GPS. 102
Figura 48 Captura de la pantalla del celular 103
Figura 49 Test de Saturación del Sensor 107
Figura 50 Test de saturaciòn 2 107
Figura 51 Circuiteria Interna del Sistema 108
Figura 52 GMARS - GEULMÓVIL 108
Figura 53 Detalle K(cte) de ToconE1 109
Figura 54 Esquema del Circuito usado en el experimento para comparar sensor TOCON con el Sensor Portátil 111
Figura 55 Sensor Portátil 111
Figura 56 Sensor Manual UVI vs TOCON Voltaje 112
Figura 57 Proceso de medición de UVI. 109
Figura 58 Detalle de los sensores de GEULMóvil y del GMARS. La hora de la foto no se corresponde con la de la medida. 111
Figura 59 Mapa del pronóstico de UVI, Montevideo, entre las 15:00 y las 16:00 hs. 116
Figura 60 Pronóstico UVI para los días 27/6/2013 - 30/6/2013 116
Figura 61 El valor máximo esperado es menor o igual a 2.9 116
Figura 621 Pronostico de TEMIS, para la hora de la prueba. 117
Figura 632: Resumen de las medidas de UVI tomadas, junto con su incertidumbre asociada (2 sigma) 118
Figura 643: Resumen de las medidas de UVI tomadas, junto con su incertidumbre asociada (2 sigma) 118
Figura 65 Fotos correspondientes al experimento 2 115
Figura 66 UVI vs Tiempo - 27/6 - Hora 15:13 116
Figura 67 UVI vs Tiempo, 27/6, acompañado de la señal filtrada 117
Figura 68 Datos originales y Filtrados con Filtro de Mediana y Promediador en ventanas de 5 minutos ... 118
Figura 69 Medidas procesadas con Filtro de Mediana y con Filtro Promediador 119
Figura 70 Datos UVI filtrados con mediana de ventana 5 minutos, y datos enviados por GEULMóvil para cada uno de los 3 algoritmos simulados (sin pre-filtro, filtro promediador de orden 10 y filtro de mediana de orden 10). 120
Figura 71 Modificación de las medidas del Experimento 1 para simular un caso del sensor bloqueado y los primeros 18 minutos arrojando igual un resultado correcto. Notar como el preprocesado continua disminuyendo el error. 121
Figura 72 Costo por Actividad 138
Figura 73 Distribución de Horas por Actividad 139
Figura 74 Detalle de las especificaciones del sensor TOCON_E2, usado por GEULMóvil para la medición de UVI. Se señala el coeficiente de temperatura 158
Figura 75 Respuesta espectral del fotodiodo 159
Figura 76 Espectros Solares UV 153
Figura 77 160
Figura 78 160
Figura 79 Sensibilidad 164
Figura 80 Respuesta angular real e ideal 164
Figura 81 Factores de corrección de radiación directa y difusa en función del angulo cenital 158

Figura 82 (a,b,c,d): Curvas que muestran variación de cdir/g para diversas longitudes de onda en el rango UV-B eritémico, para diversos ángulos cenitales y condiciones atmosféricas a lo largo del dia, y la variación anual. Se mantuvo la descripción de figuras del trabajo original 159
Figura 83 Error esperado en verano 166
Figura 84 Error esperado en invierno 166
Figura 85 162
Figura 86 Housing del TOCON 163
Figura 87 Detalle del sensor montado 164
Figura 88 Componentes de la radiación que influyen en la medida cuando el sensor está inclinado 165
Figura 89 Sistema de coordenadas para un observador en el punto Q 166
Figura 90 Ángulos y vectores de interés para un sensor inclinado 166
Figura 92 175
Figura 91 Distribución de probabilidad estimada (histograma no normalizado) del error porcentual 169
Figura 93 Condiciones óptimas para la relevación de la curva UV del sensor 171
Figura 94 Categorias de riesgo recomendadas por la OMS para la presentación del UVI 172
Figura 95: Modelo de invierno de UVI. 180
Figura 96 Modelo de verano de UVI 180
Figura 97 Sistema Emisor-Receptor de Luz Simulando Sensor UV 213
Figura 98 Circuito de Prueba Arduino – Sensor UV 227
Figura 99 Grafica UVI vs Tiempo, hora inicio 10:30, día 16/6/2013 - Datos originales e interpolación con Splines Cúbicos 216
Figura 100 Relación Lineal del Sensor 2 en función del Sensor 1 216
Figura 101 - Detalle de Corriente y Voltaje involucrados en el funcionamiento del regulador LM317 231
Figura 102 - Corrientes y Voltajes para Calculo de Parámetros Térmicos 233
Figura 103 - Foto de los disipadores utilizados. Disipador para sistemas de 12V a la izquierda y 24 V a la derecha 235
Figura 104 Circuitos propuestos para controlar la conmutacion del rele (a) 237
Figura 105 Circuitos propuestos para controlar la conmutacion del rele (b) 237
Figura 106 Especificaciones de la bobina del relé usado 238
Figura 107 - Circuito experimental para la estimación del consumo energético del sistema 239
Figura 108 - Diagrama Interno de GEULMÓVIL usado para estimación experimental del consumo energético del sistema. 239
Figura 110 - Configuración del primer experimento - Arduino y LED ON/OFF 240
Figura 109 – Fuente Regulada Tenma 72-7245 228
Figura 111 - Configuración segundo experimento para medida de consumo 241
Figura 112 - Configuración tercer prueba para medida de consumo 231
Figura 113 - Consumo del sistema del tercer experimento 231
Figura 114 - Configuración cuarta prueba para medida de consumo 232
Figura 115 - Consumo del sistema para el cuarto experimento 232
Figura 116 - Sistema completo para última prueba de medida de consumo 233
Figura 117 - Formas de onda correspondientes al consumo de corriente del sistema. Interpolacion por Fourier 234
Figura 118 Ilustración del efecto del filtro de mediana aplicado a imagenes ruidosas. 256
Figura 119 Histogramas no normalizados obtenidos en la simulación de performance del algoritmo del máximo 258
Figura 120 Relación entre la incertidumbre de cada medida y la incertidumbre de la medida enviada. Experimento 1. 258
Figura 121 Histogramas no normalizados obtenidos en la simulación de performance del algoritmo del máximo. 259
Figura 122 253

Figura 123 Base magnética adquirida 265
Figura 124 Retirando la cubierta de aluminio 265
Figura 125 Desarmando la base magnetica 265
Figura 126 Base magnética sin el cable 265
Figura 127 Preparando la base de aluminio 265
Figura 128 El sensor montado 265
Figura 129 Circuito GPS de la placa de Comunicaciones 268
Figura 130 CIricuito GPS sin tapa Metálica 268
Figura 131 Placa sin Condesador 268
Figura 132 Sin condensador 2 268
Figura 133 Montaje de los Componentes 271
Figura 134 Conectores para Alimentación 262
Figura 137 Frente del Dispositivo 273
Figura 138 Fondo del Dispositivo 273
Figura 139 Conector de Alimentación 274
Figura 140 Cable Conectado 274
Figura 141 Conector de Sensor 275
Figura 142 Acercamiento botón PUSH 275
Figura 143 Conector GPS 275
Figura 144 Antena GPS 275
Figura 145 Conector GPS 276
Figura 146 Antena GPS 276

A. ANEXOS

A.1. DETALLE DE LA ESTIMACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE.

Se presentan en las secciones siguientes, las justificaciones, cálculos ecuaciones y modelos utilizados para la estimación de la incertidumbre mostrada las secciones anteriores.

A.1.1. INCERTIDUMBRE DEBIDO A LA MEDIDA DE VOLTAJE.

El instrumento utilizado es el conversor analógico digital del microcontrolador del Arduino Mega [**102**], un ATmega1280, que posee un conversor Analógico-Digital (ADC) interno, a través del cual se digitalizan las medidas de tensión[**103**].
Como todo ADC, la medida que este realiza se ve afectada de varias fuentes de incertidumbre independientes. El efecto conjunto del error de offset, error de ganancia, no linealidad integral, no linealidad diferencial, ruido térmico y error de cuantización, es resumido por el fabricante en el parámetro denominado exactitud absoluta [**103**].

Absolute Accuracy = ±2 LSB = ± 9.76mV □10 mV (V_{CC}= 5V)

Por otro lado, el aporte de la medida del voltaje se ve afectado por el valor de la calibración:

$u_5 = m\, dx_5$

Si se supone distribución rectangular para dx_5hay que ormalizar por un factor de raíz de tres para obtener la incertidumbre asociada

Nro.	Fuente de incertidumbre	Distribución de probabilidad	Cálculo
5	Medida de voltaje	Rectangular	$dx_5 = 10mV$

La resolución es inherente al ADC usado por Arduino y no puede mejorarse para un sensor dado. Para diversos sensores puede variar pues disminuye con la sensibilidad que lo caracteriza.

A.1.2. INCERTIDUMBRE DEBIDO A LOS EFECTOS DE LA TEMPERATURA.

La curva característica de cualquier diodo es una función de la temperatura, efecto que es aprovechado por ejemplo, para fabricar termómetros. Sin embargo, en los fotodiodos, este es un efecto indeseado, que el fabricante intenta minimizar pero que es inherente a la tecnología usada.
El sensor del tipo fotodiodo, usado en GEULMóvil no posee compensación por temperatura, ni tampoco un sistema de regulación a temperatura constante, por lo que este efecto influye en el error de la medida de índice ultravioleta. El parámetro que cuantitativiza este efecto es el denominado coeficiente de temperatura

(*temperature coefficient*) y se encuentra en la hoja de datos del fabricante[**104**], como puede verse en la [*Figura 74*]

Para el sensor UVI usado:
Temperature coefficient: Tc <+0,3 %/K

TOCON_E2 (TOCON_ERYCA)
Pre-amplified SiC UV-Index Photodetector

Fig. 5 Specifications

Parameter	Symbol	Value	Unit
Maximum Ratings			
Operating Temperature Range	T_{opt}	-25 … +85	°C
Storage Temperature Range	T_{stor}	-40 … +100	°C
Soldering Temperature (3s)	T_{sold}	300	°C
General Characteristics (*T*=25°C)			
Supply voltage	V_{supply}	2,5 … 15,0	V
Saturation voltage	V_{sat}	V_{supply}	V
Dark offset voltage	V_{offset}	0,5	mV
Temperature coefficient	Tc	<+0,3	%/K
Current	I	0,8	mA
Bandwidth (-3 dB)	Θ	15	Hz
Risetime (63%) *(other risetimes on demand)*	t_{rise}	10	ms
Spectral Characteristics (*T*=25°C)			
Approx. sensitivity *(unit is not calibrated)*	S_{max}	170	mV/UVI
Visible blindness (S_{max} / $S_{>405nm}$)	VB	$>10^{10}$	-

Figura 74 Detalle de las especificaciones del sensor TOCON_E2, usado por GEULMóvil para la medición de UVI. Se señala el coeficiente de temperatura

Eso significa que a igual radiación UV incidente, se espera que la lectura de UVI variará hasta un 0.3% por cada grado Celsius respecto al valor en el cual el sensor fue calibrado.
Calibrando a una temperatura aproximada de 20 grados (temperatura media aproximada de Uruguay durante el día), se supone que el sensor trabajará con variaciones de temperatura de hasta 20 grados.

Entonces:
Error máximo debido a la temperatura = ± 6%.

Lo anterior es suponiendo una distribución rectangular de temperaturas. Ponderando a una distribución normal de temperaturas entorno a la media, se normaliza la incertidumbre relativa respecto a la temperatura como:

- $U_{REL\text{-}T}$= 6%/2 = 3%

Observar que la incertidumbre esperada va desde los 0.2mV para lectura mínima, hasta los 175mV para el fondo de escala.
Se presupuso que la temperatura del sensor era la ambiente, que equivale a despreciar el calentamiento propio por radiación incidente. Esto se hace pues se supone que el efecto convectivo del aire, a gran velocidad por estar el sistema montado en un móvil, compensa este calentamiento.
Para sensores fijos, el sistema podría calentarse más de lo estimado y el error por temperatura se estaría subestimando. En estos casos, la temperatura máxima esperada seria mayor y la calibración podría hacerse por ejemplo a 30 grados para compensar este efecto. Alternativamente, agregar un margen de seguridad de 10 grados extra aumentaría el error a 5%.
Sin embargo, a un sensor fijo no lo afectan de gran manera en el cálculo de la incertidumbre total otro tipo de errores (error de inclinación del sensor) que si fueron considerados, por lo que el efecto se compensa.

Para disminuir este error, podría relevarse experimentalmente la respuesta voltaje-temperatura de cada sensor, que suele ser del tipo exponencial para diodos, integrar un sensor de temperatura a GEULMóvil y efectuar correcciones, ya sea por el firmware de GEULMóvil o por el servidor central.

A.1.3. INCERTIDUMBRE ASOCIADA AL ERROR DEL 3% DECLARADO.

El siguiente texto está adaptado y traducido del catalogo del fabricante [**105**]

A.1.3.1. ACERCA DE LOS SENSORES SGLUX ERYCA

El Eryca está diseñado para una medición precisa del UVI con un error menor a un 3%, la cual es suficientemente pequeña para aplicaciones comerciales y científicas de alto rendimiento.

¿CÓMO SE CALCULA EL ERROR MENOR AL 3%?

La [Figura 75] muestra la respuesta espectral del fotodiodo:

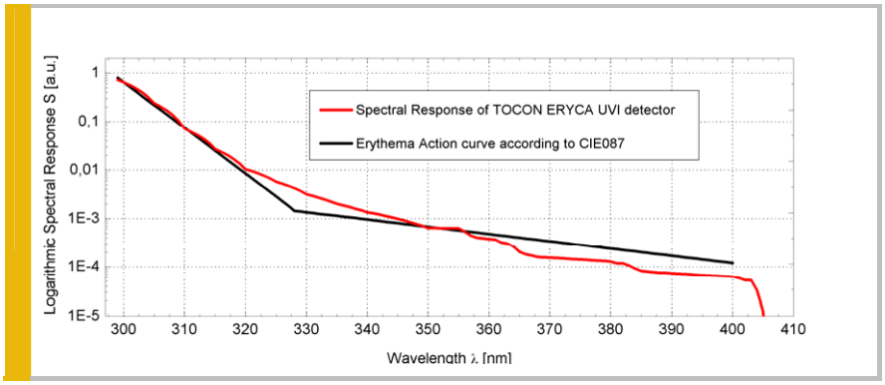


Figura 75 Respuesta espectral del fotodiodo

La curva del sensor tipo ERYCA, en rojo, aproxima casi perfectamente a la del eritema entre 295nm y 320nm. A partir de 20nm aparece una discrepancia de aproximadamente un 0,1%.
Para encontrar como esa diferencia influye negativamente a la medida de UVI, se necesita dar una mirada más cercana a diferentes espectros solares, variando el ángulo y el ancho de la capa de ozono.

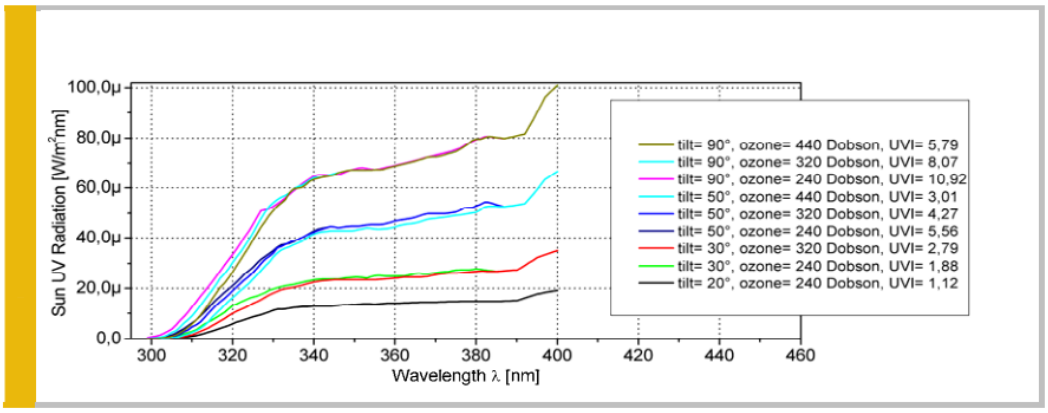


Figura 76 Espectros Solares UV

La [Figura 76], del Instituto meteorológico Suizo, muestra varios espectros solares UV.
En total, se usaron 9 espectros solares diferentes, calculando un UVI desde 1.12 a 10.92

$$UVI_{ideal} = \int_{\lambda=297\,nm}^{\lambda=400\,nm} \frac{S(\lambda)\cdot CIE(\lambda)}{25mW/m^2} d\lambda \quad (1)$$

$$UVI_{real} = \int_{\lambda=297\,nm}^{\lambda=400\,nm} \frac{S(\lambda)\cdot ERYCA(\lambda)}{25mW/m^2} d\lambda \quad (2)$$

$$E = \frac{(UVI_{ideal} - UVI_{real})\cdot 100}{UVI_{ideal}} \quad (3)$$

Legend
S(λ)= sun UV spectrum
CIE(λ)= CIE087 standard curve
ERYCA(λ)= ERYCA response curve
E= error in %

Figura 77

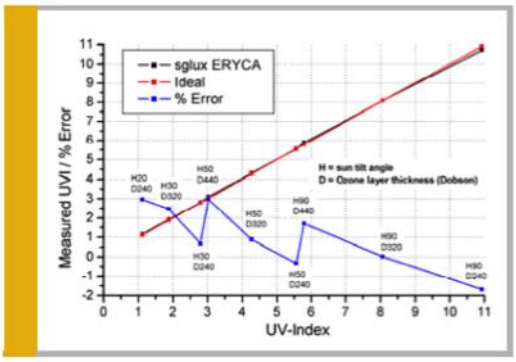


Figura 78

Para el cálculo del error, los espectros solares diferentes fueron integrados con la curva de acción del eritema y subsecuentemente, la integral del mismo espectro con la curva de respuesta del ERYCA fueron calculadas con las formulas (1) y (2) de la [Figura 77]
Finalmente, el error se calcula usando la fórmula (3), y como muestra la [Figura 78], no supera el 3%.

A.1.3.2. CONSIDERACIONES RESPECTO A ESTE VALOR.

Si bien al principio, el grupo simplemente planeaba declarar ese 3% como incertidumbre, investigando mejor se averiguó que esta era demasiado pequeña, del orden de la presentada por espectrómetros de miles de dólares que funcionan como estándares secundarios, por lo que se investigo mejor la situación, lo cual dio lugar al estudio detallado presentado en estas secciones.
Se considera que la metodóloga usada es incapaz de tener en cuenta los valores cuantificados en los errores presentados en las demás secciones. Sin embargo da una idea de parámetros como repetitividad del sensor, o desempeño bajo diferentes condiciones atmosféricas, como espesor cambiante de capa de ozono, por lo que se agrega como fuente independiente, suponiendo una distribución normal.

Error máximo debido a las pruebas del fabricante= ± 3%.
Incertidumbre asociada: 1.5%

A.1.4. INCERTIDUMBRE DE ASOCIADA AL ERROR DEL COSENO.

A.1.4.1. INTRODUCCIÓN

Idealmente, la óptica de entrada del sistema requiere una perfecta adaptación, para que esta respondiera al coseno del ángulo de incidencia como lo haría una superficie Lambertiana ideal. El apartamiento de la respuesta angular respecto a dicho comportamiento ideal da lugar al llamado error por coseno (‘*cosine error*’).

La magnitud de este error puede llegar a provocar errores del orden del 10% o hasta 20% dependiendo de las características del sistema y las condiciones de la medida.
[Ref.]

En este apartado se supondrá que el aparato de medición se encuentra en un plano horizontal, por lo que el ángulo de incidencia θ_i de la radiación directa coincide con el ángulo cenital solar θ_z.

El error de coseno afecta al índice UV por afectar a cada una de las componentes espectrales que forman parte del cálculo de UVI.

Recordando la definición de UVI:

$$UVI = k_{er} \int_{250nm}^{400nm} R(\lambda) E(\lambda) d\lambda$$

El sensor UV tipo fotodiodo tiene una respuesta proporcional a dicha integral, pero si las componentes espectrales se ven modificadas, esto se traduce en un error en el UVI.

Veamos porque:

Llamemos $R'(\lambda)$a la componente espectral de longitud de onda λ afectada por el error de coseno. Definiendo como $C(\lambda, \theta_i)$ al factor de corrección para corregir el error por coseno se tiene:

$$R(\lambda) = C(\lambda, \theta_i) R'(\lambda)$$

Entonces el índice UV medido será:

$$UVI' = k_{er} \int_{250nm}^{400nm} \frac{R(\lambda)}{C(\lambda, \theta_i)} E(\lambda) d\lambda$$

Como se verá luego, el factor $C(\lambda, \theta_i)$ está muy relacionado con la óptica del sensor cuya respuesta angular se supondrá independiente de λ. También depende, bajo ciertas hipótesis que se verán luego, de la relación entre radiación directa y global que llamaremos $f_{DG}(\lambda)$.
La relación directa-global, y así $C(\lambda, \theta_i)$, es bastante para las longitudes de onda entre 250nm-400nm[**106**], por lo que la siguiente aproximación es válida y se tiene:

$$UVI' \approx k_{er} \int_{250nm}^{400nm} \frac{R(\lambda)}{\langle C(\lambda, \theta_i) \rangle_\lambda} E(\lambda) d\lambda = \frac{1}{\langle C(\lambda, \theta_i) \rangle_\lambda} UVI \equiv \frac{1}{C_g} UVI$$

Entonces:

$$\frac{UVI}{UVI'} = \frac{R(\lambda)}{R'(\lambda)}$$

La ecuación anterior demuestra que basta estudiar el error porcentual debido al error por coseno suponiendo un rayo de longitud de onda dada, y luego extrapolar los resultados para el UVI. A continuación se caracterizara el error de coseno para el sensor de GEULMóvil a partir del análisis de cómo afecta a la radiación monocromática. Como se vio anteriormente, dicho análisis se traduce directamente al UVI.

De hecho, el error porcentual es:

$$Error_{\%} = \frac{UVI - UV''''I'}{UVI} = 1 - \frac{UV''''I'}{UVI} = 1 - 1/C_g$$

La metodología de análisis y corrección se basa en *Correcting global solar ultraviolet spectra recorded by a Brewer spectroradiometer for its angular response*[**106**].

A.1.4.1.1. ANÁLISIS

Nombrando a F y F' como las irradiancias reales y medidas, se define el factor de corrección global como:

$$C_g = \frac{F'}{F} = \frac{F'_{dir} + F'_{dif}}{F_G}$$

Los subíndices *dir*, *dif* y *G* corresponden a las componentes directa, difusa y global respectivamente.

Conociendo C_g, en teoría puede eliminarse e por completo el error por coseno. Para nosotros tiene doble propósito: estimarlo estadísticamente, para poder cuantificar el error por coseno, y luego proponer métodos de estimarlo en tiempo real para que en el futuro , el servidor central de GEULMapa pueda corregir la medida una vez enviada, y disminuir aun más su incertidumbre.

Los factores de corrección de irradiancia directa y difusa se definen como:

$$c_{dif} = \frac{F'_{dif}}{F_{dif}} \;/\; c_{dir} = \frac{F'_{dir}}{F_{dir}}$$

Entonces:

$$C_g = \frac{c_{dir}F_{dir} + c_{dif}F_{dif}}{F_{dir} + F_{dif}} = \left(1 - c_{\frac{dir}{g}}\right)c_{dif} + c_{\frac{dir}{g}}c_{dir}$$

- c_{dir} es la respuesta angular del aparato y en nuestro caso, es dada por el fabricante y se supone que no depende de la longitud de onda.
- c_{dif} es el factor de corrección de la difusa, que se deducirá en breve.
- $c_{dir/g}$ es la relación entre radiación directa y global, y no se conoce a priori.

A.1.4.1.2. CÁLCULO DEL ERROR DE RADIACIÓN DIFUSA:

A diferencia de la radiación directa, que puede no llegar a verse directamente afectada restringiendo el ángulo máximo cenital permisible, la radiación difusa se ve afectada por el error de coseno a lo largo de todo el día. Calculemos como se ve afectada esta componente aplicando directamente la definición de irradiancia espectral:

$$c_{dif} = \frac{\int_0^{2\pi}\int_0^{\frac{\pi}{2}}(I_d(\theta,\varphi)c_{dir}(\theta,\varphi)\cos(\theta))\sin(\varphi)d\theta d\varphi}{\int_0^{2\pi}\int_0^{\frac{\pi}{2}}(I_d(\theta,\varphi)\cos(\theta))\sin(\varphi)d\theta d\varphi}$$

A.1.4.1.2.1. METODOLOGÍA APLICADA AL SENSOR DE GEULMÓVIL:

- ESTIMACIÓN DE $c_{dir}(\theta)$

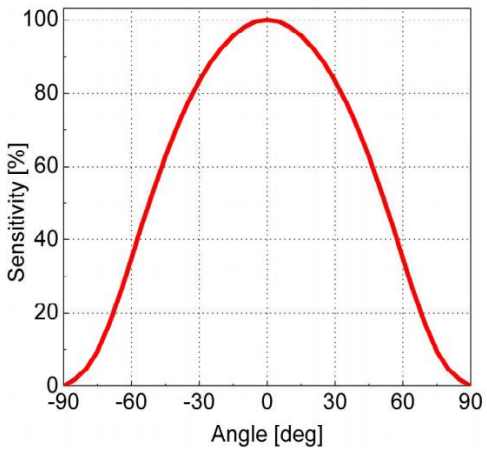


Figura 79 Sensibilidad

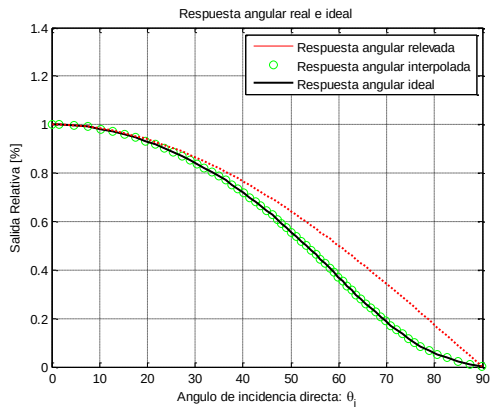


Figura 80 Respuesta angular real e ideal

El fabricante del sensor muestra en su hoja de datos una grafica de la respuesta angular típica ('Field of View'), mostrada en la [Figura 79]. A partir de dicha gráfica se relevó, mediante software digitalizador de gráficas, pares ángulo-respuesta para luego interpolar la curva.
La [Figura 80] muestra la respuesta angular interpolada junto con la respuesta cosenoidal ideal.

Observar como la respuesta angular siempre hace que la radiación se subestime, por estar debajo de la curva del coseno.

- ESTIMACIÓN DE c_{dif}:

Se supone isotropía cenital de la respuesta angular e isotropía de la radiación difusa, la relación anterior queda:

$$c_{dif} = \frac{\int_0^{2\pi}\int_0^{\frac{\pi}{2}} c_{dir}(\theta)\cos(\theta)\sin(\varphi)d\theta d\varphi}{\int_0^{2\pi}\int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos(\theta)\sin(\varphi)d\theta d\varphi} = 3\%$$

Notar como la integración debe hacerse en todo el rango de ángulos. En trabajos experimentales, según las referencias, las hipótesis anteriores suelen dar lugar a errores pequeños en la estimación de c_{dif}.

La gráfica siguiente muestra el efecto de la corrección por coseno necesaria si la radiación fuese solo directa (error por radiación directa) o solo difusa (error por radiación difusa).

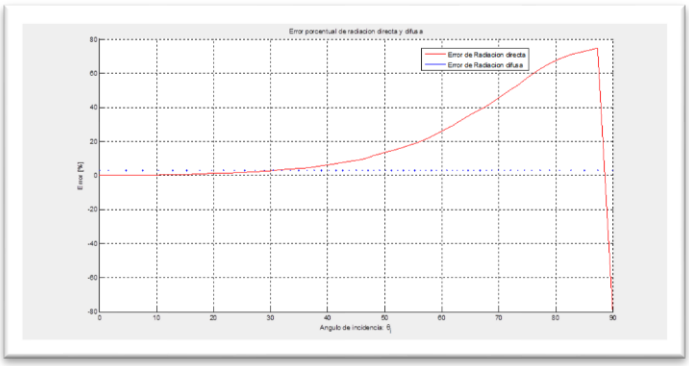


Figura 81 Factores de corrección de radiación directa y difusa en función del angulo cenital

- **ESTIMACIÓN DE $c_{\frac{dir}{g}}$**

No existe una relación general simple entre la radiación directa y la global, aunque si existen ciertas correlaciones que suelen ser utilizadas para modelar estadísticamente.
Las graficas siguientes[**106**][**107**][**108**], muestran los cambios de $c_{dir/g}$ durante el día, y durante un mismo año para diferentes parámetros atmosféricos y ángulos cenitales solares. Es importante notar que la radiación directa en $c_{dir/g}$ se mide horizontalmente.

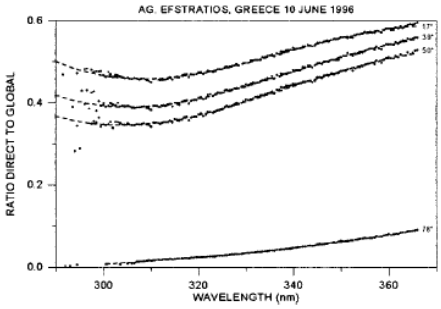


Fig. 2. Spectral ratios of direct-to-global solar irradiance for various SZA's and aerosol optical depths. The measurements were obtained by the Brewer spectroradiometer at Thessaloniki and Tenerife.

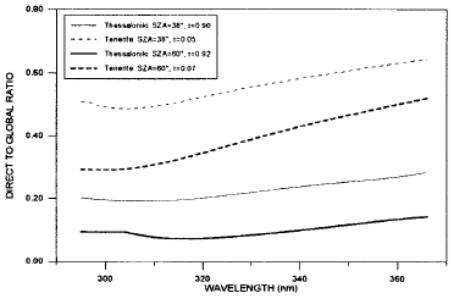
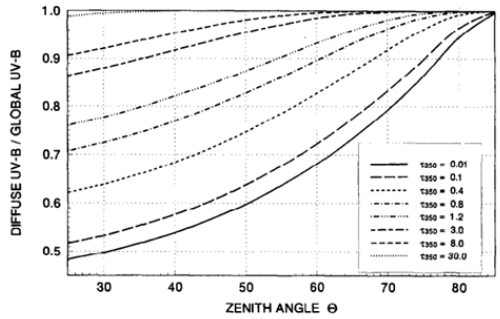


Fig. 3. Spectral ratio of direct-to-global solar irradiance as measured by the Brewer spectroradiometer at various SZA's at a site with low aerosol content. Dashed curves correspond to polynomial fits of the data taken in steps of 10 nm.



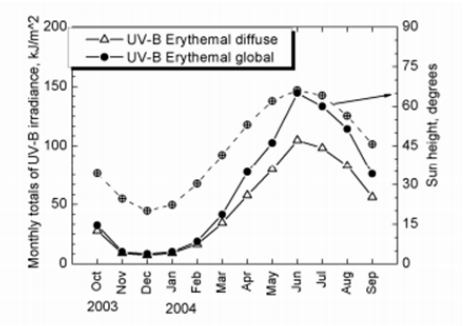


Figura 82 (a,b,c,d): Curvas que muestran variación de $c_{dir/g}$ para diversas longitudes de onda en el rango UV-B eritémico, para diversos ángulos cenitales y condiciones atmosféricas a lo largo del dia, y la variación anual. Se mantuvo la descripción de figuras del trabajo original

Se toma el siguiente modelo, que incorpora como decae la relación directa/global durante el correr del día.

$$c_{\frac{dir}{g}}(\theta_z) = (c_{dir/g})_{\max} . \cos(hhhhhhhhhhhhhhhhhhhhhhh\theta_z\ )$$

A.1.4.2. RESULTADOS

El modelo de $c_{\frac{dir}{g}}$se eligió por ser simple y dar resultados que se correspondan con las graficas de la sección anterior. Según los autores [**106**], el método presentado para corregir, suele ser bastante robusto a las variaciones de $c_{dir/g}$ de hasta un 15%, por lo que lo importante es tener una estimación educada del error.

Las curvas siguientes, muestran el error por coseno en función del ángulo cenital solar para los siguientes modelos de situaciones 'típicas', sin nubosidad, que incorporan el hecho de que la relación directa/global es mayor en los meses de verano:

- Entre Abril y Septiembre: $(c_{dir/g})_{\max} = 0.4$
- Octubre y Marzo: $(c_{dir/g})_{\max} = 0.9$

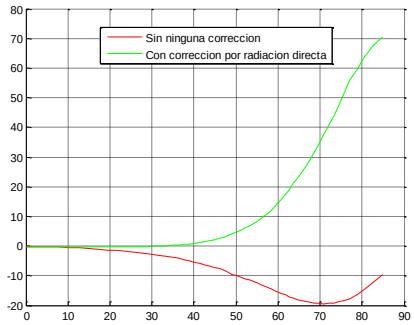


Figura 83 Error esperado en verano

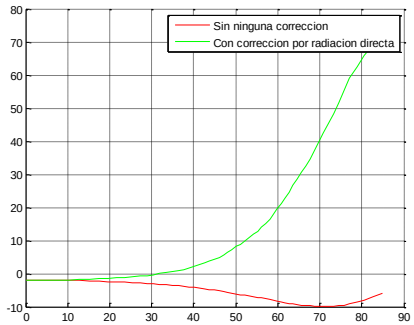


Figura 84 Error esperado en invierno

La forma utilizada fue:

$$Error_{\%} = 1 - \frac{1}{\left(1 - c_{\frac{dir}{g}}\right) c_{dif} + c_{\frac{dir}{g}} c_{dir}}$$

A.1.4.3. INCERTIDUMBRE ASOCIADA AL ERROR POR COSENO

La tabla siguiente muestra las incertidumbres asociadas, diferenciando entre épocas del año y ángulos cenitales, sin efectuar ninguna clase de corrección:

Incertidumbre asociada al error por coseno	Verano	Valor medio
$0 < \theta_z < 40°$	3.5%	4%
$0 < \theta_z < 75°$	14%	7%

Incertidumbre asociada al error por coseno.

La incertidumbre asociada es: Ucc= 7%

Hay varias opciones para minimizar la incertidumbre:

- Si no se dispone de servidor central, no es conveniente efectuar ningún tipo de corrección, pues puede ser contraproducente, como se muestra en las graficas anteriores.
- Disponiendo de un servidor central, este puede *estimar para el día* el ángulo cenital y $c_{dir/g}$ realizando una corrección leve.
- Puede irse un paso más y estimar $c_{dir/g}$ en tiempo real. Para ello, podría explorarse el uso de modelos satelitales de acceso gratuito, en el servidor central, o alternativamente alguno de los sensores fijos de la red GEULMóvil/GEULMapa podría medir directa y difusa en versiones futuras y así tener una mejor corrección.
- Efectuando correcciones de los parámetros, se considera que se puede disminuir el error por coseno a un 3%, como se muestra en las referencias.

A.1.4.4. CONCLUSIONES.

La literatura consultada recomienda siempre corregir el error por coseno, pues es el de mayor influencia en el error en medidas de radiación solar[**22**], no solo de UVI.
El procedimiento para corregirlo es estándar y está ampliamente documentado y estudiado. De hecho, en medidas de precisión, los efectos de dependencia polar, acimutal, de dependencia con la longitud de onda, del difusor, entre muchos más, suelen ser tenidos en cuenta para compensar este error y en la existen una amplia gama de técnicas propuestas. Existen incluso referencias que informan como calcular la incertidumbre que agrega la propia corrección por coseno.
El sensor que posee GEULMóvil, es de precio bajo para los estándares existentes en medidas de UV. Aun así, la respuesta al coseno dada por el fabricante parece ser buena.
Uno de los aspectos más delicados (que encarece precios) del diseño de un medidor de UVI es su óptica de entrada, por lo que el caracterizar y corregir el error por coseno es de vital importancia para intentar abaratar precios en futuras versiones de GEULMóvil o decidir que lo más conveniente es un sensor con mejor respuesta angular.
Se recomienda en general usar sensores con respuesta cosenoidal lo más exacta posible. El fabricante del sensor utilizado, posee el modelo *UV-Cosine*, con un funcionamiento similar al Tocon, de mayor precio, pero con mejor respuesta angular.

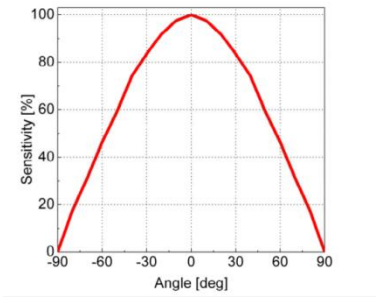


Figura 85

Con dicho sensor se tendría un valor estimado del 3% para la incertidumbre asociada al error por coseno. Debería ser evaluado el costo-beneficio del uso de este nuevo sensor en versiones futuras de GEULMóvil, el Anexo A.1.10.4 aborda icho compromiso calidad-precio.

A.1.5. EFECTO DEL HOUSING

El sensor incluye un housing que podría influir en el error de coseno, pero lo único que informa el fabricante al respecto es 'wide field of view', por lo que este efecto no puede cuantificarse pero se espera que el restringir las medidas a aquellas con $|\cos(\theta_z)| > 0{,}3$ torne su efecto despreciable.
Recientemente, se descubrió también que el teflón (PTFE) tiene un cambio brusco en sus propiedades térmicas alrededor de los 19 grados que hace que suele generar errores en las medidas espectrales del orden del 2% para temperaturas ambiente mayores que ese valor.

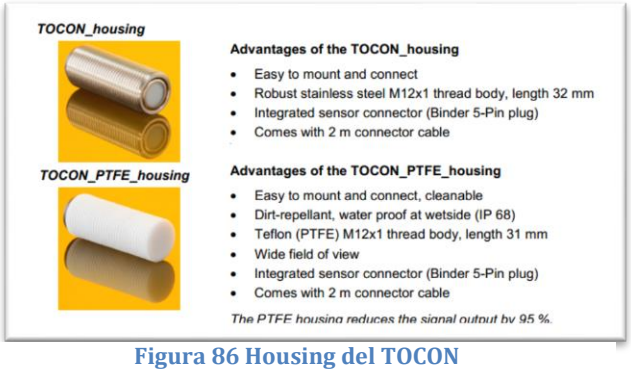


Figura 86 Housing del TOCON

De todas maneras, el housing puede degradarse con el tiempo, haciendo que su respuesta angular y factor de atenuación también se degraden, por lo que es necesario recalibrar el instrumento periódicamente.

A.1.6. EFECTO DEL POLVO

Otro factor a considerar aquí es el de la suciedad que puede llegar a tener por depósito temporario de polvo. Para tener una idea, usualmente, las medidas de UVI, con aparatos de precisión, se hacen en lugares fijos, y se recomienda una limpieza semanal. Nuestro aparato no es de precisión, por lo que ese periodo podría extenderse a 2 o más semanas y aun así tener una incertidumbre asociada baja. En caso de haber un periodo extenso de sequia, hay que tener en cuenta que este factor podría tener un peso importante.

Este fenómeno tiene la potencialidad de inutilizar temporalmente las medidas de un sensor, aunque esto se juzga muy poco probable. En las etapas de prototipo, siempre se tendrá a alguien cerca para limpiarlo, y el error demorara poco sin pasar desapercibido. Cuando GEULMóvil/GEULMapa se encuentre en funcionamiento, el efecto de un error de este tipo puede ser detectado y hasta corregido en base a discrepancia con el resto de la red. Si el comportamiento del sensor se juzga inadecuado, el sistema podría ordenarle que deje de mandar mensajes para efectuarle un mantenimiento cuando sea viable.

En resumen, el efecto del polvo se desprecia, pero se recomienda estar atentos a él en el futuro e intentar cuantificar su influencia.

A.1.7. ESTIMACIÓN DEL ÁNGULO DEL SENSOR RESPECTO A LA HORIZONTAL.

El sensor de GEULMóvil se encuentra continuamente en movimiento, solidario al móvil. Para fijar ideas, y sin perder generalidad, supongamos que el móvil es un ómnibus viajando en una ruta nacional.
El sensor se encuentra sobre una base magnética que se apoya a su vez en el techo del móvil. Dicha base magnética permite que el sensor se monte perpendicularmente, de forma que, idealmente, la superficie medidora del sensor quede horizontal. Sin embargo, la inclinación del ómnibus es un factor de error en la medida de UVI cuyo efecto se cuantifica en esta sección.

Figura 87 Detalle del sensor montado

En condiciones de funcionamiento ideal, el techo del móvil debería encontrarse en un plano horizontal, para que no haya una inclinación indeseada en el sensor UV. Sin embargo, el sensor siempre tendrá un cierto ángulo de inclinación que afectara la medida, como se estudia a continuación.
Como ya se dijo, el móvil se encuentra en el techo de un ómnibus y el ómnibus a su vez se encuentra apoyado en la ruta. Eso hace que en general, el techo del ómnibus tenga cierta inclinación respecto a la horizontal.
Los efectos que más inciden en el ángulo de inclinación son la pendiente longitudinal y la pendiente transversal de la ruta. También existen otros efectos secundarios, que pueden influir en la inclinación del techo del ómnibus. A saber: desbalances debido a la distribución desigual de peso dentro del móvil, imperfecciones en la amortiguación, curvatura del techo, etc.

Esta sección se divide de la siguiente manera:

1. Se dará un modelo matemático de la radiación total a medir en función del ángulo de inclinación.
2. Se presentará un modelo matemático del error en la medida en función de la inclinación del sensor y la posición del sol.
3. Se modelara como una variable aleatoria dicho error y se hallara numéricamente su densidad de probabilidad. A partir de la distribución de error se o la incertidumbre asociada a la medida.
4. Se harán consideraciones respecto al modelo usado, así como comentarios y conclusiones del modelado.

A.1.8. MODELO MATEMÁTICO DE LA RADIACIÓN MEDIDA EN UNA SUPERFICIE INCLINADA.

A.1.8.1. INTRODUCCIÓN

Además de la radiación solar directa, también se mide la radiación difusa y la reflejada, ilustradas en la [Figura 88][**109**].

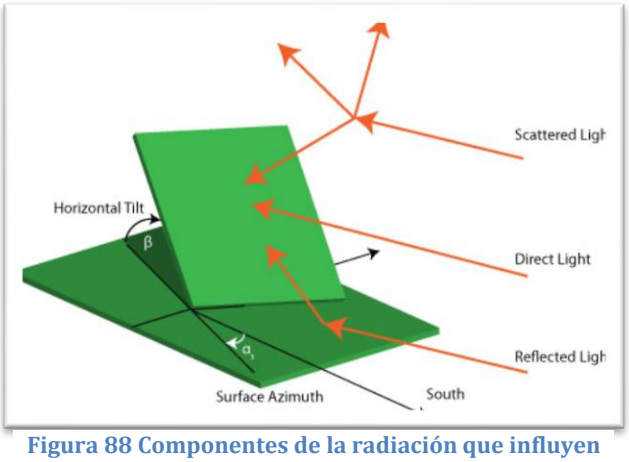


Figura 88 Componentes de la radiación que influyen en la medida cuando el sensor está inclinado

De esta forma:

$$H^T_{global} = H^T_{directa} + H^T_{difusa} + H^T_{reflejada} \approx H_{difusa} + H^T_{directa}$$

A.1.8.2. RADIACIÓN DIRECTA EN UNA SUPERFICIE INCLINADA

Primero que nada se muestra el sistema de coordenadas en la superficie terrestre para un observador en un punto Q [**110**]

.

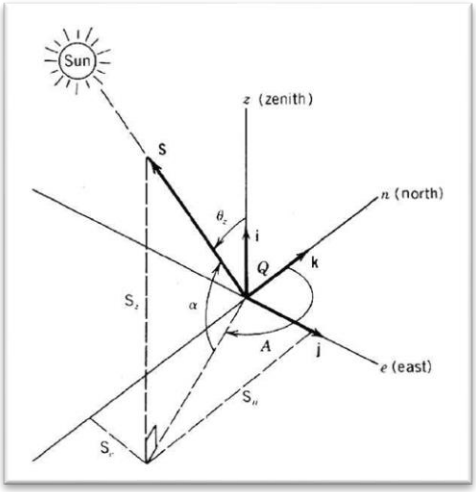


Figura 89 Sistema de coordenadas para un observador en el punto Q

En la [Figura 89] se muestra el ángulo de acimut solar$A$, el angulo de altura solar α y el ángulo de cenit solar θ_z para un rayo de luz solar cuya dirección está dada por el vector de dirección S. También se muestran los vectores unitarios i, j, k con sus respectivos ejes.
Agreguemos ahora el sensor fijo, con su orientación definida por el ángulo de inclinación y el ángulo de apertura acimutal γ.

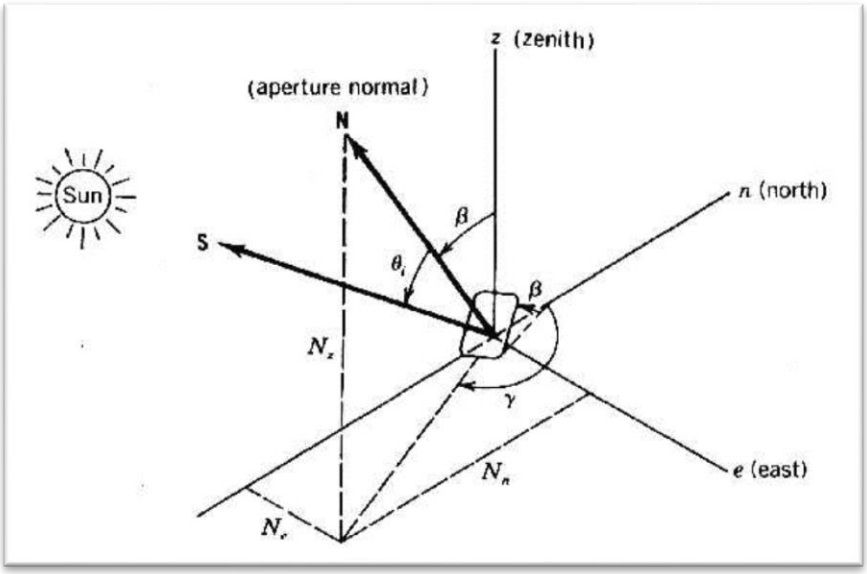


Figura 90 Ángulos y vectores de interés para un sensor inclinado

Se quiere relacionar el ángulo de incidencia θ_i con variables que puedan ser modeladas. Afortunadamente el problema está ampliamente estudiado porque la radiación solar incidente sobre un plano inclinado es de gran interés para el diseño y funcionamiento de paneles solares.

Usando trigonometría esférica REF1, se halla la siguiente relación:

$$\cos(\theta_i) = \cos(\theta_z)\cos(\beta) + \sin(\theta_z)\sin(\beta)\cos(\gamma - A)$$

Entonces, la radiación incidente directa es:

$$H^T_{directa} = H_{directa}(\cos(\theta_z)\cos(\beta) + \sin(\theta_z)\sin(\beta)\cos(\gamma - A))$$

A.1.8.3. RADIACIÓN DIFUSA EN UNA SUPERFICIE INCLINADA

Si se supone isotropía de la radiación difusa se tiene:

$$H^T_{difusa} = H_{difusa}\frac{(1 + \cos(\beta))}{2}$$

La ecuación anterior modela el hecho de que una superficie inclinada, bloquea alguno de los rayos.

A.1.8.4. RADIACIÓN REFLEJADA EN UNA SUPERFICIE INCLINADA

La energía de los rayos reflejados depende de la capacidad de la superficie horizontal para reflejar, propiedad expresada por el factor de albedoρ, que va de 0.1 para una ruta pavimentada a 0.9 para nieve limpia.

$$H^T_{reflejada} = \rho(H_{difusa} + H_{directa})\frac{(1 - \cos(\beta))}{2}$$

A.1.8.5. RADIACIÓN TOTAL INCIDENTE EN UNA SUPERFICIE INCLINADA.

Para ángulos de inclinación β pequeños, como es el caso, $\cos(\beta) \approx 1$ y se puede suponer que la radiación difusa no depende del ángulo y la radiación reflejada es despreciable.

Además:

$$\cos(\theta_i) = \cos(\theta_z)(1 + \beta.\tan(\theta_z)\cos(\gamma - A)) = \cos(\theta_z)(1 + \Delta(\gamma, A, \theta_z))$$

$$\Delta(\gamma, A, \theta_z) = \beta.\tan(\theta_z)\cos(\gamma - A))$$

Entonces:

$$H^T_{global} = H_{difusa} + H_{directa}\cos(\theta_z)(1 + \Delta(\gamma, A, \theta_z))$$

A.1.8.6. MODELO MATEMÁTICO DEL ERROR.

Reagrupando términos puede hallarse el error porcentual:

$$H_{global}^{T} = \left(H_{difusa} + H_{directa}\cos(\theta_z)\right)\left(1 + \frac{\Delta(\gamma, A, \theta_z) H_{directa}\cos(\theta_z)}{H_{difusa} + H_{directa}\cos(\theta_z)}\right)$$

$$H_{global}^{T} = \left(H_{difusa} + H_{directa}\cos(\theta_z)\right)\left(1 + c_{\frac{dir}{g}}.\Delta(\gamma, A, \theta_z)\right)$$

Aquí aparece nuevamente la relación entre radiación directa y global $c_{\frac{dir}{g}}$. Así, el término $\Delta(\gamma, A, \theta_z)$ corresponde al error porcentual en la medida debido a la inclinación del sensor suponiendo radiación difusa despreciable. En un principio, se estimará el error despreciando la difusa ($c_{\frac{dir}{g}} \approx 1$), y luego se tendrá en cuenta este efecto ponderando la incertidumbre hallada por $\langle c_{\frac{dir}{g}} \rangle$.

$$\Delta(\gamma, A, \theta_z) = \beta.\tan(\theta_z)\cos(\gamma - A))$$

Observar como en GEULMóvil, dicho error no puede estimarse a priori y ser descontado pues depende de la orientación acimutal γ del sensor.

Acotando con el peor caso ($\theta_z = \theta_{zMX}$) se tendría:

$$|\Delta(\gamma, A, \theta_z)| \leq \beta_{MX}.\tan(\theta_{zMX}) = 22\%$$

Dicha estimación es simple pero demasiado conservadora, por lo que se modelará al error como una variable aleatoria para hallar la incertidumbre asociada como la desviación estándar de dicha variable.

A.1.8.7. MODELO ESTADÍSTICO DEL ERROR Y ESTIMACIÓN FINAL DE INCERTIDUMBRE.

Se estimó la función de densidad de probabilidad mediante el método de Monte Carlo, con 10 millones de puntos. El código Matlab se muestra en el Anexo.
Para ello, cada una de las variables fue modelada de la siguiente manera:

- $(\gamma - A)$ se modela como una variable aleatoria uniforme entre [0,2π]. Esto está basado en que la orientación acimutal del sensor es aleatoria, y el ángulo de azimut también varía durante el día.
- $\theta_z$varia en $[-\theta_{zMX}, \theta_{zMX}]$, lo que equivale a un ángulo de incidencia horizontal mínimo tal que $\cos(\theta_{zMX}) = 0.3$, o ($\theta_{zMX} = 73°$) .
- β se modela como una variable aleatoria entre [$-4°$,$+4°$] (Ver anexo)

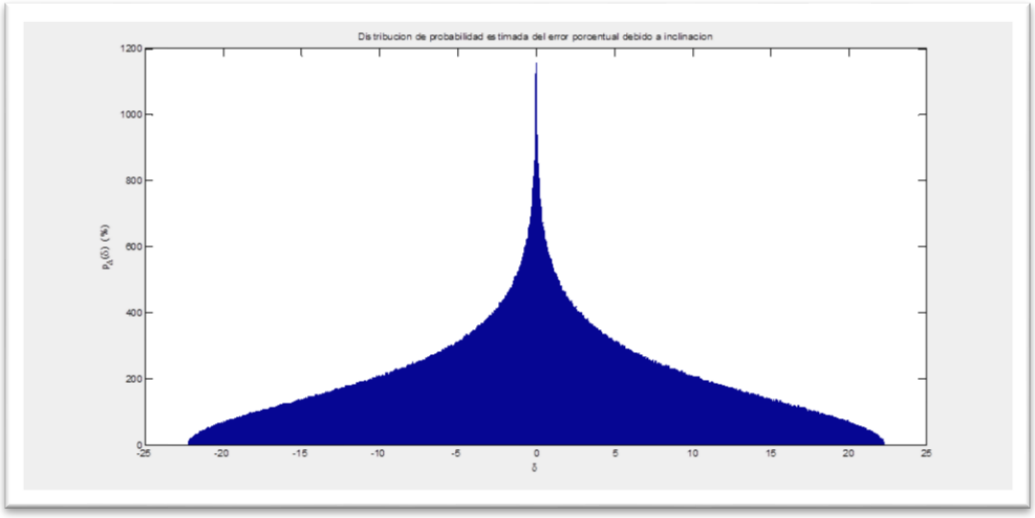


Figura 91 Distribución de probabilidad estimada (histograma no normalizado) del error porcentual

Los momentos estadísticos de primer y segundo orden estimaos por el método son:

$$\begin{cases} m_\Delta = 0{,}0024 \\ \sigma_\Delta = 9{,}068 \end{cases}$$

La incertidumbre u_β asociada a la inclinación β del sensor es simplemente la desviación estándar de la distribución asociada al error:

$$u_\beta = 9\%$$

Esta estimación fue hecha para el peor caso de ángulo cenital, con $\cos(\theta_{zMX}) = 0.3$, para ángulos acimutales menores [fig xx] la incertidumbre esperada disminuye y puede calcularse como:

$$\mathrm{u}(\theta_z) = u_\beta \left| \frac{\tan(\theta_z)}{\tan(\theta_{zMX})} \right|$$

La figura siguiente muestra una grafica de dicha incertidumbre porcentual que muestra como disminuye el efecto negativo de la inclinación cuando la elevación del sol es alta.

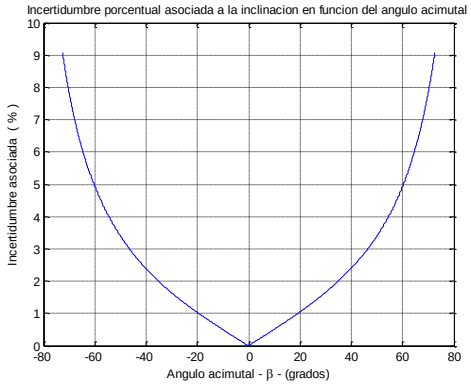


Figura 92

Para terminar, cabe destacar que la incertidumbre por inclinación, que es de que aporta más a la incertidumbre total, es una de las consecuencia intrínseca de que el sensor este en movimiento solidario al móvil.
Del estudio estimativo de la sección de error por coseno, se tiene un valor esperado, durante el día de $c_{\frac{dir}{g}}$ máximo en el mediodía y decreciendo durante el día. En general se juzga que el valor promedio es menor, pero para ser conservadores, se estima que durante el día se cumple:

$$\langle c_{\frac{dir}{g}} \rangle = 1/2$$

Una vez que el sistema GEULMóvil/GEULMapa esté integrado puede intentar acotarse dicho error, para cada medida individualmente, mediante estimaciones de $A, , \theta_z \gamma$ mediante el GPS integrado que posee GEULMóvil.

Error por inclinación:

$$\begin{cases} \mathrm{Ucc} = \ 4.5\% \\ \ \theta_z < \ 75° \end{cases}$$

Discriminando por ángulos, se tiene:

$$\begin{cases} \mathrm{Ucc} = \ 4.5\%, \qquad 40 < {}^{\circ}\theta_z < \ 75° \\ \ \mathrm{Ucc} = \ 2\%, \qquad 0 < {}^{\circ}\theta_z < \ 40° \end{cases}$$

Los valores anteriores, fueron calculados sin la estimación de variables externas por parte de GEULMóvil. Corrigiendo dicho efecto, se podría minimizar dicha fuente de incertidumbre de juzgarse necesario.

A.1.9. INCERTIDUMBRE ASOCIADA AL RELEVAMIENTO DE LA PRUEBA DEL 27.6

Esta sección calcula la incertidumbre asociada al relevamiento de la curva del día 27/6. También está pensada para servir como guía a futuros lectores que fuesen a relevar la curva. Es por ello, que la figura siguiente muestra un esquema guía para realizar el procedimiento.

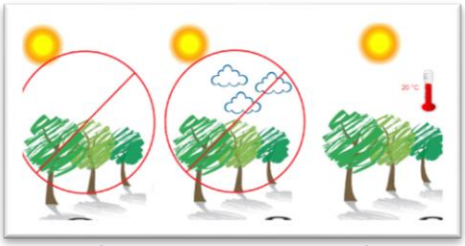


Figura 93 Condiciones óptimas para la relevación de la curva UV del sensor

El sensor (esquematizado en negro) debe ubicarse verticalmente y lejos de todo obstáculo de luz, al igual que el instrumento patrón (que no se muestra en la figura). Se recomienda que la temperatura ambiente sea de 20°C , similar a la media de Uruguay durante el día. Si se van a tomar pocos puntos para relevar, es conveniente que se haga al mediodía, preferentemente en épocas de primavera o verano.

RELACIÓN VOLTAJE-UVI IDEAL:

$$UVI = mv\,;\;\; m = \frac{UVI}{V_o}$$

CORRECCIÓN DE ERROR POR COSENO:

$$m = C_g \frac{UVI}{V_o}$$

Hora de la calibración: 15:35
Factor de corrección: $C_g = 0.98 \pm 0.05$

INCERTIDUMBRE ASOCIADA:

$$\left(\frac{dm}{m}\right)^2 = \left(\frac{dUVI}{UVI}\right)^2 + \left(\frac{dV_o}{V_o}\right)^2 + \left(\frac{dC_g}{C_g}\right)^2 = \left(\frac{5\%}{2}\right)^2 + \left(\frac{3.8\%}{2}\right)^2 + \left(\frac{5\%}{2}\right)^2$$

$$\left(\frac{dm}{m}\right) = \sqrt{(2.5\%)^2 + (1.9\%)^2 + (2.5\%)^2} = 4\%\ (k = 1)$$

DETALLE DE LAS FUENTES DE INCERTIDUMBRE CONSIDERADAS:

Incertidumbre	Fuentes	Valor Numérico	Distribución
$\left(\frac{dUVI}{UVI}\right)$	Error máximo del Sensor del GMARS	< 5%	Gaussiana
$\left(\frac{dV_o}{V_o}\right)$	Exactitud y resolución del tester usado	5mV/133mV	Gaussiana
$\left(\frac{dC_g}{C_g}\right)$	Incertidumbre en el coeficiente de corrección de error por coseno	<5/98	Gaussiana

A.1.10. IMPACTO DE LA INCERTIDUMBRE EN LA PRESENTACIÓN AL PÚBLICO DEL ÍNDICE ULTRAVIOLETA.

A.1.10.1. INTRODUCCIÓN

En esta sección se estudia el efecto de la incertidumbre en la medida en la presentación del UVI.
Cada uno de los móviles, envía al servidor datos con una incertidumbre del orden del 10%. Una vez que se dispone de datos, GEULMóvil tiene dos formas de presentarlos:

a. Escala de colores recomendada por la OMS: Presenta UVI como un número entero mayor que 1.
b. Escala de colores diferenciada, en la que se permiten valores decimales de UVI.

El UVI enviado por cada móvil de GEULMóvil representa un decimal, y es almacenado de esa manera en las bases de datos del servidor central para investigaciones posteriores y generación de un archivo histórico. Con estos propósitos en mente, la incertidumbre de la medida es el parámetro de interés. En este modo de visualización de datos, el Portal GEULMapa debería presentar los datos recolectados por cada móvil junto a una medida de su incertidumbre asociada.
Por otro lado, para informar a la población, la OMS recomienda su propia escala de valores enteros, agrupados a su vez en 5 categorías de riesgo. En este modo de presentación de datos, la medida de cada móvil se redondea al entero más cercano.

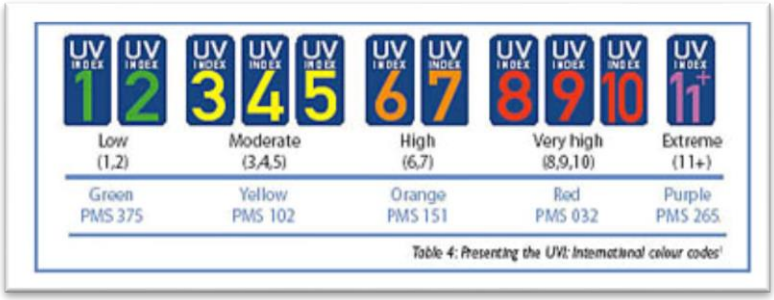


Figura 94 Categorias de riesgo recomendadas por la OMS para la presentación del UVI

En este caso, se identifican 3 posibles tipos de errores en la presentación de datos, cuyas probabilidades sirven como una medida de la calidad del sistema:

- Error del tipo 1 (E1): Dar un valor UVI errado. Por ejemplo, si el UVI fuese 7 y el aparato, a causa de la incertidumbre, enviara al servidor un valor de 7.6, se estaría informando un UVI de 8 y cometiendo un error del tipo 1.
- Error del tipo 2 (E2): Informar una escala de riesgo errada. El público en general no suele estar educado sobre el significado numérico del UVI, pero si le interesa tener una idea cualitativa del riesgo, que está dada por las 5 escalas. En el ejemplo anterior, se estaría informando un riesgo Muy Alto, cuando en realidad el riesgo es Alto.
- Error del tipo 3 (E3): Dar un valor de escala muy alejado del real. El hecho de que el salto de escala entre dos colores adyacentes sea discontinuo contribuye a aumentar la probabilidad de error de tipo 2. Por lo tanto, otra medida de desempeño, que cuantifica mejor el riesgo de dar información peligrosamente errónea a la sociedad es la probabilidad de presentar un valor correspondiente a una escala no adyacente al valor real. Por ejemplo, presentar un error Bajo cuando el UVI es Alto, debe tener una probabilidad muy baja, pues las consecuencias negativas de este tipo de error son altas.

Evidentemente, se cumple la siguiente desigualdad entre las probabilidades de error de tipo 1, 2 y 3:

$$P_{e1} > P_{e2} > P_{e3}$$

Esta sección presenta una estimación estadística de los 3 tipos de incertidumbre para un único móvil cuyo sensor se encuentra en funcionamiento normal y sin estar obstaculizado al dar la medida. Es aquí donde surgen dos cualidades del sistema que hacen plausible esta hipótesis:

- El algoritmo de procesamiento de datos muestreados, presentado en la sección A 14 está diseñado para minimizar dicho efecto, el cual ya de por si es pequeño porque los móviles están pensados para viajar en rutas.
- El servidor posee información del UVI aproximado, a partir de modelos satelitales y de otros móviles que le permiten descartar medidas en caso de detectar un posible error de tipo 3. De hecho, dicha detección se encuentra implementada en el software de simulación de móviles del proyecto GEULMapa.

Cuando el sistema conjunto GEULMóvil/GEULMapa se encuentre implementado con varios móviles, los valores presentados en el portal tendrán una probabilidad de error mucho menor que las enviadas por cada móvil, pues parten de medidas de móviles independientes. Por lo tanto, P_{e1}, P_{e2} y P_{e3} serán mucho menores que los valores presentados aquí para un solo móvil.
Se tomaran hipótesis conservadoras de forma de dar una cota superior de dichas probabilidades. Dado que para un único móvil, el factor de bloqueo por obstáculos tiene la potencialidad de aumentar estas chances, es prudente dar estas cotas superiores como probabilidades de error.

A.1.10.2. METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DE ERRORES

Se simulará un móvil enviando datos recabados durante un periodo de tiempo de fijo. Dicho móvil está caracterizado por una resolución y una exactitud, por lo que la incertidumbre asociada tiene una componente fija de incertidumbre, y otra que depende del valor de UVI.
Para fijar ideas, en el prototipo los valores aproximados de exactitud y resolución son:

- Exactitud: $u_{EX} = 10\%$
- Resolución: $u_{RES} = 0.1$

Si la medida del instrumento es x , entonces el error asociado al instrumento se supone de media nula y varianza dada por:

$$\sigma_x = \sqrt{(x.u_{EX})^2 + u_{RES}{}^2}$$

La ecuación anterior muestra que los errores E1, E2 y E3 tienen mayor probabilidad para índices mayores, pues su incertidumbre asociada crece con el UVI. El hecho anterior hace necesario agregar al cálculo un modelo de UVI durante el día, pues si se supusieran los índices altos equiprobables con los bajos (cosa que no es cierta) se estaría sobre estimado demasiado la probabilidad, dado que los índices mayores se dan solamente al mediodía.
Por simplicidad, con el solo fin de dar cotas superiores para P_{e1} , P_{e2}y P_{e3} , se toma un modelo de campana de Gauss. Este modelo conservador no tiene en cuenta la nubosidad. Dicho modelo también fue usado en las simulaciones de performance de GEULMapa[**90**].
Dada la importancia del UVI en las épocas de primavera-verano, no es prudente dar un promedio anual para el modelo, por lo que se hicieron cálculo para dos casos típicos:

- ”Modelo de verano”: Más adecuado para los meses entre octubre y marzo. Con 13 horas de actividad solar junto y un UVI máximo de 9.
- “Modelo de invierno”: Más adecuado para los meses entre abril y septiembre. Con 11 horas de actividad solar junto y un UVI máximo de 3.

Los valores se estiman promediando los máximos de UVI disponibles en [**111**]para la ciudad de Buenos Aires. Las figuras xx muestran los dos modelos de UVI usados para simular la evolución diaria de índice ultravioleta.

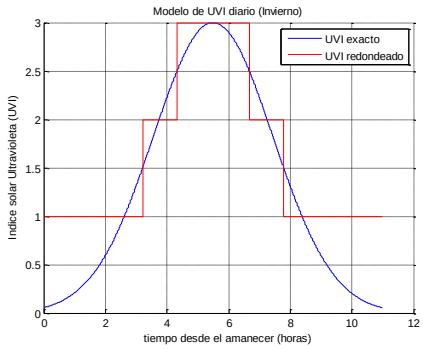


Figura 95: Modelo de invierno de UVI.

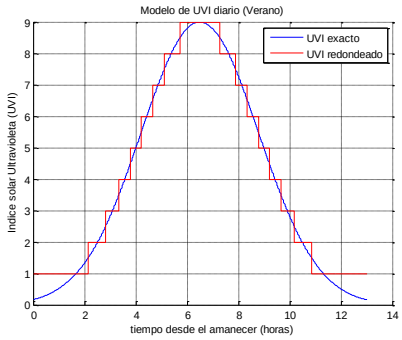


Figura 96 Modelo de verano de UVI

A.1.10.3. Resultados

Se realizó, para cada modelo, una simulación tomando con 5 millones de datos, contaminándolos con ruido, y enviándolos. Luego, se redondean los datos recibidos, se caracterizan en regiones de riesgo, y se comparan con los datos enviados. Se cuentan la cantidad de discrepancias entre los valores esperados y los recibidos, teniendo así una estimativa de la probabilidad. El código Matlab de la simulación se muestra en el **Anexo**. Se presentan valores redondeados.

Probabilidad	Otoño-Invierno	Primavera-Verano
P_{e1}	2.5%	22%
P_{e2}	1%	8.5%
P_{e3}	$\ll 10^{-6}$	1.10^{-3}%

Tabla 35 Probabilidades de error obtenidas en la simulación para *móviles con* $u_{EX} = 10\%$ *y* $u_{Res} = 0.1$ra

Suponiendo ahora que cada móvil envía cada 5 minutos, durante 12 horas, se puede calcular el valor de fallos esperados en un día. Para ello se calcula la cantidad de mensajes enviados N:

$$\mathrm{N_{enviados}} = \left(\frac{1}{5}\right)\frac{\mathrm{datos}}{\mathrm{min}}.\frac{60\mathrm{min}}{\mathrm{h}}.\frac{12\mathrm{h}}{\mathrm{dia}}. = 144\frac{\mathrm{datos}}{\mathrm{dia}}$$

Errores/día	Otoño-Invierno	Primavera-Verano
$\boldsymbol{E}1$	1	31
$\boldsymbol{E2}$	0.5	12
$\boldsymbol{E3}$	0	0

Tabla 36 Cantidad de errores *diarios obtenidos en la simulación para móviles con $u_{EX} = 10\%$ y $u_{Res} = 0.1$*

Veamos ahora, como se modifican los valores si se reduce la exactitud del instrumento a la mitad, lo cual podría lograrse mediante las recomendaciones de las secciones anteriores. El mismo efecto puede ser logrado disponiendo medidas de 4 móviles independientes.

Probabilidad	Otoño-Invierno	Primavera-Verano
P_{e1}	0.02%	7%
P_{e2}	0.01%	2%
P_{e3}	$\ll 10^{-6}$	$\ll 10^{-6}$

Tabla 37*Probabilidades de error obtenidas en la simulación para móviles con $u_{EX} = 5\%$ y $u_{Res} = 0.1$*

Ahora, dado que las probabilidades son mucho menores, se calculan los errores esperados en una semana.

$$\mathrm{N_{enviados}} = \left(\frac{1}{5}\right)\frac{\mathrm{datos}}{\mathrm{min}}.\frac{60\mathrm{min}}{\mathrm{h}}.\frac{12\mathrm{h}}{\mathrm{dia}}.\frac{7\mathrm{dias}}{\mathrm{semana}} = 1008\frac{\mathrm{datos}}{\mathrm{semana}}$$

Errores/semana	Otoño-Invierno	Primavera-Verano
$E1$	0.2	70
$E2$	0.1	20
E 3	0	0

Tabla 38 *Probabilidades de error obtenidas en la simulación para móviles con $u_{EX} = 5\%$ y $u_{Res} = 0.1$*

La última estimación que se hará, es calcular el número aproximado N_{optimo}de móviles con exactitud u_{EX} , necesarios para estimar el UVI en un punto con una medida de performance prefijada por alguna de las probabilidades de error vistas hasta ahora.
Para ello, basta ver que N móviles que arrojen valores independientes, estarán afectados por el mismo ruido *Gaussiano* que un único instrumento con una exactitud $\sqrt{N}$ veces menor:

$$Exactitud\ equivalente = \frac{Exactitud\ individual}{\sqrt{N}}$$

Para estimar el número óptimo de móviles que cumpla cierta medida de performance, se calcula por ensayo y error la mínima exactitud equivalente necesaria para lograr el requisito, y se despeja N de la ecuación anterior.
La tabla siguiente muestra la cantidad de móvilesN_{opt}, caracterizados por una exactitud u_{EX}, necesarios para cumplir diversos criterios de calidad.

Criterio de calidad	N_{opt} (u_{EX} = 20%)	N_{opt} (u_{EX} = 15%)	N_{opt} (u_{EX} = 10%)	N_{opt} (u_{EX} = 7.5%)	N_{opt} (u_{EX} = 5%)
P_{e1}**<0.1%**	100	57	25	14	6
P_{e1}**<1%**	48	27	12	7	3
P_{e1}**<5%**	13	7	3	2	1
P_{e2}**<0.1%**	25	14	7	4	2
P_{e2}**<1%**	16	9	4	2	1
P_{e2}**<5%**	9	5	2	1	1

Tabla 39 *Cantidad óptima aproximada de móviles para satisfacer diversos criterios de calidad según la exactitud de cada móvil*

A.1.10.4. CONCLUSIONES

Dado que la incertidumbre en la medida depende del UVI, esta tiene sus mayores consecuencias negativas justamente cuando este es alto, y por tanto de mayor importancia para la población. Es por ello necesario definir un parámetro de calidad de la medida y diseñar el sistema integrado para cumplir con los requerimientos.
Para aumentar la confiabilidad de los valores presentados, es aconsejable elegir un criterio de calidad (dado por los diversos tipos de errores), y estimar el compromiso económico entre colocar varios medidores inexactos o pocos medidores precisos. Los medidores de UVI existentes al día de hoy, logran incertidumbres entre el 5%, para instrumentos de miles de dólares y baja precisión, y alrededor del 20%, para instrumentos de pocas decenas de dólares como los medidores de mano utilizados a lo largo del proyecto.
Si se tomara como criterio tener una probabilidad de dar una zona de riesgo errada, menor a uno en mil *(P_{e2}<0.1%),* podría por ejemplo, escogerse entre comprar 2 medidores de alto costo, 7 de precio mediano, o 25 de bajo costo.
La delicada relación entre incertidumbre del instrumento y cantidad de móviles necesarios es la que esconde la necesidad de haber realizado un análisis exhaustivo de la incertidumbre asociada al sensor UV. También justifica el intento de corregir la medida de cada sensor mediante variables extras estimadas por parte del servidor, como ángulos solares, espesor de la capa de ozono, temperatura, etc.

Hay que hacer énfasis en que las probabilidades tazas de error y números de móviles estimados son bastante conservadores, y que esto es solo una primera aproximación al problema. De todas maneras, presentan cotas superiores para el desempeño del sistema. De disponer de modelos más avanzados, o medidas reales, puede aplicarse la misma metodología para recalcular las probabilidades, pudiendo reutilizando parte del código ya generado. Otro camino a explorar es agregar al modelo el hecho de que las medidas altas no son tan afectadas por los errores por coseno, y por inclinación, por lo que tienen menos incertidumbre asociada que las que predice este modelo.

El estudio realizado pretende ser una introducción a aspectos económicos y matemáticos que deben ser tomados en cuenta si se quiere extender a gran escala el proyecto.

A.2. ESTIMACIÓN DEL ÁNGULO DE INCLINACIÓN DE LAS RUTAS EN URUGUAY.

El ángulo de la ruta está determinado por la pendiente longitudinal y las transversales. El resultado de dichas pendientes da el 'gradiente de drenaje'[**112**] que es el vector resultante de combinar ambas pendientes. Si bien sus valores en muchos lugares no están regulados por ley, las rutas son diseñadas bajo ciertos estándares ingenieriles [**113**]

Para Uruguay no se encontraron datos, pero esto no es problema, pues lo que se necesita es una estimación educada del ángulo de inclinación en una ruta y esto puede hacerse en base a datos de otros países. A continuación, se pasa a estimar los valores típicos de cada uno de ellos para el caso de Uruguay.

Pendiente longitudinal (en inglés 'Grade of the highway')

Se sabe que la ruta con mayor pendiente de Argentina (Ruta Nacional 7) de 6.8% (inclinación de 4°))[**114**]. Además, el valor típico de pendientes es de un 3%[**115**].

Para Uruguay se espera tener pendientes longitudinales menos empinadas, del orden de hasta 5% (3 grados)

Además, las pendientes que suelen encontrarse en las vías de tren son menores[**116**].

Pendiente transversal (en inglés 'Grade of the highway')

Está pendiente aparece cuando el móvil se mueve en una ruta, su objetivo es que el agua de lluvia se filtre hacia los costados para que la ruta se seque lo más rápidamente posible y no se inunde, Suelen valer entre 1.5% y 2% y en zonas de mucha lluvia se recomienda[**117**] que valga hasta 2.5%

Notar que si se toma como referencia ruta, esta inclinación siempre apunta hacia el mismo lado dando lugar a un error cuyo efecto puede menguarse colocando el sensor con un grado de inclinación en hacia la otra dirección. Por la forma en que GEULMóvil está construido, siempre es posible montar agrede el sensor con un pequeño ángulo de inclinación respecto a la horizontal para compensar esta pendiente.

Estimación del ángulo de inclinación.

Además de la inclinación de la ruta los efectos mecánicos del móvil pueden tener cierto efecto. Nuevamente, para estar del lado de la seguridad, y combinando los efectos anteriores, se supondrá que la inclinación es una será de hasta 4°.

Efectos rápidos en el cambio de pendiente como el paso por un lomo de burro, o que el ómnibus pase por un pozo serian filtrados por el sistema de pre-filtrado propuesto[**118**].

A.3. CODIGO MATLAB- ERROR POR COSENO

```
close all;clear all;clc
% Creo vectores de datos

m=load('RespuestaAngular.txt'); % grafica de respuesta angular
x=m(:,1);
y=m(:,2);
RespAngular_puntos=(1/100)*y(x>=0);
theta_puntos=x(x>=0);

 theta_puntos=[0 ; theta_puntos]';
 RespAngular_puntos=[1; RespAngular_puntos]';

figure
% Angulo de incidencia cenital
% Estimo respuesta angular del sensor
plot(theta_puntos,RespAngular_puntos,'r')

% theta = 0:0.05:90;
% RespAngular = spline(theta_puntos,RespAngular_puntos,theta); % Factor de correccion de la directa
theta=theta_puntos;
RespAngular=RespAngular_puntos;

% Grafica de respuesta ideal y respuesta angular
hold on
grid on
plot(theta_puntos,RespAngular_puntos,'og')
plot(theta,RespAngular,'-k','LineWidth',2)
plot(theta,cos(degtorad(theta)),'r:','LineWidth',2)
%plot(theta_puntos,cos(degtorad(theta_puntos)),'+k')
xlabel('Angulo de incidencia directa: \theta_{i}');
ylabel('Salida Relativa [%]');
legend('Respuesta angular relevada',...
'Respuesta angular interpolada',...
'Respuesta angular ideal')
title('Respuesta angular real e ideal')
%

% Factor de correccion de radiacion directa:
% Si Difusa = 0 => GLOBAL= Directa_Medida/F_directa
F_directa=RespAngular./cos(degtorad(theta));
ErrorDirecta=1-F_directa;

% La radiacion difusa es afectada por el error del coseno entre
% 0 y 90 grados. Integro en el angulo cenital para hallar
% como se fue afectada
IntegralNum = trapz(theta,F_directa.*cos(theta).*sin(theta))
IntegralDen = trapz(theta,cos(theta).*sin(theta))
F_difusa=IntegralNum/IntegralDen  % Factor de correccion de Radiacion Difusa.
ErrorDifusa=1-F_difusa
%

figure
hold on
grid on
plot(theta,100*ErrorDirecta,'r');
plot(theta,100*ErrorDifusa,'b');
```

```
xlabel('Angulo de incidencia: \theta_{i}');
ylabel('Error [%]');
legend('Error de Radiacion directa',...
'Error de Radiacion difusa')
title('Error porcentual de radiacion directa y difusa')

vectorErrores=[] ;

%Redefino theta hasta los 85 grados (cos=0.3) para no tener divergencias
F_directa=F_directa((theta<=85)) ;
theta=theta((theta<=85)) ;
%

% La calibracion fue a 23.5 grados de angulo cenital
F_directaCalibraciong= F_directa(find((theta>23)& (theta<24))); %
F_dg=linspace(0,1,1000)
FNOMg=(1-F_dg)*F_difusa+ F_dg*F_directaCalibraciong;
figure
plot(F_dg,FNOMg)
title('Factor de correccion en la calibracion')
% FNOMg=0.98; % si miro las graficas da eso
 FNOMg=1 ; % corrijo por coseno en la calibracion.

figure
for F_dg=0.1:0.1:1
Fg=(1-F_dg)*F_difusa+ F_dg*F_directa;

errorPorcentual=100*(1-FNOMg./(Fg));
max(errorPorcentual)

hold on
plot(theta,errorPorcentual)
% La grafica anterior no es realista porque la directa es baja para % % angulo altos y due supuesta constante.

end

% Estimacion mas realista: dir/global decae en el dia como un coseno

figure
% DirectaMaxima= 0.5 ;
for DirectaMaxima=0.9:0.1:0.9
F_dg = DirectaMaxima*cos(degtorad(theta));
Fg=(1-F_dg).*F_difusa+ F_dg.*F_directa;
Fg_corregidoDirecta= F_directa;
errorPorcentual=100*(1-FNOMg./(Fg));
errorPorcentual_corregido=100*(1-Fg_corregidoDirecta./(Fg));
hold on
grid on
plot(theta,errorPorcentual,'r')
plot(theta,errorPorcentual_corregido,'g')
legend('Sin ninguna correccion','Con correccion por radiacion directa')

std= std(errorPorcentual)

end
```

A.4. CODIGO MATLAB- EFECTO DE LA INCERTIDUMBRE EN LA PRESENTACIÓN DE UVI

```
close all;clc ;clear;

% Este script simula el efecto del ruido de la medida por los moviles
% de GEULMóvil en los datos dados por GEULMapa.

% Simulo que envio muchos (Mmx) datos en un unico dia tipico,
% que es lo mismo desde el punto de vista de la probabilidad
% que enviar menos datos durante varios dias tipicos.

Nmx=1e4 ; % Cantidad de medidas enviadas
exactitud= 8/100 ;
resolucion= 0.1 ;
Ures=resolucion/sqrt(3); % Incertidumbre asociada a la resolucion

epoca=0;
% 0 - Verano
% 1 -Invierno
[x,escalaReal,x_continuo,time,Nhoras]= uvSim(epoca,Nmx) ;

Uex=exactitud*x; % cada x(i) tiene su propia incertidumbre.
sigma=sqrt(Ures^2+Uex.^2); % Da un vector, con la incertidumbre de cada x
n= sigma.*randn(size(x)); % n(i) tiene el sigma de x(i)
% Para las 2 horas aproximadas al mediodia, el error por coseno e
% inclinacion disminuye, dando lugar a menor exactitud:
indiceHorasCentrales= (Nmx/2-2*round(Nmx/12):Nmx/2+2*round(Nmx/12));
n(indiceHorasCentrales)=n(indiceHorasCentrales)*5/8; % Cerca del mediodia tengo menor error por coseno.
s= x_continuo + n ; % Senhal enviada
s(s<=0)=0;

UVIrounded = round(x_continuo);
UVIrounded(UVIrounded<=1)=1 ;

 figure;hold on
 grid on
 plot(time,x_continuo,'LineWidth',5)
 plot(time,UVIrounded,'r')
 plot(time,s,'g')

xlabel('tiempo desde el amanecer (horas)')
 ylabel('Indice solar Ultravioleta (UVI)')

if (epoca==0)
 title ('Modelo de UVI diario (Verano)')
else
 title ('Modelo de UVI diario (Invierno)')
end

 legend('UVI exacto','UVI redondeado','UVI enviado')
```

```
% Decodifico la senhal redondeando
y = round(s);
y(y<=1)=1 ;
%
escalaObtenida=escalaOMS(y);

Nerrores= length(find(UVIrounded-y)) ; % Cantidad de UVI diferentes entre entrada y salida.
Pe1=100*Nerrores/Nmx

errorEscala=abs(escalaReal-escalaObtenida);
NerroresEscala=length(find(errorEscala));
Pe2=100*NerroresEscala/Nmx

NerroresEscala=length(find(errorEscala>=2));
Pe3=100*NerroresEscala/Nmx



function [UVindexRounded,y,UVindex,time,Nhoras] = uvSim(epoca,Nmx)

if epoca == 0    % Caso extremo : verano
Nhoras=13;
UvMx=9;
end

if epoca == 1   % Caso extremo : invierno
Nhoras=11 ;
UvMx=3;
end

time= linspace(0,Nhoras,Nmx);

% T=2*Nhoras ;
% UVindex=UvMx*cos((2*pi/T)*(time-Nhoras/2));
std=(Nhoras/2)/2;
UVindex=UvMx*exp(-((time-Nhoras/2).^2/std^2));


x=round(UVindex);
UVindexRounded(x==0)=1;

% Separo segun escala de OMS:
% 1 - bajo  (0, 1, 2)
% 2 - moderado (3,4,5)
% 3 - alto (6, 7)
% 4 - muy alto (8,9,10)
% 5 - extremo (11+)

y=ones(size(x));

%  y(x>0)=1 ; Linea innecesaria por como inicializo y
y( and((x>=3),(x<=5))) =2 ;
y( or( x==6,  x==7 ))=3 ;
y( and(x>=8,x<=10) )=4 ;
y( x>=11 )=5 ;

end
```

A.5. MÓDULOS DE SOFTWARE

A.5.1. PROGRAMA DE GENERACIÓN–ADQUISICIÓN DE LUZ.

```
/* Circuito
 * Pin 9 de entrada se conecta al positivo de Re
 * Fuente de emisor se conecta al pin de salida A0.
 * Fuente de receptor se conecta entre 5V y GND.
 */

const int analogInPin = A0;  // Entrada analogica conectada a la resistencia Rr.
const int analogOutPin = 9; // Salida digital, conectada a la fuente Ve.
int sensorValue = 0;
int sourceValue = 0;
void setup() {
// Inicio comunicacion serial a 9600 bps:
  Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  // Leo el valor del sensor
  sensorValue = analogRead(analogInPin);
   sourceValue = 128;
  // Controlo la fuente Ve
  analogWrite(analogOutPin, sourceValue);
  // Imprimo resultados en el monitor serial
Serial.print(" Sensor receptor = " );
  Serial.print(sensorValue);
Serial.print("\t  Fuente emisora = ");
  Serial.println(sourceValue);
  // Espera en ms
delay(10);                    }
```

A.5.2. PROGRAMA GPS[119]

Comandoparaver status, extraido del manual softwareuserguide

Pagina 164:
AT$GPSP=<status>
For parameter details refer to [1]
Responses:
$GPSP: ¡K¡K¡K (Refer to [1] for the details.)
OK
ERROR
+CME ERROR: XXX (Refer to [1] for the details.)
Examples:
Switching off GPS Receiver
AT$GPSP=0<CR>
OK
Checking the status
AT$GPSP?<CR>
$GPSP: 0
OK

PRIMER PRUEBA DE COMUNICACIÓN CON EL MODULO GSM, MEDIANTE SMS.

```
Transcripcion
OK
at
OK
atz
OK
at+cpin?
+CPIN: SIM PIN

OK
at+cpin=2919
OK
at+creg?
+CREG: 0,2

OK
at+creg?
+CREG: 0,1

OK
at+cops?
+COPS: 0,0,"ANTEL"

OK
at+cmfg=1
ERROR
at+cmgf=1
OK
at+cmgs=099102962
> Primer mensajedesde el 099279238
>
+CMGS: 2

OK
```

A.5.3. FUNCIÓN CHECKPIN

Esta función revisa si el SIM introducido en el módem, tiene o no habilitado el PIN.

```
void checkPin(){
  String ret;
//  Serial.println("#En checkPin");
  ret=enviarModem("AT+CPIN?");
  if (ret.endsWith("OK"))
    ret=ret.substring(0,ret.length()-2);
  if (ret.startsWith("+CPIN: "))
    ret=ret.substring(7);
  if (ret.startsWith("SIM PIN")){
scrollUpLcd(ERROR_DESCRIPTION[ERROR_SIMPIN]);
blinkError(ERROR_SIMPIN, true);
    }
  if (ret.startsWith("ERROR")){
scrollUpLcd(ERROR_DESCRIPTION[ERROR_NOSIM]);
blinkError(ERROR_NOSIM, true);
    }
  mostrar("CPIN:"+ret);
```

```
}
```

A.5.4. MODEM IMSI/IMEI

Estas funciones identifican a la SIM y al modem mediante sus números únicos

```
String modemIMSI(){
  String ret="";
  String devuelvo="";
  boolean ok=false;

  ret=enviarModem("AT+CIMI");
  if (ret.startsWith("ERROR"))
    blinkError(ERROR_NOSIM, true);
  if (ret.endsWith("OK")){
    ret=ret.substring(0,15);
  }
  if (ret=="){
      scrollUpLcd("Error de SIM");
      blinkError(ERROR_NOANSWER, true);
  }
  return ret;
}
```

Funcion modemIMEI

```
String modemIMEI(){
  String ret="";
 ret=enviarModem("AT#CGSN");
  if (ret.endsWith("OK"))
//    ret=ret.substring(0,15);
    ret=ret.substring(0,ret.length()-2);
  if (ret.startsWith("#CGSN: ")){
    ret=ret.substring(7);
    ret=ret.substring(0,15);
  }
  if (ret=="")
      blinkError(ERROR_NOANSWER, true);
Serial.print("Retorno del imei:");
Serial.println(ret);
  return ret;

}
```

A.6. CÓDIGO FUENTE DE LA VERSIÓN

```
// No es multitarea, ni maquina de estados.
#include <EEPROM.h>
//#include <dht11.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <LiquidCrystal.h>   // include LCD library
LiquidCrystal lcd( 8, 9, 4, 5, 6, 7 );   //Pins for the freetronics 16x2 LCD shield. LCD: ( RS, E, LCD-D4, LCD-D5, LCD-D6, LCD-D7 )
unsigned int pinSensorTemp=24;
unsigned int analogUVIPin=8;  // Entrada analogica
unsigned int ledPin1=13;      // led incorporado
unsigned int ledPin2=22;      // led de error

String versionFirmware="1.46";

//#define __DEBUG
//#define __DEBUG0
//#define __DEBUG1
//#define __PRUEBASMS

typedef struct rmc{
  String Address;
  String UTC;
  String GpsStatus;
  String LatitudS;
  String NS;
  float  Latitud;
  String LongitudS;
  String EW;
  float  Longitud;
  String Speed;
  String Course;
  String Date;
  String resto;
};

rmc rmcData;

typedef struct datosGpsUvDate{
  String LatitudInicial;
  String LongitudInicial;
//  String Latitudfinal;
//  String LongitudFinal;
  String Fecha;
  String Hora;
  float  UVI;
};

datosGpsUvDate  datosSMS;

int mayorUVI=0;


int minutos=1;
long segundos;
long segundos3;
// Timer para revisar el sensor, 2Hz
unsigned long Timer1;
```

```
// Timer para contar los segundos
const unsigned long Timer1TimeOut=1000;
// Timer para enviar SMS, en minutos minuto
unsigned long Timer2;
//const unsigned long Timer2TimeOut=15*60*minutos;
const unsigned long Timer2TimeOut=1*60*minutos;
//const unsigned long Timer2TimeOut=10*minutos;
//const unsigned long Timer2TimeOut=60*1000*minutos;
// Timer para ver si recibi un SMS, 1 minuto
unsigned long Timer3;
const unsigned long Timer3TimeOut=20;   // timer en segundos para preguntar por sms

String lcdRow0;
String lcdRow1;

//String SMSServer="099517257";
String SMSMaster="";
String SMSServer="099102962";
//String SMSServer="099517257";
String SMSMessageHeaderStart="http://www.geulmapa.edu.uy/specs/sms?geo="; //SUST_LATITUD,SUST_LONGITUD
String SMSMessageHeaderEnd="&GeoSMS";
String SMSCurrentLat="";
String SMSCurrentLong="";
String SMSCurrentDate="";
String SMSCurrentTime="";
String SMSCounterS="";
unsigned int SMSCounter=0;
String SMSCounterStatS="";
unsigned int SMSCounterStat=0;


String bufferIn;
String bufferOut;
char ch;
char chOut;
String IMSI="";
String IMEI="";
const int ERROR_NOGPSLOCK=1;
const int ERROR_NOSIM=2;
const int ERROR_SIMPIN=3;
const int ERROR_GPSCHECKSUM=4;
const int ERROR_NOGPSDATA=5;
const int ERROR_NOANSWER=6;
unsigned long totalSMS=0;
const int CADA=5;
int cuentaSMS=0;

String CRLF="\n";
const int MAX_PARAMETERES=10;
int offsetParameters[MAX_PARAMETERES];

void iniciarParametros(){
  Serial.println("#En iniciarParametros");
offsetParameters[0]=16+1;         // Telefono que emite comandos.
  offsetParameters[1]=16+1;         // Server number
offsetParameters[2]=SMSMessageHeaderStart.length()+1;
  offsetParameters[3]=SMSMessageHeaderEnd.length()+1;
  offsetParameters[4]=13+1;         //  Lat
  offsetParameters[5]=14+1;         //  Long
```

```
  offsetParameters[6]=6+1;          //  Date
  offsetParameters[7]=6+1;          //  Time
  offsetParameters[8]=32+1;         //  CounterSMSUV
  offsetParameters[9]=32+1;         //  CounterStatus
}


String ERROR_DESCRIPTION[10];

void cargarErrores(){
  ERROR_DESCRIPTION[ERROR_NOANSWER]="ERR: modem NOANS";
  ERROR_DESCRIPTION[ERROR_NOSIM]="ERR: SIM NOANS";
  ERROR_DESCRIPTION[ERROR_SIMPIN]="ERR: La SIM tiene PIN.";
  ERROR_DESCRIPTION[ERROR_GPSCHECKSUM]="ERROR: Los datos del GPS no verifican el checksum.";
  ERROR_DESCRIPTION[ERROR_NOGPSDATA]="ERR: NO GPS DATA";
  ERROR_DESCRIPTION[ERROR_NOGPSLOCK]="NO GPS LOCK";
}


void mostrarLcd(String r0, String r1) {
  if (r0 != NULL)
    lcdRow0=r0;
  if (r1 != NULL)
    lcdRow1=r1;
  lcd.clear();
  lcd.print(lcdRow0);
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print(lcdRow1);
  return;
}

void scrollUpLcd(String r1){
  lcdRow0=lcdRow1;
  lcdRow1=r1;
  mostrarLcd("","");
  delay(100);
  return;
}

void mostrar(String viene){
  Serial.println(viene);
}

void blinkError(int veces, boolean mode){
// Esta rutina se encarga de informar de alguna condicion de error.
  // mode: TRUE, loop. FALSE, una vez
  int i;
  mostrar(ERROR_DESCRIPTION[veces]);
pinMode(ledPin1, OUTPUT);
  pinMode(ledPin2, OUTPUT);
  while(true){
    for (i=1; i<=veces;i++){
      digitalWrite(ledPin1,HIGH);
      digitalWrite(ledPin2,HIGH);
      delay(200);
      digitalWrite(ledPin1,LOW);
      digitalWrite(ledPin2,LOW);
      delay(200);
    }
```

```
    delay(1000);
    if (!mode) return;
  }
}




void checkPin(){
  String ret;
//  Serial.println("#En checkPin");
  ret=enviarModem("AT+CPIN?");
  if (ret.endsWith("OK"))
    ret=ret.substring(0,ret.length()-2);
  if (ret.startsWith("+CPIN: "))
    ret=ret.substring(7);
  if (ret.startsWith("SIM PIN")){
scrollUpLcd(ERROR_DESCRIPTION[ERROR_SIMPIN]);
blinkError(ERROR_SIMPIN, true);
    }
  if (ret.startsWith("ERROR")){
scrollUpLcd(ERROR_DESCRIPTION[ERROR_NOSIM]);
blinkError(ERROR_NOSIM, true);
    }
  mostrar("CPIN:"+ret);
}

boolean cellOperator(String operReq){
  String ret="";

  ret=enviarModem("AT+COPS?");
  if (!ret.endsWith("OK")){
    return (false);
  }
  if (ret.startsWith("+COPS:")){
    ret=ret.substring(12);
    ret=ret.substring(0,operReq.length());
    scrollUpLcd("NET OPERATOR:");
    mostrar("NETWORK:"+ret);
    scrollUpLcd(ret);
    return ( ret.compareTo(operReq) == 0);
  }
  return (false);
}


String modemIMSI(){
  String ret="";
  String devuelvo="";
  boolean ok=false;

  ret=enviarModem("AT+CIMI");
  if (ret.startsWith("ERROR"))
    blinkError(ERROR_NOSIM, true);
  if (ret.endsWith("OK")){
    ret=ret.substring(0,15);
  }
  if (ret==""){
```

```
    scrollUpLcd("Error de SIM");
    blinkError(ERROR_NOANSWER, true);
  }
  return ret;
}

String modemIMEI(){
  String ret="";
  ret=enviarModem("AT#CGSN");
  if (ret.endsWith("OK"))
//    ret=ret.substring(0,15);
    ret=ret.substring(0,ret.length()-2);
  if (ret.startsWith("#CGSN: ")){
    ret=ret.substring(7);
    ret=ret.substring(0,15);
  }
  if (ret=="")
     blinkError(ERROR_NOANSWER, true);
  Serial.print("Retorno del imei:");
  Serial.println(ret);
  return ret;
}



boolean haySMS(){
   String envio;
   String retorna;
   int i;
   int j;
   int mensajeNuevo;
   String aux;
   String telefono;
   String comando;
   String parametros;
   String texto;
   String smsIndx;

envio="AT";
   retorna=enviarModem(envio);
   if (retorna=="")
     inicializarModem();
   envio = "AT+CMGF=1";
   retorna = enviarModem(envio);
   //mostrar(retorna);
   envio="AT+CMGL";
   retorna=enviarModem(envio);
   mostrar("Retorna:");
   Serial.print("(");
   Serial.print(retorna);
Serial.println(")");
   if (retorna.startsWith("AT+CMGL")){
retorna=retorna.substring(7);
     retorna.replace("\r","");
     retorna.replace("\n","");
     retorna.replace(" ","");
     Serial.print("Largo que queda:");
Serial.println(retorna.length());
   }
```

```
  Serial.print("((");
Serial.print(retorna);
  Serial.println("))");
if (retorna.equalsIgnoreCase("OK")|| retorna.length()==0){
mostrar("No hay mensajes");
    return false;
  }
  // hay mensajes.
  // Decodifico el primer mensaje nuevo
if (retorna.startsWith("+CMGL:")){
    mostrar("Vino CMGL");
    for (i=5;i<=retorna.length();i++)
      if (retorna.charAt(i) == ',') break;
// tengo la posicion de la coma
    smsIndx=retorna.substring(6,i);
    mensajeNuevo=smsIndx.toInt();
    mostrar("mensaje nuevo #"+(String)mensajeNuevo);
envio = "AT+CMGR="+smsIndx;
    envio.replace(" ","");
Serial.print(envio);
    retorna=enviarModem(envio);
    mostrar(retorna);
//     envio="at+cmgl=";
//     envio+=char(34);
//     envio+="ALL";
//     envio+=char(34);
//     retorna = enviarModem(envio);
  }

// para pruebas repetitivas
//     envio = "AT+CMGR=5";
//     retorna=enviarModem(envio);
//     mostrar(retorna);
    // decodifico el mensaje
    mostrar("Decodifico");
    for (i=10; i<retorna.length(); i++){
if (retorna[i] == 44){ // ","
        i=i+1;   // El siguiente caracter es "
        break;
      }
    }
    // tengo coma, sigue el telefono.
for (j=i+1; j<retorna.length(); j++){
if (retorna[j] == 44)
        break;
    }
    // desde i+1 hasta j-1 esta el telefono
telefono=retorna.substring(i+1,j-1);
mostrar(telefono);
    if (SMSMaster=="""){
      // El primer mensaje es el master
escribirEEProm(0,telefono);
      mostrar("Identifique master");
      return true;
    }
    j++;
//     mostrar("Queda:");
//     mostrar(retorna.substring(j+1));
// veo el comando. busco el ret.
```

```
for (i=j+1; i<retorna.length(); i++){
      if (retorna[i]==13) break;
    }
    i++;
    mostrar("Queda:");
    mostrar(retorna.substring(i));

   // Tengo un comando. Lo extraigo.
   for (j=i+1;j<retorna.length();j++){
     if (retorna[j] == 61){   // "="
//         mostrar(retorna.substring(i+1,j-1));
//         mostrar(retorna.substring(i+1,j));
        comando=retorna.substring(i+1,j);
break;
     }
   }
   if (comando.length()==0){
     // es comando sin parametros, no hubo =
comando=retorna.substring(i+1);
     if (comando.endsWith("OK"))
       comando=comando.substring(0,comando.length()-2);
     comando.replace("\n","");
     comando.replace("\r","");
     comando.replace(" ","");
}
   Serial.print("comando=");
   Serial.print(comando);
   comando.replace(" ","");
   comando.toLowerCase();
   Serial.println("["+comando+"]");
   // Si hay resto, es el parametro
//    if (parametros[parametros.length()]==13)
//       Serial.println("13");
//      parametros=parametros.substring(1,parametros.length()-1);
//    if (parametros[parametros.length()]==10)
//       Serial.println("10");
//      parametros=parametros.substring(1,parametros.length()-1);
   parametros = retorna.substring(j+1, retorna.length());
   if (parametros.endsWith("OK"))
     parametros=parametros.substring(0,parametros.length()-2);
   parametros.replace("\n","");
   parametros.replace("\r","");
   parametros.replace(" ","");
   Serial.print("parametros==");
Serial.println(parametros);
   Serial.println(comando.startsWith("status"));
if (comando.startsWith("status")){
     texto="IMEI="+IMEI+"\n";
     texto=texto+"Ver "+versionFirmware+"\n";
     texto=texto+"Lat:"+SMSCurrentLat+"\n";
     texto=texto+"Long:"+SMSCurrentLong+"\n";
     texto=texto+"Fecha:"+SMSCurrentDate+"\n";
     texto=texto+"Hora:"+SMSCurrentTime+"\n";
     texto=texto+"SMSs:"+SMSCounterS+"\n";
     mostrar(texto);
     enviarSMS(texto, telefono);
 //     enviarModem("ate0");
}
   if (telefono != SMSMaster)
```

```
      return true;

    if (comando.startsWith("server")){
      Serial.print("Recibi comando SERVER de ");
Serial.print(telefono);
      Serial.print(". Nuevo telefono para enviar SMS=");
      Serial.println(parametros);
      escribirEEProm(1,parametros);
SMSServer=parametros;
    }

   envio = "AT+CMGD="+smsIndx;
   envio.replace(" ","");
   Serial.print(envio);
   retorna=enviarModem(envio);
mostrar(retorna);
   return true;

//AT+CMGF=0
//AT+CMGL
//AT+CMGF=1
//AT+CMGR=1
//at+cmgd=1,1

}


boolean haySMSOLDONE(){
   String envio;
   String retorna;
   int i;
   int j;
   int mensajeNuevo;
   String aux;
   String telefono;

 //  return false;
envio = "AT+CMGF=1";
   retorna = enviarModem(envio);
   //mostrar(retorna);
   envio="AT+CMGL";
   retorna=enviarModem(envio);
   mostrar("-------");
   mostrar(retorna);
if (retorna.equalsIgnoreCase("OK")){
     mostrar("No hay mensajes");
//     return false;
   }
   // hay mensajes.
   // Decodifico el primer mensaje nuevo
if (retorna.startsWith("+CMGL:")){
     mostrar("Vino CMGL");
     for (i=5;i<=retorna.length();i++)
       if (retorna.charAt(i) == ',') break;
// tengo la posicion de la coma
aux=retorna.substring(6,i);
     mensajeNuevo=aux.toInt();
mostrar("mensaje nuevo"+(String)mensajeNuevo);
envio = "AT+CMGR="+aux;
```

```
    envio.replace(" ","");
Serial.print(envio);
    retorna=enviarModem(envio);
    mostrar(retorna);
//     envio="at+cmgl=";
//     envio+=char(34);
//     envio+="ALL";
//     envio+=char(34);
//     retorna = enviarModem(envio);
  }
    envio = "AT+CMGR=2";
    retorna=enviarModem(envio);
    mostrar(retorna);
// decodifico el mensaje
    mostrar("Decodifico");
for (i=10; i<retorna.length(); i++){
       if (retorna[i] == 44) // ","
         break;
    }
    // tengo coma, sigue el telefono.
for (j=i+1; j<retorna.length(); j++){
if (retorna[j] == 44)
         break;
    }
    // desde i+1 hasta j-1 esta el telefono
telefono=retorna.substring(i+1,j-1);
mostrar(telefono);
    // veo el comando. busco el ret.
for (i=j+1; i<retorna.length(); i++){
      if (retorna[i]=13) break;
    }
    mostrar("Comando:");
    mostrar(retorna.substring(i+1));


//AT+CMGF=0
//AT+CMGL
//AT+CMGF=1
//AT+CMGR=1
//at+cmgd=1,1

   return true;
}



String enviarModem(String envio){
// Envia un string por el modem
// Parametros: el string que quiero enviar.
// No lleva ENTER al final, se encarga esta funcion.
   String aux;
   String respuesta="";

   Serial1.println(envio);
   mostrar("mande:"+envio);
delay(1000);
   if (Serial1.available()>0){
      while(Serial1.available()>0){
```

```
        ch = Serial1.read();
        //delay(200);
        respuesta +=ch;
//        if (ch!=10 && ch!=13)
//          respuesta +=ch;
      }
   }
//    delay(200);
//    if (Serial1.available()>0){
//       while(Serial1.available()>0){
//         ch1 = Serial1.read();
//         delay(20);
//         respuesta +=ch;
////         if (ch!=10 && ch!=13)
////           respuesta +=ch;
//       }
//    }
   // trimeo enter al principio
   aux = respuesta.substring(0,1);
   if (aux[0]==13) respuesta=respuesta.substring(1);
   aux = respuesta.substring(0,1);
   if (aux[0]==10) respuesta=respuesta.substring(1);
   aux = respuesta.substring(0,1);
   if (aux[0]==13) respuesta=respuesta.substring(1);
   aux = respuesta.substring(0,1);
   if (aux[0]==10) respuesta=respuesta.substring(1);
   // trimeo enter al final
   aux = respuesta.substring(respuesta.length()-1);
   if (aux[0]==10) respuesta=respuesta.substring(0,respuesta.length()-1);
   aux = respuesta.substring(respuesta.length()-1);
   if (aux[0]==13) respuesta=respuesta.substring(0,respuesta.length()-1);
//    mostrar("2)EnviarModem respuesta:{"+respuesta+"}"+" largo="+respuesta.length());
return respuesta;
}


void inicializarModem(){
  String ans="";
  int i;


  for (i=1;i<=3;i++){
    Serial1.print(char(26));
    enviarModem("ath");
    ans=enviarModem("atz");
if (ans==""){
     Serial.print(i);
mostrar(")Sin respuesta del modem. Reintento");
     scrollUpLcd(ERROR_DESCRIPTION[ERROR_NOANSWER]);
delay(2000*i);
   }
   else
     break;
  }
  if (ans==="") {
scrollUpLcd(ERROR_DESCRIPTION[ERROR_NOANSWER]);
//    mostrarLcd("",);
blinkError(ERROR_NOANSWER, true);
  }
```

```
  ans=enviarModem("ate0");
}


void enviarSMS(String texto, String nTel) {
  String ret="";
  String comp="";
  char ch;
  int i;
  int tiempoSinRespuesta=0;

  if (nTel == "") nTel=SMSServer;
Serial.print("Mensajes enviados=");
  Serial.println(SMSCounter);
ret=enviarModem("ate1");
  ret=enviarModem("at+cmgf=1");
mostrar("Luego de at+cmgf=1 vino:"+ret);
if (ret.startsWith("at+cmgf=1")){
//    ret=ret.substring(13);
    ret=ret.substring(ret.length()-2);
mostrar("Me quede con:"+ret);
  }

  // error preexistente
  if (ret=="> "){
    // Hubo algun problema
      mostrar("Hubo problema"+ret);
      Serial1.print(char(26));  // fin de transmision
delay(100);
      ret=enviarModem("ATE1");
      mostrar("envio ATE1, vuelve="+ret);
      ret=enviarModem("at+cmgf=1");
      mostrar("envio at+cmgf=1, vuelve="+ret);
      Serial1.print(char(26));  // fin de transmision
      delay(500);
      Serial1.end();
      delay(500);
Serial1.begin(9600);
inicializarModem();
      return;
  }
  if (ret=="OK"){
    ret=enviarModem("at+cmgs="+nTel);
    mostrar("Luego de enviar at+cmgs, vino:"+ret);

if (ret.startsWith("at+cmgs=")){
      ret=ret.substring(ret.length()-2);
mostrar("Me quede con:"+ret);
}

    if (ret.startsWith(">")){
      //mostrar("Envio:"+texto);
      ret=enviarModem(texto);
Serial1.print(char(26));  // fin de transmision
      // Espero a que venga el resultado, no se pueden enviar otros comandos.
while(true){
        delay(500);
        Serial.print(".");
tiempoSinRespuesta++;
```

```
      if (tiempoSinRespuesta == 30){
         // busco el ERROR
         mostrar("Busco error");
         Serial.println(ret.length()-6);
for (i=ret.length()-6; i>0; i--){
           if (ret.substring(i,i+5)=="ERROR"){
             mostrar(ret.substring(i-5));
             break;
}
         }
         Serial1.print(char(26));  // fin de transmision
delay(500);
         ret=enviarModem("ATH");
         Serial1.end();
delay(500);
         Serial1.begin(9600);
         inicializarModem();
         IMEI=modemIMEI();
         scrollUpLcd("IMEI:");
         mostrar("IMEI:"+IMEI);
scrollUpLcd(String(IMEI));
         checkPin();
         IMSI=modemIMSI();
         mostrar("IMSI:"+IMSI);
         scrollUpLcd("IMSI:");
         scrollUpLcd(String(IMSI));

         return;
      }
      if (Serial1.available()>0){
        while(Serial1.available()>0){
         ch = Serial1.read();
         ret = ret + ch;
        }
      }
//       Serial.print("Largo:");
//       Serial.print(ret.length());
//       Serial.print("  queda:");
//       Serial.println(ret.substring(ret.length()-4,ret.length()-1));
      comp=ret.substring(ret.length()-4,ret.length()-1);
      Serial.println(comp);
      if(comp.startsWith("OK")){
Serial.println("Resultado del envio:"+comp);
ret = ret.substring(0,ret.length()-2);
        ret ="OK";
        Serial.println("Envio OK");
        break;
      }
//       Serial.print("Vino:[");
//       Serial.print(ret);
//       Serial.println("]");
      // Chequeo que tenga lo que quiero
//       Serial.print("Primer caracter:");
//       Serial.println(ret.charAt(0),HEX);
      if(ret.startsWith(">") || ret.startsWith(" "))
        ret=ret.substring(1);
      if(ret.charAt(0)==10 || ret.charAt(0)==13)
        ret=ret.substring(1);
      if(ret.charAt(0)==10 || ret.charAt(0)==13)
```

```
        ret=ret.substring(1);
      if (ret.startsWith("+CMGS: ")){
        mostrar(ret);
        if(ret.charAt(ret.length()-1)==10 || ret.charAt(ret.length()-1)==13){
          ret=ret.substring(0,ret.length()-1);
        }
        if(ret.charAt(ret.length()-1)==10 || ret.charAt(ret.length()-1)==13){
          ret=ret.substring(0,ret.length()-1);
        }
      }
      if(ret.endsWith("OK")){
        Serial.println("Resultado del envio:"+ret);
        ret = ret.substring(0,ret.length()-2);
        Serial.println("Envio OK");
        break;
      }
    }
  }
 }
 else{
   mostrar("Vino:"+ret);
 }
}


int leerUVI(){
int lecturaUVI=0;
 lecturaUVI=analogRead(analogUVIPin);
return lecturaUVI;
}


void escribirEEProm(int param, String valor){
int i;
 int offset=0; // Offset para guardar el parametro, lo obtengo del vector parametros.

for (i=0; i<param; i++)
offset = offset + offsetParameters[i];
 for (i=0; i<valor.length();i++){
   EEPROM.write(offset+i,(int) valor.charAt(i));
 }
 // Agrego un 00 al final
 EEPROM.write(offset+i,00);
}


String leerEEProm(int param){
 String devuelvo="";
 int i;
 int leo;
int offset=0; // Offset para leer el parametro, lo obtengo del vector parametros.

for (i=0; i<param; i++)
offset = offset + offsetParameters[i];
 while(true) {
   leo=EEPROM.read(offset);
   if (leo == 0)
     break;
   devuelvo.concat(char(leo));
```

```
    offset++;
  }
  return devuelvo;
}

void clearSMSReceived(){
  String envio;
String retorna;

  envio="AT+CMGD=1,1";
  retorna = enviarModem(envio);
  mostrar(retorna);
}

boolean CheckSum(){
  // calcula el checksum
  int i;
  int j;
  int c = 0;
  char vino[3];

  for (i=bufferIn.length(); i>=0;i--)
if (bufferIn[i] == '*') break;
  c = 0;
  for (j=1; j<i; j++)
    c ^= bufferIn[j];
  vino[0] = bufferIn[j+1];
  vino[1] = bufferIn[j+2];
  vino[2] = 0;
  if (c!= hex2int(vino)){
    Serial.print("c=");
    Serial.print(c);
    Serial.print(" vino=");
    Serial.println(hex2int(vino));
    Serial.println(bufferIn);
  }
  return (c == hex2int(vino));
}

int hex2int(char * hex){
  int valor = 0;

  if ( hex[0] >= '0' && hex[0] <= '9')
    valor += hex[0] - '0';
  else {
    if (hex[0] >= 'A' && hex[0] <= 'F')
      valor += hex[0] - 'A' + 10;
    if (hex[0] >= 'a' && hex[0] <= 'f')
      valor += hex[0] - 'a' + 10;
  }
  valor*=16;
  if (hex[1] != 0){
    if ( hex[1] >= '0' && hex[1] <= '9')
      valor += hex[1] - '0';
    else {
      if (hex[1] >= 'A' && hex[1] <= 'F')
        valor += hex[1] - 'A' + 10;
      if (hex[1] >= 'a' && hex[1] <= 'f')
valor += hex[1] - 'a' + 10;
```

```
    }
  }
  return valor;
}

boolean ProcesarLinea(){
  int i,j;
  double lat, lon;
  char ch[15];
String fechaV;  //fecha cuando no hay lock
boolean hayLock;

  //Serial.println(bufferIn);
  //rmc rmcData;
  char * str;
  char * savePtr;
char * token;
  hayLock = false;

// para pruebas desde el escritorio.
//  bufferIn="$GPRMC,093101.00,A,3454.810322,S,05608.876875,W,000.0,,051212,,,A*74";


//  Serial.println("Proceso");
  if (bufferIn.startsWith("$GPRMC")) {
//Serial.println(bufferIn);
    // proceso la linea
///rmcData.Speed = 423.32;
    //Serial.println("Es RMC");
    //Serial.println(CheckSum());
    i = 0;
    rmcData.Address = bufferIn.substring(0,6);
    i += 6+1;
    for (j=i;j<=bufferIn.length();j++)
      if (bufferIn[j]==',') break;
    rmcData.UTC = bufferIn.substring(i,j);
    rmcData.UTC = rmcData.UTC.substring(0,6);
    i = j+1;
    rmcData.GpsStatus = bufferIn.substring(i,i+1);
    i += 1+1;
    if (rmcData.GpsStatus.equals("V")){
       // the GPS is not prepared
//      mostrar("No hay lock, salgo");
      rmcData.Date=bufferIn.substring(26,32);
//#ifndef __PRUEBASMS
      Serial.println(bufferIn);
//#endif
      return false;
}
    hayLock = true;
    // ahora es hasta la coma
for (j=i;j<=bufferIn.length();j++)
      if (bufferIn[j]==',') break;
    rmcData.LatitudS = bufferIn.substring(i,j);
    i = j+1;
    rmcData.NS = bufferIn.substring(i,i+1);
i += 1+1;
    // ahora es hasta la coma
for (j=i;j<=bufferIn.length();j++)
```

```
      if (bufferIn[j]==',') break;
    rmcData.LongitudS = bufferIn.substring(i,j);
    i = j+1;
    rmcData.EW = bufferIn.substring(i,i+1);
i += 1+1;
    // ahora es hasta la coma
for (j=i;j<=bufferIn.length();j++)
      if (bufferIn[j]==',') break;
    rmcData.Speed = bufferIn.substring(i,j);
i = j+1;
    // ahora es hasta la coma
for (j=i;j<=bufferIn.length();j++)
      if (bufferIn[j]==',') break;
    rmcData.Course = bufferIn.substring(i,j);
i = j+1;
    // ahora es hasta la coma
for (j=i;j<=bufferIn.length();j++)
      if (bufferIn[j]==',') break;
    rmcData.Date = bufferIn.substring(i,j);
i = j+1;
    // tengo los datos
#ifdef __DEBUG
Serial.print("Address:"+rmcData.Address+"\n");
Serial.print("UTC:"+rmcData.UTC+"\n");
Serial.print("GpsStatus:"+rmcData.GpsStatus+"\n");
    Serial.println("Latitud:"+rmcData.LatitudS);
    Serial.print("Longitud:"+rmcData.LongitudS+"\n");
    Serial.print("Velocidad:"+rmcData.Speed+"\n");
Serial.print("Curso:"+rmcData.Course+"\n");
    Serial.print("Fecha:"+rmcData.Date+"\n");
#endif
   // Got GPS data!
   // convert NMEA Latitud to degres plus decimals.
   // First goes degrees
   ch[0] = rmcData.LatitudS[0];
   ch[1] = rmcData.LatitudS[1];
   ch[2] = 0;
   rmcData.Latitud = atof(ch);
#ifdef __DEBUG
   Serial.print("Latitud:");
   Serial.print(rmcData.Latitud,6);
   Serial.print(rmcData.NS);
   Serial.print("\n");
#endif
   // Now convert mm.mmmmmm to 0.dddddd
   for (i=2;i<=rmcData.LatitudS.length();i++){
     ch[i-2]=rmcData.LatitudS[i];
   }
   ch[i]=0;
#ifdef __DEBUG
   Serial.print("Resto:");
   Serial.println(ch);
   Serial.println(atof(ch)/60,10);
#endif
   rmcData.Latitud += atof(ch)/60;
   if (rmcData.NS.equals("S"))
     rmcData.Latitud = rmcData.Latitud* (-1);
#ifdef __DEBUG1
   Serial.print("Latitud:");
```

```
  Serial.println(rmcData.Latitud,6);
#endif

  // now convert Longitud
  ch[0] = rmcData.LongitudS[0];
  ch[1] = rmcData.LongitudS[1];
  ch[2] = rmcData.LongitudS[2];
  ch[3] = 0;
  rmcData.Longitud = atof(ch);

#ifdef __DEBUG
  Serial.print("Longitud:");
  Serial.print(rmcData.Longitud,6);
  Serial.print(rmcData.EW);
  Serial.print("\n");
#endif

  // Now convert mm.mmmmmm to 0.dddddd
  for (i=3;i<=rmcData.LongitudS.length();i++){
    ch[i-3]=rmcData.LongitudS[i];
  }
  ch[i]=0;
#ifdef __DEBUG
  Serial.print("Resto:");
  Serial.println(ch);
  Serial.println(atof(ch)/60,10);
#endif
  rmcData.Longitud += atof(ch)/60;
  if (rmcData.EW.equals("W"))
    rmcData.Longitud = rmcData.Longitud* (-1);

  if (!hayLock)
    rmcData.Date = fechaV;
#ifdef __DEBUG1
  Serial.print("Longitud:");
  Serial.println(rmcData.Longitud,6);
  Serial.print("Dia:");
  Serial.println(rmcData.Date);
  Serial.print("Hora:");
  Serial.println(rmcData.UTC);
  Serial.println(bufferIn);
#endif
 }
 return hayLock;
}



void clearDatosSMS(){
//  datosSMS.LatitudInicial="";
//  datosSMS.LongitudInicial="";
//  datosSMS.Latitudfinal="";
//  datosSMS.LongitudFinal="";
//  datosSMS.Fecha="";
//  datosSMS.Hora="";
datosSMS.UVI=-1.0;
}
```

```
String prepararSMS() {
  String envio;
  char auxi0[20];

  Serial.print("datosSMS.UVI=");
  Serial.println(datosSMS.UVI);
  envio=SMSMessageHeaderStart;
datosSMS.LatitudInicial.trim();
envio+=datosSMS.LatitudInicial;
  envio+=",";
  datosSMS.LongitudInicial.trim();
  envio+=datosSMS.LongitudInicial;
  envio+=SMSMessageHeaderEnd;
  envio+=CRLF;
  envio+=IMEI;
  envio+=CRLF;
  envio+=datosSMS.Fecha.substring(0,2)+"-"+datosSMS.Fecha.substring(2,4)+"-20"+datosSMS.Fecha.substring(4,6);
  envio+=" ";
  envio+=datosSMS.Hora.substring(0,2)+":"+datosSMS.Hora.substring(2,4)+":"+datosSMS.Hora.substring(4,6);
  envio+=CRLF;
  envio+=versionFirmware;
  envio+=CRLF;
  envio+=dtostrf(datosSMS.UVI, 5, 0, auxi0);
  Serial.println("=================");
  Serial.println(envio);
  Serial.println("=================");

return envio;
}

float calibracion(int lectura){
float retorna=0;
  retorna= 1.5/40*lectura;
  return retorna;
}

void setup()
{
  String netOperator="";

  Serial.begin(9600);     // comunicacion con el computador host

Serial.print("freeRam()en setup inicial=");
  Serial.println(freeRam());

  lcd.begin(16, 2);

cargarErrores();
  Serial.println("GEULMóvil 2012-2013, version " + versionFirmware);
       //   1234567890123456
  mostrarLcd("GEULMóvil v"+ versionFirmware,"Iniciando parametros");
  delay(1000);
 // lcd.print("2012-2013, ver " + versionFirmware);
  Serial1.begin(9600);    // comunicacion con el modem
  Serial2.begin(9600);    // comunicacion con el gps
bufferIn="";
  bufferOut="";
  iniciarParametros();
  SMSMaster="";
```

```
//  SMSServer="";
//  SMSMessageHeaderStart="";
//  SMSMessageHeaderEnd="";
  SMSCurrentLat="";
  SMSCurrentLong="";
  SMSCurrentDate="";
  SMSCurrentTime="";
  SMSCounterS="";
  SMSCounter=0;
  SMSCounterStatS="";
  SMSCounterStat=0;
//  escribirEEProm(0,SMSMaster);
// escribirEEProm(1,SMSServer);
//  escribirEEProm(2,SMSMessageHeaderStart);
//  escribirEEProm(3,SMSMessageHeaderEnd);
//  escribirEEProm(4,SMSCurrentLat);
//  escribirEEProm(5,SMSCurrentLong);
//  escribirEEProm(6,SMSCurrentDate);
//  escribirEEProm(7,SMSCurrentTime);
//  escribirEEProm(8,SMSCounterS);
//  escribirEEProm(9,SMSCounterStatS);
  SMSMaster="";
  SMSMaster=leerEEProm(0);
  SMSServer="";
  SMSServer=leerEEProm(1);
  SMSMessageHeaderStart="";
  SMSMessageHeaderStart=leerEEProm(2);
  SMSMessageHeaderEnd="";
  SMSMessageHeaderEnd=leerEEProm(3);
  SMSCurrentLat="";
  SMSCurrentLat=leerEEProm(4);
  SMSCurrentLong="";
  SMSCurrentLong=leerEEProm(5);
  SMSCurrentDate="";
  SMSCurrentDate=leerEEProm(6);
  SMSCurrentTime="";
  SMSCurrentTime=leerEEProm(7);
  SMSCounterS="";
  SMSCounterS=leerEEProm(8);
  SMSCounter=SMSCounterS.toInt();
  SMSCounterStatS="";
  SMSCounterStatS=leerEEProm(9);
  SMSCounterStat=SMSCounterStatS.toInt();
  //SMSServer = "099517257";
  Serial.println("SMSMaster="+SMSMaster);
  Serial.println("SMSServer="+SMSServer);
  Serial.println("SMSMessageHeaderStart="+SMSMessageHeaderStart);
  Serial.println("SMSMessageHeaderEnd="+SMSMessageHeaderEnd);
  Serial.println("SMScurrentLat="+SMSCurrentLat);
  Serial.println("SMSCurrentLong="+SMSCurrentLong);
  Serial.println("SMSCurrentDate="+SMSCurrentDate);
  Serial.println("SMSCurrentTime="+SMSCurrentTime);
  Serial.print("SMSCounter=");
  Serial.println(SMSCounter);
  Serial.println("SMSCounterS="+SMSCounterS);
  Serial.println("SMSCounterStat="+SMSCounterStat);
  Serial.println("SMSCounterStatS="+SMSCounterStatS);

// rutina de inicio de modem
```

```
  scrollUpLcd("Inic modem");
  inicializarModem();
  scrollUpLcd("Modem OK");
  netOperator="ANTEL";
  cellOperator(netOperator);
  IMEI=modemIMEI();
  scrollUpLcd("IMEI:");
  mostrar("IMEI:"+IMEI);
  scrollUpLcd(String(IMEI));
  checkPin();
  IMSI=modemIMSI();
mostrar("IMSI:"+IMSI);
  scrollUpLcd("IMSI:");
  scrollUpLcd(String(IMSI));


clearDatosSMS();
  // Elimino los mensajes anteriores
//  clearSMSReceived();

Timer1=millis();
  Timer2=millis();
  Timer3=millis();
segundos=0;
  Serial.print("freeRam()en setup final=");
Serial.println(freeRam());
}

int freeRam () {
  extern int __heap_start, *__brkval;
  int v;
  return (int) &v - (__brkval == 0 ? (int) &__heap_start : (int) __brkval);
}

void loop() // run over and over
{
  int UVIleido=0;
  float UVIcalculado=0;
  String envio="";
int i=0;
  boolean hayCambio;
  char auxi0[20];
  String muestro="";
  static boolean toca=false;
  static long checkGPS=0;
unsigned long faltanSecs=0;


  // cada segundo reviso indice UV
if (millis()-Timer1 >= Timer1TimeOut){
   Serial.print("freeRam()en loop =");
Serial.println(freeRam());
   UVIleido=0;
   UVIleido=leerUVI();
//    if (UVIleido>50) UVIleido=0;
//#ifndef __PRUEBASMS
   Serial.print("UVI leido:");
   Serial.println(UVIleido);
```

```
   UVIcalculado=calibracion(UVIleido);
   Serial.print("UVI calculado:");
   Serial.println(UVIcalculado);
//#endif
   segundos++;
   segundos3++;
//#ifndef __PRUEBASMS
//    mostrar("Seg:"+String(segundos));
//#endif
   if (toca) {
     faltanSecs=(Timer2TimeOut-segundos);
//#ifndef __PRUEBASMS
//      envio="Faltan Segs:"+String(faltanSecs);
//      mostrar(envio);
//#endif
     mostrarLcd("UVI "+String(UVIleido)+char(B10100101),"Faltan "+String(faltanSecs)+" Segs");
   }
   else{
     mostrarLcd("Lat:  " + datosSMS.LatitudInicial,"Long:" + datosSMS.LongitudInicial);
   }
//    Serial.print("checkGPS=");
//    Serial.println(checkGPS);
   if (checkGPS == 0){
     Serial.println("checkGPS=0");
     blinkError(ERROR_NOGPSDATA, true);
   }
//    else{
//      Serial.println(bufferIn);
//    }

   if (datosSMS.UVI < 0){
     blinkError(ERROR_NOGPSLOCK, false);
   }
   Serial2.flush();
toca = !toca;
   Timer1=millis();

  }

  // Cada minuto reviso si recibi un sms
//  if (segundos*1000 > Timer3TimeOut){
  if (segundos3 > Timer3TimeOut){
    // Vemos si recibimos un mensaje
    Serial.println("----->Preguntando por sms");
    if (!haySMS())
      Serial.println("No hay SMS nuevos");
    segundos3=0;
  }

  // Cada X minutos envio un mensaje de texto con la info
//  if (segundos*1000 > Timer2TimeOut){
  if (segundos > Timer2TimeOut){
      if (datosSMS.UVI >=0) {
// Envio el sms
        envio="";
        envio=prepararSMS();
        scrollUpLcd("Enviando SMS");

        enviarSMS(envio,SMSServer);
```

```
      // Actualizo cantidad de mensajes enviados
      SMSCounter++;
sprintf(auxi0,"%d",SMSCounter);
      SMSCounterS=auxi0;
// Actualizo registros EEProm
      escribirEEProm(4,SMSCurrentLat);
escribirEEProm(5,SMSCurrentLong);
      escribirEEProm(6,SMSCurrentDate);
      escribirEEProm(7,SMSCurrentTime);
      escribirEEProm(8,SMSCounterS);

   //    mostrar(String(Timer2TimeOut));
scrollUpLcd("SMS Enviado");
      clearDatosSMS();
     }
   segundos=0;
  }

 /*
  // estas son las respuestas desde el modem
if (Serial1.available()>0){
     while(Serial1.available()>0){
       ch = Serial1.read();
       Serial.print(ch);
}
  }

 */

  // estos son los comandos que mando si recibo por USB (DEBUG)
if (Serial.available()>0){
     while(Serial.available()>0){
       chOut = Serial.read();
       bufferOut = bufferOut + chOut;
//       Serial1.print(chOut); //Display the Serial Number in HEX
       if (chOut == 10){
         Serial1.println(bufferOut);
}
     }
  }

  // Aca proceso la info del GPS
if (Serial2.available()>0){
   while(Serial2.available()>0){
     ch = Serial2.read();
     bufferIn = bufferIn + ch;
     checkGPS=bufferIn.length();
//    Serial.print(ch, HEX); //Display the Serial Number in HEX
if (ch == 10){
       // Si no empieza con $ descarto
while ((bufferIn[0] != '$') && (bufferIn.length()>0)) {
         bufferIn = bufferIn.substring(1);
       }
#ifdef __DEBUG0
       Serial.print(bufferIn);
#endif
//       if (CheckSum()){
         if (ProcesarLinea()){
// Tengo lock del GPS
```

```
        // Guardo los datos de esta ubicacion en memoria
SMSCurrentLat=dtostrf(rmcData.Latitud, 10, 6, auxi0);
        SMSCurrentLong=dtostrf(rmcData.Longitud, 11, 6, auxi0);
        SMSCurrentDate=rmcData.Date;
        SMSCurrentTime=rmcData.UTC;

//          if (true) {
        if (UVIleido>datosSMS.UVI) {
mostrar("Guardo nuevo maximo");
          Serial.print("UVIleido=");
          Serial.println(UVIleido);
          Serial.print("datosSMS.UVI=");
          Serial.println(datosSMS.UVI);

          Serial.print("rmcData.Date=");
          Serial.println(rmcData.Date);
          datosSMS.Fecha = rmcData.Date;
          datosSMS.Hora = rmcData.UTC;
//            datosSMS.UVI = (float)UVIleido;
          datosSMS.UVI = UVIcalculado;
          datosSMS.LatitudInicial = dtostrf(rmcData.Latitud, 10, 6, auxi0);
          datosSMS.LongitudInicial = dtostrf(rmcData.Longitud, 11, 6, auxi0);
} // fin de chequear cambio del sensor
        } // fin de procesar la info del GPS
//       }
//       else {
//         blinkError(ERROR_GPSCHECKSUM, false);
//         Serial2.flush();
//       }
      bufferIn = "";
//     Serial.print("\n");
}
   }
  }
}
```

A.7. CÓDIGO QUE PROCESA UNA LÍNEA, SI ES UN MENSAJE GPRMC .

```
boolean ProcesarLinea(){
  int i,j;
  double lat, lon;
  char ch[15];
String fechaV;  //fecha cuando no hay lock
boolean hayLock;

  //Serial.println(bufferIn);
  //rmc rmcData;
  char * str;
  char * savePtr;
char * token;
hayLock = false;

// para pruebas desde el escritorio.
//  bufferIn="$GPRMC,093101.00,A,3454.810322,S,05608.876875,W,000.0,,051212,,,A*74";

  //  Serial.println("Proceso");
  if (bufferIn.startsWith("$GPRMC")) {
//Serial.println(bufferIn);
    // proceso la linea
///rmcData.Speed = 423.32;
    //Serial.println("Es RMC");
    //Serial.println(CheckSum());
    i = 0;
    rmcData.Address = bufferIn.substring(0,6);
    i += 6+1;
    for (j=i;j<=bufferIn.length();j++)
      if (bufferIn[j]==',') break;
    rmcData.UTC = bufferIn.substring(i,j);
    rmcData.UTC = rmcData.UTC.substring(0,6);
    i = j+1;
    rmcData.GpsStatus = bufferIn.substring(i,i+1);
    i += 1+1;
    if (rmcData.GpsStatus.equals("V")){
       // the GPS is not prepared
//      mostrar("No hay lock, salgo");
      rmcData.Date=bufferIn.substring(26,32);
//#ifndef __PRUEBASMS
      Serial.println(bufferIn);
//#endif
      return false;
}
    hayLock = true;
    // ahora es hasta la coma
for (j=i;j<=bufferIn.length();j++)
      if (bufferIn[j]==',') break;
    rmcData.LatitudS = bufferIn.substring(i,j);
    i = j+1;
    rmcData.NS = bufferIn.substring(i,i+1);
i += 1+1;
    // ahora es hasta la coma
for (j=i;j<=bufferIn.length();j++)
      if (bufferIn[j]==',') break;
    rmcData.LongitudS = bufferIn.substring(i,j);
    i = j+1;
    rmcData.EW = bufferIn.substring(i,i+1);
```

```
i += 1+1;
   // ahora es hasta la coma
for (j=i;j<=bufferIn.length();j++)
     if (bufferIn[j]==',') break;
   rmcData.Speed = bufferIn.substring(i,j);
i = j+1;
   // ahora es hasta la coma
for (j=i;j<=bufferIn.length();j++)
     if (bufferIn[j]==',') break;
   rmcData.Course = bufferIn.substring(i,j);
i = j+1;
   // ahora es hasta la coma
for (j=i;j<=bufferIn.length();j++)
     if (bufferIn[j]==',') break;
   rmcData.Date = bufferIn.substring(i,j);
i = j+1;
   // tengo los datos
#ifdef __DEBUG
Serial.print("Address:"+rmcData.Address+"\n");
Serial.print("UTC:"+rmcData.UTC+"\n");
Serial.print("GpsStatus:"+rmcData.GpsStatus+"\n");
   Serial.println("Latitud:"+rmcData.LatitudS);
   Serial.print("Longitud:"+rmcData.LongitudS+"\n");
   Serial.print("Velocidad:"+rmcData.Speed+"\n");
Serial.print("Curso:"+rmcData.Course+"\n");
   Serial.print("Fecha:"+rmcData.Date+"\n");
#endif
  // Got GPS data!
  // convert NMEA Latitud to degres plus decimals.
  // First goes degrees
  ch[0] = rmcData.LatitudS[0];
  ch[1] = rmcData.LatitudS[1];
  ch[2] = 0;
  rmcData.Latitud = atof(ch);
#ifdef __DEBUG
  Serial.print("Latitud:");
  Serial.print(rmcData.Latitud,6);
  Serial.print(rmcData.NS);
  Serial.print("\n");
#endif
  // Now convert mm.mmmmmm to 0.dddddd
  for (i=2;i<=rmcData.LatitudS.length();i++){
    ch[i-2]=rmcData.LatitudS[i];
  }
  ch[i]=0;
#ifdef __DEBUG
  Serial.print("Resto:");
  Serial.println(ch);
  Serial.println(atof(ch)/60,10);
#endif
  rmcData.Latitud += atof(ch)/60;
  if (rmcData.NS.equals("S"))
    rmcData.Latitud = rmcData.Latitud* (-1);
#ifdef __DEBUG1
  Serial.print("Latitud:");
  Serial.println(rmcData.Latitud,6);
#endif

  // now convert Longitud
```

```
  ch[0] = rmcData.LongitudS[0];
  ch[1] = rmcData.LongitudS[1];
  ch[2] = rmcData.LongitudS[2];
  ch[3] = 0;
  rmcData.Longitud = atof(ch);
#ifdef __DEBUG
  Serial.print("Longitud:");
  Serial.print(rmcData.Longitud,6);
  Serial.print(rmcData.EW);
  Serial.print("\n");
#endif

  // Now convert mm.mmmmmm to 0.dddddd
  for (i=3;i<=rmcData.LongitudS.length();i++){
    ch[i-3]=rmcData.LongitudS[i];
  }
  ch[i]=0;
#ifdef __DEBUG
  Serial.print("Resto:");
  Serial.println(ch);
  Serial.println(atof(ch)/60,10);
#endif
  rmcData.Longitud += atof(ch)/60;
  if (rmcData.EW.equals("W"))
    rmcData.Longitud = rmcData.Longitud* (-1);

  if (!hayLock)
    rmcData.Date = fechaV;
#ifdef __DEBUG1
  Serial.print("Longitud:");
  Serial.println(rmcData.Longitud,6);
  Serial.print("Dia:");
  Serial.println(rmcData.Date);
  Serial.print("Hora:");
  Serial.println(rmcData.UTC);
  Serial.println(bufferIn);
#endif
 }
 return hayLock;
}
```

A.8. COMANDOS AT

COMANDOS AT UTILIZADOS	
ATH	Corta la comunicación.
ATZ	Inicializa el modem a los valores existentes en la flash
ATE0	Deshabilita el ECO de los comandos enviados.
AT+COPS?	Retorna el operador actual seleccionado.
AT+CIMI	Devuelve el valor del Internal Mobile Subscriber Identity almacenado en la SIM
AT#CGSN	Devuelve el número de serie o IMEI del módem celular.
AT+CMGF	Habilita o deshabilita el envio de notificaciones no solicitadas
AT+CMGL	Lista los mensajes recibidos por SMS
AT+CMGR	Lee un mensaje SMS determinado
AT+CMGS	Envía un mensaje SMS a la red.
AT+CMGD	Elimina un mensaje SMS de la memoria de la SIM

Tabla 40 - Comandos AT Utilizados

A.9. PRUEBAS EXTRAS DE UV.

A.9.1. CONSTRUCCIÓN DEL PAR EMISOR-RECEPTOR INFRARROJO PARA SIMULAR UN SENSOR ANALÓGICO DE ULTRAVIOLETA.

A.9.1.1. INTRODUCION

Sabiendo que la salida del sensor adquirido es un voltaje, se realizó un circuito que teniendo un diodo emisor infrarrojo y un diodo receptor infrarrojo, simulaba el comportamiento del sensor.

Para digitalizar la señal de la salida de receptor se utilizó una de las patas de conversión ADC de las 16 que posee.

Para las pruebas de conexión de módulos, es necesario conocer la señal que entra al sensor para luego corroborar el valor de salida. Para ello sería deseable tener una señal controlada a la entrada del sensor, que luego fuese sensada, para que dicha salida pueda ser procesada por el resto del sistema. Además, no se posee un generador artificial (controlado) de luz UV, por lo que también es deseable un dispositivo que responda a cierta señal fácil de controlar.

Por las consideraciones anteriores se decidió el siguiente arreglo:

- Circuito generador de luz infrarroja (izquierda), controlado digital y/o manualmente para simular el efecto de la luz solar.
- Circuito receptor de luz infrarroja (derecha). Simula al sensor de UVI.

Dicho sistema se eligió por poseer una estructura física similar a la de un receptor UV, gran flexibilidad al generar señales de entrada y simplicidad.

Antes de continuar con la descripción del circuito, hay que destacar que cuando no eran necesarias simulaciones realistas, se sustituyo al modulo UV por una fuente artificial de datos digitales generados directamente por computador.

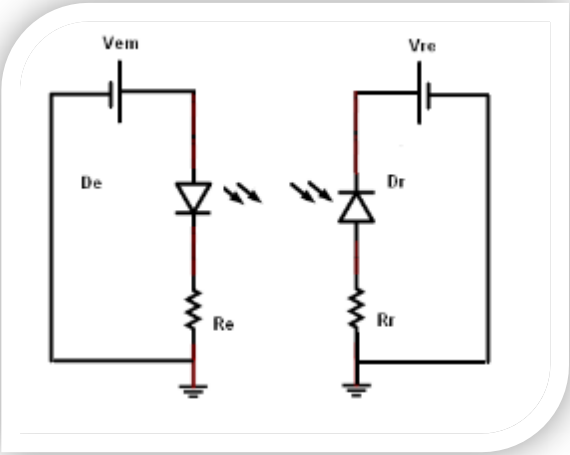


Figura 97 Sistema Emisor-Receptor de Luz Simulando Sensor UV

A.9.1.2. FUNCIONAMENTO DEL PAR EMISOR-RECEPTOR

Diodo emisor:*De* es un LED infrarrojo, *polarizado en directo* cuya característica voltaje corriente es similar a la de un diodo normal. Emite luz de forma aproximadamente proporcional a la corriente por sus bornes.

Diodo receptor: *Dr* es un fotodiodo infrarrojo, *polarizado en inverso*, que se modela como una fuente de corriente con la misma polaridad que la fuente *Vre* y cuyo valor es proporcional a la intensidad de luz infrarroja que lo ilumina.

Existen dispositivos más avanzados para modelar el comportamiento de un fotodiodo, pero para nuestro cometido se escogió el más simple, formado por un diodo en paralelo a una fuente de corriente.

Si bien mediante este modelo, la descripción matemática del circuito es simple, se evitará trabajar con ecuaciones.

Basta ver que hay varias formas de controlar la intensidad luz que le llega al receptor *Dr*:

1. Variar *Vem*, manteniendo siempre a De em directo.
2. Variar *Re* manualmente mediante um preset.
3. Cambiar la posición relativa entre *De* y *Dr,* o intercalar un filtro infrarrojo entre ellos.

Las formas 1 y 2 inciden directamente en la corriente por De, modificando la intensidad de luz emitida. El método 3 aumenta o disminuye la intensidad de luz que le llega al receptor. Cualquiera de las 3 maneras de controlar la intensidad de luz puede realizarse manualmente para comprobar el funcionamiento del circuito. El método 1 presenta la virtud de ser el más fácil de automatizar.

Dado que el diodo Dr se comporta como una fuente de corriente proporcional a la luz incidente, el voltaje por Rr será linealmente dependiente a la luz emitida luz. La constante de proporcionalidad es involucradas dependen de parámetros de los diodo, así como de la geometría del circuito.

Se diseñó un sistema que alimenta el circuito con la salida de un Arduino, e *independientemente* recoge por el puerto serial el voltaje digitalizado proveniente de Re.

De esta manera se tiene un sistema que simula una fuente de luz controlada interactuando con un sensor que devuelve datos digitales por el puerto serial.

La [**Error! Reference source not found.**] es una foto donde se muestra el circuito armado, junto a con las conexiones al Arduino.

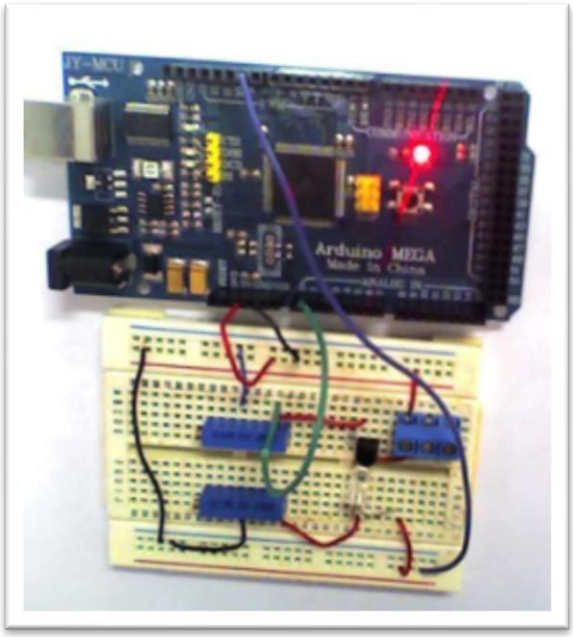


Figura 98 Circuito de Prueba Arduino – Sensor UV

A.9.2. COMPARACION ENTRE DOS SENSORES MANUALES

A.9.2.1. INTRODUCCIÓN

Durante la mañana del domingo 9/6/2013 se tomaron medidas con dos de los sensores manuales que disponía el grupo para corroborar nuevamente su funcionamiento.
Para ello, se recorrió Montevideo en auto y se fueron tomando datos de manera manual. Las bajas en el índice percibido se deben a pasajes por lugares con árboles, pasaje por lugares donde los edificios tapaban el sol. De hecho, en algunas de las medidas, se estaciono adrede en lugares con visibilidad del sol limitada para obtener mayor variabilidad. La recorrida tuvo también otro objetivo en mente, pues permite dar una noción del UVI que envía GEULMóvil en una recorrida del móvil dentro de una ciudad.
Los minutos cercanos al inicio, alrededor de 10:40 am, se correspondieron a los momentos de mayor luminosidad del día. Luego, el cielo comenzó a nublarse, hasta que tres horas después comenzó a llover y se interrumpieron las medidas.

A.9.2.2. RESULTADOS

La curva de UVI medido en función del tiempo se muestra en [Figura 99], interpolada por Splines, para visualizar mejor las curvas, igualando a cero los instantes en que la interpolación daba menor que cero.
Observar que se intento tomar medidas equi-espaciadas, pero no siempre era posible estacionar el auto para tomar la medida en el tiempo deseado.
Notar como en la mayoría de los casos, el sensor 2 genera una lectura mayor al sensor 1.

En la[Figura 100] se puede apreciar una relación lineal aproximada de la medida del sensor 2 en función de la del sensor 1, calculada mediante el método de mínimos cuadrados.

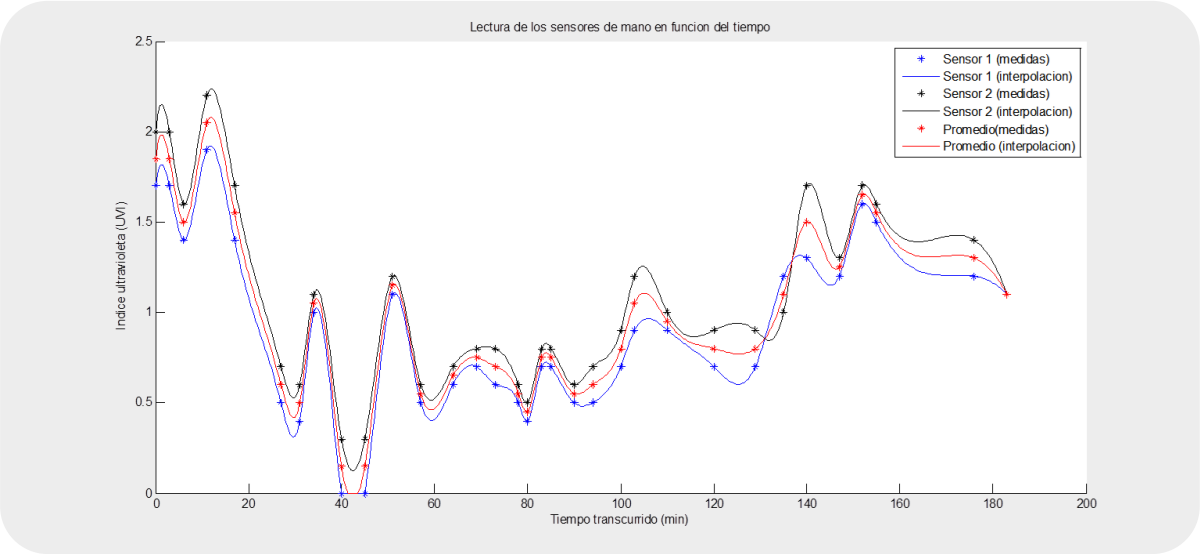


Figura 99 Grafica UVI vs Tiempo, hora inicio 10:30, día 16/6/2013 - Datos originales e interpolación con Splines Cúbicos

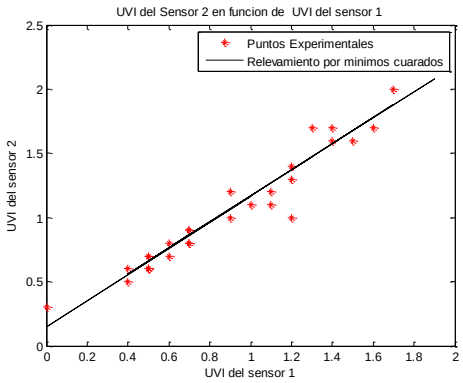


Figura 100 Relación Lineal del Sensor 2 en función del Sensor 1

La relación lineal entre las lecturas es entonces:

$$UV_2 = 0.92.UV_2 + 0.2$$

Además, el factor de correlación entre las medidas es de 97.4%, por lo que las medidas de ambos sensores se consideran satisfactoriamente correlacionadas.

A.9.2.3. CONCLUSIONES

Se corroboró que las medidas de ambos sensores de mano están altamente correlacionadas entre sí. Cabe destacar que esto en si no garantiza el buen funcionamiento como medidores de UVI, pues ambos sensores podrían tener una dependencia similar a factores como la temperatura, y la intensidad de luz visible incidente que haga que estos den valores similares pero similarmente alejados del UVI que se desea medir.
Los códigos de Matlab utilizados para los cálculos se pueden ver en el anexo A.13

A.10. DISEÑO REGULADOR DE VOLTAJE

A.10.1. INTRODUCCIÓN

Como se explica en la sección de consideraciones para la elección de voltaje de alimentación, se requiere disponer de una fuente estable y robusta de 7V a partir de la tensión proporcionada por la batería del auto o camión (12V o 24V respectivamente). Para ello se debe diseñar un regulador de voltaje, que implica la elección de componentes eléctricas y térmicas.

El regulador de voltaje usado, cuyo uso se justicia más adelante es un LM317, en su empaquetado plástico de tres patas (TO-220)

A.10.2. ESPECIFICACIONES

- Se requiere un voltaje de salida de 7V.
- Voltaje nominal de alimentación del regulador: 24 V.
- Voltaje máximo de alimentación del regulador: 28V (voltaje máximo de alternador).
- Corriente RMS nominal exigida al regulador: Alrededor de 240 mA, medidos y corroborados por estimaciones teoricas. Se diseña para 270mA.

A.10.3. FUNCIONAMIENTO DEL REGULADOR LM317

En operación, el LM317 desarrolla un voltaje de referencia de 1.25V , ver Figura 101, entres sus patas OUT y ADJ. Dicho voltaje de referencia se le impone al resistor R1 , y , dado que el voltaje es constante, por el resistor R2 fluye una corriente constante generando una tensión de salida dada por :

$$V_{OUT} = V_{REF}.\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + I_{ADJ}.R_2$$
$$V_{REF} = 1.25V$$
$$I_{ADJ} = 100\mu A$$

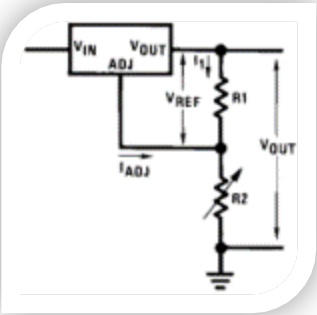


Figura 101 - Detalle de Corriente y Voltaje involucrados en el funcionamiento del regulador LM317

El LM317 posee una baja corriente de ajuste IADJ (aproximadamente 0.1mA) que es constante en la operación del componente.

A.10.4. DISEÑO ELÉCTRICO: ELECCIÓN DE LAS RESISTENCIAS:

- Se utilizan resistencias serie E12
- En la mayoría de los diseños, se recomienda $R_1 = 240\Omega$, por lo que se eligió un valor similar para tener el voltaje deseado.

El voltaje de salida está dado por:

$$V_{OUT} = V_{REF}.\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + I_{ADJ}.R_2$$

Se busca un voltaje de salida de 7V aproximadamente y el método de diseño es iterativo. Despreciando el término de error $I_{ADJ}.R_2$ se despeja para R_2/R_1.

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{V_{OUT}}{V_{REF}} - 1 = 4{,}6$$

Si se fijara R_1en 240Ω, se tendría un valor de R_2de 1104Ω. Eligiendo un valor de 1200 Ω para R_2se vuelve a hallar el valor de R_1, dando 261 Ω. El valor más cercano de la serie E12 es 270 Ω. Del razonamiento anterior, se eligen los siguientes valores de resistencia:

R_1 = 270Ω
R_2= 1.2 KΩ.

De esa manera, ahora teniendo en cuenta el término de error y el valor de R2 se tiene:

V_{OUT}= 6.9 V

Dicho voltaje, mientras se mantenga constante, es suficiente, pues como se especifica en la sección de consideraciones de elección de Vcc, no se precisa un valor exacto de 7V. Por esa misma razón, se prescinde de un análisis detallado del error en este Vcc.

Entonces, el voltaje de alimentación para las etapas posteriores del sistema será de alrededor de 6.9 V
Dicho voltaje de salida, fija como especificación una tensión mínima de entrada de 10V (dado por la hoja de datos del LM 317).

A.10.5. DISEÑO TÉRMICO: REQUERIMIENTOS DE DISIPACIÓN TÉRMICA.

Los reguladores LM317 tienen un sistema térmico de apagado interno de apagado para prevenir que el aparato se sobrecaliente. Dependiendo de la potencia que disipe el regulador, puede necesitarse un disipador. El siguiente procedimiento evalúa si dicho disipador es necesario, y en caso de serlo, da el valor mínimo de su resistencia térmica.[120][121]

El la Figura 102 se muestran las corrientes y voltajes de interés para el cálculo de los parámetros térmicos.

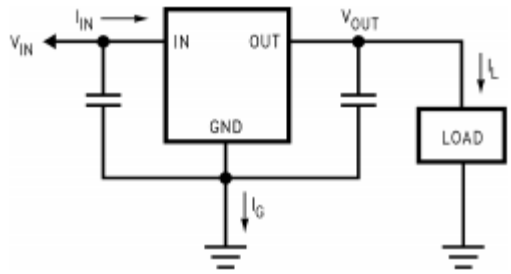


Figura 102 - Corrientes y Voltajes para Calculo de Parámetros Térmicos

La carga LOAD representa el resto del sistema, o sea , las etapas posteriores de GEULMapa. La corriente consumida por dichas etapas se estima en el Capítulo 8.2.8 . En resumen:

Consumo RMS nominal = 240mA

Dicho consumo fue estimado y se corroboró con las medidas realizadas en el Anexo A.12.5

Por seguridad, se calcula la potencia disipada suponiendo que el consumo de corriente es un 10% mayor:

Consumo RMS nominal usado = 270mA

La potencia efectiva máxima por el regulador se calcula como :

$$P_D = [(V_{IN} - V_{OUT}) \times I_{\square}] + (V_{IN} \times I_G) = 7V \times 270mA = 1.9W \quad \|Sistema\ de\ 12V\|$$
$$P_D = [(V_{IN} - V_{OUT}) \times I_L] + (V_{IN} \times I_G) = 21V \times 270mA = 5.7W \quad \|Sistema\ de\ 24V\|$$

Se desprecia el segundo término pero en contrapartida se diseña para el voltaje máximo de entrada (voltaje máximo del alternador).

El siguiente parámetro de interés es el aumento permisible de temperatura, que está dado por:

$$T_{R(MAX)} = T_{J(MAX)} - T_{A(MAX)}$$

Donde $T_{J(MAX)}$ es un parámetro del regulador que se encuentra en su hoja de datos. $T_{A(MAX)}$ es la temperatura ambiente máxima en la que se planea usar el aparato.

$T_{J(MAX)}$ = 125˚C (Encapsulado TO-220)

$T_{A(MAX)}$= 45˚C (Poner número de tabla)

$T_{R(MAX)} = T_{J(MAX)} - T_{A(MAX)} = 80$˚C

Se calcula el parámetro θ_{JA} , máximo valor permisible para la resistencia térmica entre el integrado y el ambiente y se compara con el rating del empaquetado del 317:

$$\theta_{JA} = \frac{T_{R(MAX)}}{P_D} = \frac{80°C}{1.9W} = 42\frac{°C}{W} < 50\frac{°C}{W} = \theta_{JA(TO-220)} \|Sistema\ de\ 12V\|$$

$$\theta_{JA} = \frac{T_{R(MAX)}}{P_D} = \frac{80°\text{C}}{5.7W} = 14\frac{°\text{C}}{W} < 50\frac{°\text{C}}{W} = \theta_{JA(TO-220)} \| Sistema\ d\ 24V \|$$

En ambos casos es necesario un disipador. El rating del disipador (para 24V) está dado por:

$$\theta_{HA} \leq \theta_{JA} - (\theta_{CH} + \theta_{IC})$$

Donde θ_{Jc} es un parámetro del integrado y su empaquetado [ref, TI], disponible en la hoja de daros, y θ_{CH} es la resistencia térmica del área de contacto entre el disipador y el empaquetado. En nuestro caso el contacto se realiza con mica para disminuir la resistencia térmica.

Se necesita entonces un disipador con resistencia térmica de:

$$\theta_{HA} \leq 42\frac{°\text{C}}{W} - \left(1\frac{°\text{C}}{W} + 3\frac{°\text{C}}{W}\right) = 38\frac{°\text{C}}{W} \| Sistema\ de\ 12V \|$$

$$\theta_{HA} \leq 14\frac{°\text{C}}{W} - \left(1\frac{°\text{C}}{W} + 3\frac{°\text{C}}{W}\right) = 10\frac{°\text{C}}{W} \| Sistema\ de\ 24V \|$$

La siguiente sección detalla los disipadores adquiridos.

A.10.6. DISIPADORES USADOS.

Se busco usar disipadores para empaquetados TO-220, pues este empaquetado es de menor costo. Dicha tarea no fue sencilla, pues los perfiles disponibles para este empaquetado suelen ser los de mayores resistencias térmicas. El otro parámetro de diseño es el tamaño del disipador, el cuál se quiere minimizar.

El disipador usado, AAVID THERMALLOY 6032DG, tiene una resistencia térmica de 8.3°C/W, un 20 % menor al necesario según el cálculo del peor caso presentado anteriormente. Además, como se diseño para un caso extremo, corrientes y temperaturas 10% mayores a la esperadas, se juzga que dicho disipador sea suficiente en condiciones de uso normal.

El disipador mencionado anteriormente puede usarse en sistemas de 12V.
Sin embargo, si se sabe a priori que el sistema será de 12V, puede montarse la placa usando un disipador de tamaño más pequeño, con mayor resistencia térmica y más barato.

El grupo también adquirió el disipador, AAVID THERMALLOY 6022BG, que proporciona resistencia térmica suficiente para trabajar con sistemas de 12V. Dicha adquisición se considera importante, ya que si bien aun no es un estándar, la mayoría de los sistemas de 24V hacen disponible una alimentación de 12V para hacer uso de la electrónica diseñada originalmente para sistemas de éste voltaje y así abaratar costos.

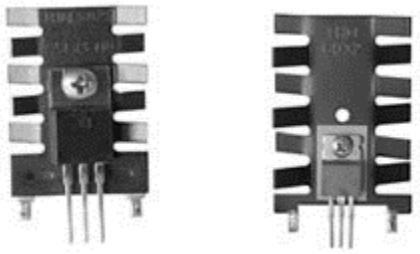


Figura 103 - Foto de los disipadores utilizados. Disipador para sistemas de 12V a la izquierda y 24 V a la derecha

A.10.7. JUSTIFICACIÓN DEL MODELO DE REGULADOR USADO.

- Se prefirió que todas las componentes del circuito de protección (el más probable que falle por imperfectos eléctricos.) se encuentren en el mercado local. Esta restricción , si bien en un prototipo puede parecer artificial, es vital para la producción en masa, pues permite prescindir de stock de componentes ya que el servicio técnico puede comprar los repuestos de las componentes sin las esperas de una compra internacional
- El regulador LM317 es de bajo precio y disponibilidad alta.
- Si bien existen, no se encontraron reguladores de voltaje fijos de 7V, (si de 8V) en plaza local.
- En versiones anteriores, principalmente para depurar, y diseñar se uso este diseño, el cual probó ser de confiar durante el transcurso del proyecto.
- El consumo con el diseño mediante LM317 no resultó ser excesivo, y como no se está en bajo consumo los requisitos anteriores pudieron verificarse.

A.11. CIRCUITO DE CONMUTACIÓN DEL RELÉ DEL CIRCUITO DE POTECCION Y REGULACIÓN.

A.11.1. INTRODUCCIÓN

Los siguientes dos circuitos se propusieron para controlar el funcionamiento del rele, se alimentan con la salida OUT del timer NE555.

Esta sección muestra el estudio necesario para concluir que con el circuito de la Figura 104 es suficiente[**122**].

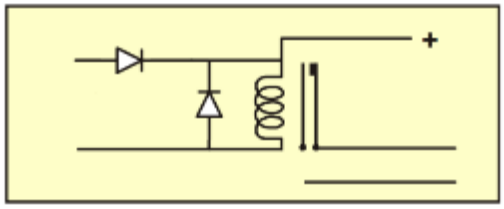


Figura 104 Circuitos propuestos para controlar la conmutacion del rele (a)

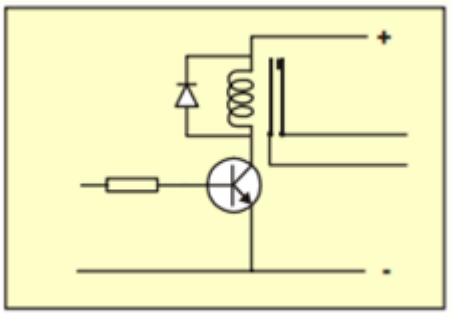


Figura 105 Circuitos propuestos para controlar la conmutacion del rele (b)

El primer circuito presenta la ventaja de la simplicidad, pero la desventaja es que se le exige al timer NE555 que provea la corriente necesaria para hacer conmutar al relé. Dada la baja resistencia de la bobina del relé, esta puede llegar a ser muy alta.

Por otro lado, mediante el circuito tipo 2, puede usarse la corriente de salida del timer NE555 para polarizar un transistor NPN mediante (con la resistencia de base) y proveer de la corriente necesaria. De esa manera, el transistor (del tipo BC109C o similar [123]) provee la corriente necesaria sin exigir al NE555. Ambos circuitos poseen de un diodo 'flyback' que protege a la bobina de los picos de tensión cuando esta se des-energiza.

Se utilizó un relé pequeño, del fabricante Metaltex, disponibles en el mercado local. En particular el modelo de 5V (A1RC5V). De la hoja de datos del fabricante[124], se sacan las especificaciones para el funcionamiento de la bobina del relé (modelo C-5V):

Especificações de bobina / Coil specifications

Modelo Type		Tensão Nominal Nominal Voltage VDC / VDC	Máx. Tensão Contínua Max. Allowable Voltage VDC / VDC	Tensão de Operação Pick-up Voltage VDC / VDC	Tensão de Desoperação Drop-out Voltage VDC / VDC	Corrente Nominal Nominal current mA	Resistência (±10%) Resistance (±10%) Ω*
A	C-5V	5	5,5	≤ 4,0	≥ 0,5	96	52
	C1	6	6,6	≤ 4,8	≥ 0,6	80	75
	C-9V	9	9,9	≤ 7,2	≥ 0,9	67	135
	C2	12	13,2	≤ 9,6	≥ 1,2	40	300
	C3	24	26,4	≤ 19,2	≥ 2,4	20	1200
	C4	48	52,8	≤ 38,4	≥ 4,8	10	4800
AL	C2	12	13,2	≤ 9,6	≥ 1,2	30	400

Figura 106 Especificaciones de la bobina del relé usado

Como puede verse en la Figura 106, hay que entregar una corriente de 100mA y someter a la bobina a una tensión nominal de 5V, sin superar los 5.5V

En primer lugar, se verifica que el NE555[125] es capaz de proveer 100mA a su salida (de hecho entrega hasta 225mA). Además, con 7V de alimentación, el NE555 provee un voltaje máximo a su salida de 6V, con una corriente de 100mA [125]. Es por ello que se utiliza un diodo (con una caída de 0.6V) para someter a la bobina a menos tensión de la recomendada como nominal. Así, en el peor de los casos la bobina estaría excitada por debajo de su valor.

Cabe acotar que con el modelo de 6V (A1RC6), no hubiese sido necesario el diodo a la salida del timer, pues tiene una tensión nominal máxima superior a la salida del NE555, pero dicho modelo no se encontraba disponible en el mercado local.

También se verificó el funcionamiento con el timer en nivel bajo: la salida en nivel bajo para el 555 es de (máximo) 0.4V que no alcanzan siquiera para poner al diodo auxiliar en directo. De hecho son necesario más de 0.6V para poner al diodo en directo y 1.1 V (0.6V+0.5V) para tener un voltaje mayor al de des-operación.

Todas las consideraciones anteriores justifican el uso del circuito de la Figura 104[**126**].

A.12. MEDIDAS EXPERIMENTALES DEL CONSUMO DEL SISTEMA

Se efectuaron varias pruebas para estimar el consumo del sistema y la influencia de cada uno de los dispositivos en el consumo total, llegando de ésta forma a verificar los cálculos teóricos presentados en el Capítulo 8.

La configuración experimental se muestra en la [Figura 107]

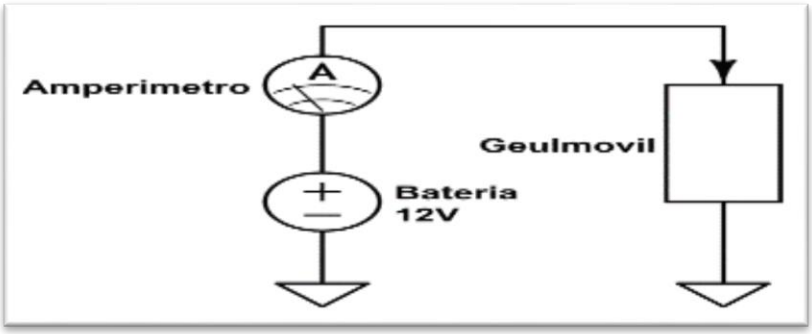


Figura 107 - Circuito experimental para la estimación del consumo energético del sistema

Se muestra en la [Figura 108] una distribución de los subsistemas eléctricos en el prototipo de GEULMóvil, cada uno trabajando a determinado voltaje y consumiendo cierta corriente.

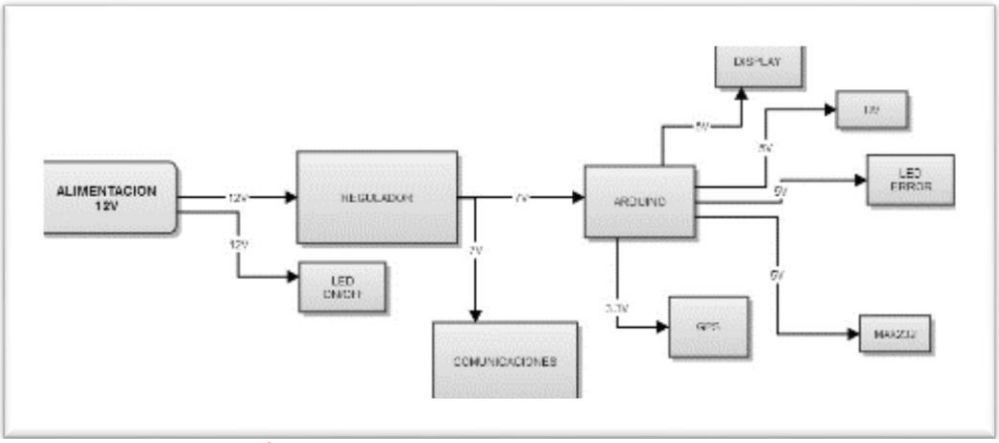


Figura 108 - Diagrama Interno de GEULMÓVIL usado para estimación experimental del consumo energético del sistema.

Se utilizó como batería la fuente regulada Tenma 72-7245, la cuál se muestra en la [Figura 109], y se midió la corriente a través de ella tomándose como periodo de muestreo 3 segundos.

La elección de dicho periodo implica un filtrado pasabajos de las corrientes observadas, este efecto es despreciado ya que las variaciones de alta frecuencia no son percibidas por el aparato de medición, el cuál

posee 10mA de apreciación. Por lo tanto, las componentes de alta frecuencia al tener una baja amplitud no influyen significativamente en el consumo del sistema.

Se partió de un sistema minimo, con el Arduino conectado al regulador y un LED, y se fueron agregando componentes hasta tener el sistema completamente armado desde el punto de vista eléctrico.

Figura 109 – Fuente Regulada Tenma 72-7245

A continuación se presentan los resultados de cada una de las medidas, así como las gráficas correspondientes. Para mejor visualización, los datos fueron interpoladas por interpolación trigonométrica, mediante FFFT, al graficar. [**127**]

A.12.1. Experimento 1

A.12.1.1. Configuración experimental.

La primera configuración que se realizó fue conectar únicamente el Arduino y el LED de ON/OFF. Las componentes conectadas se muestran a continuación en la [Figura 110].

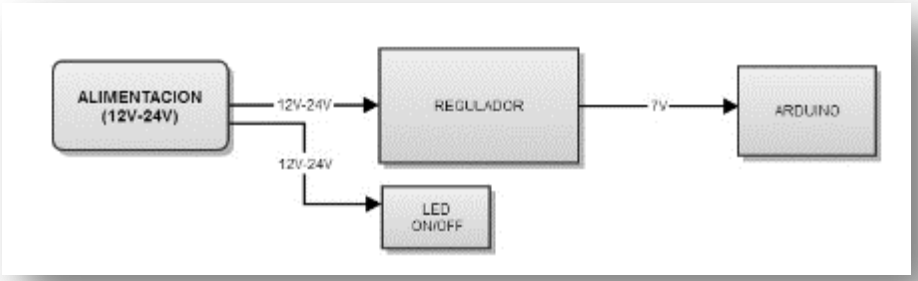


Figura 110 - Configuración del primer experimento - Arduino y LED ON/OFF

A.12.1.2. CONSUMO ESTIMADO.

Corriente promedio (I_{AV})	Corriente efectiva (I_{RMS})
120mA	120mA

A.12.2. EXPERIMENTO 2

A.12.2.1. CONFIGURACIÓN EXPERIMENTAL.

A la configuración anterior se le agregó el Diplay. Los componentes conectadas se muestran a continuación en la [Figura 111].

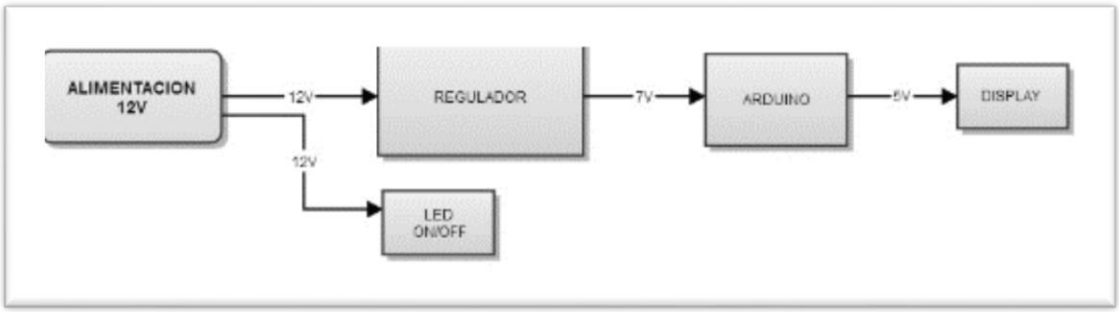


Figura 111 - Configuración segundo experimento para medida de consumo

A.12.2.2. CONSUMO ESTIMADO.

Corriente promedio (I_{AV})	Corriente efectiva (I_{RMS})
140mA	140mA

A.12.3. EXPERIMENTO 3

A.12.3.1. CONFIGURACIÓN EXPERIMENTAL.

En éste experimento se conectó únicamente la placa de comunicaciones. Los componentes conectados se muestran a continuación en la [Figura 112].

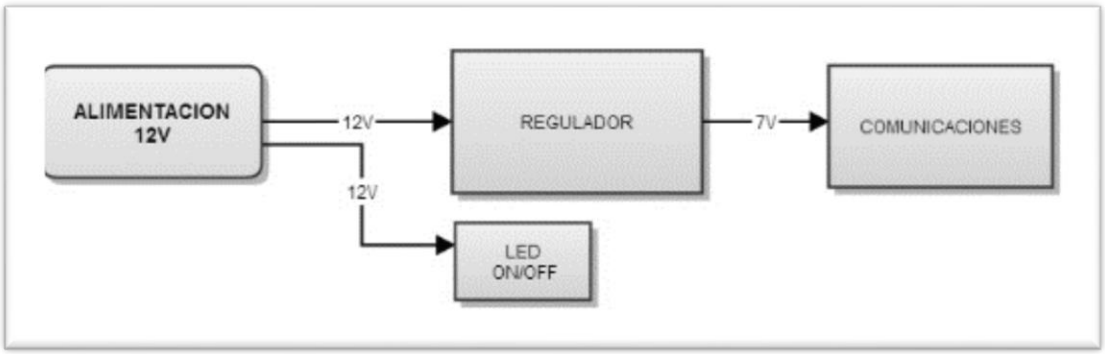


Figura 112 - Configuración tercer prueba para medida de consumo

A.12.3.2. RESULTADOS

La [Figura 113] muestra los puntos medidos en el transitorio inicial, así como la forma de onda de corriente correspondiente.

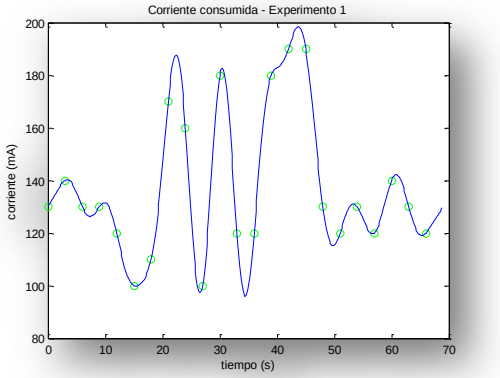


Figura 113 - Consumo del sistema del tercer experimento

A.12.3.3. CONSUMO ESTIMADO.

Corriente promedio (I_{AV})	Corriente efectiva (I_{RMS})	Corriente maxima (I_{RMS})
140mA	140mA	200mA

A.12.4. EXPERIMENTO 4

A.12.4.1. CONFIGURACIÓN EXPERIMENTAL.

Se conectó todo el sistema, exceptuando el circuito de conversión TTL/Rs232 que posibilita la interconexión ente el Arduino y el modem de comunicación. De esta manera, luego de que el sistema detecta la falta de comunicación con el modem, enciende el LED de error correspondiente. Las componentes conectadas se muestran a continuación en el diagrama de la Figura 114 :

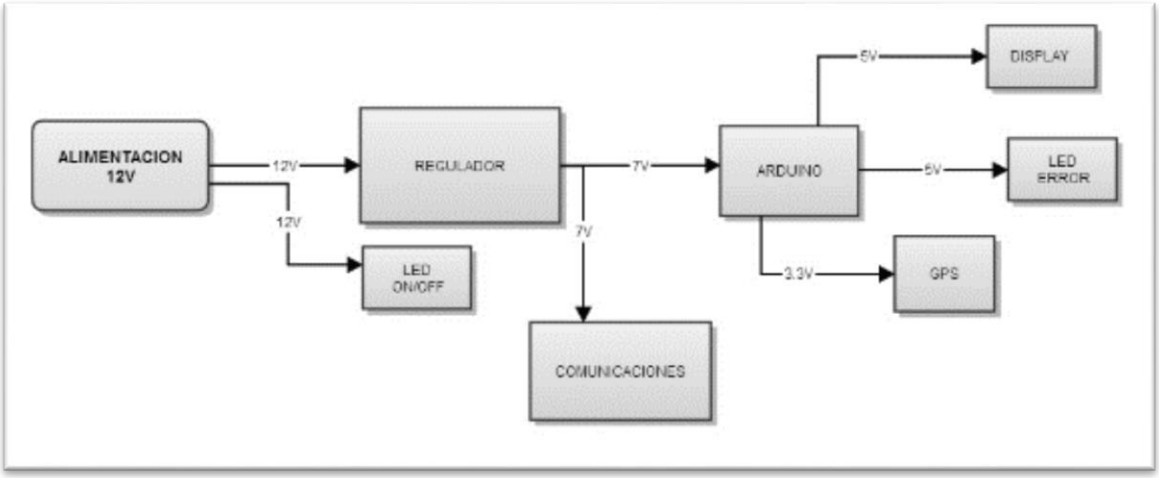


Figura 114 - Configuración cuarta prueba para medida de consumo

A.12.4.2. RESULTADOS.

La gráfica siguiente muestra los puntos medidos en el transitorio, así como la forma de onda de corriente correspondiente.

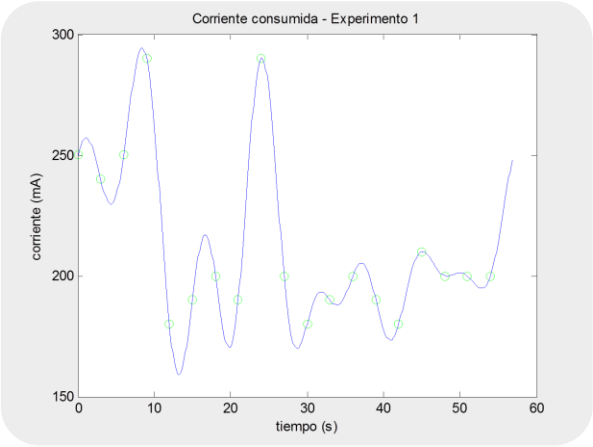


Figura 115 - Consumo del sistema para el cuarto experimento

A.12.4.3. CONSUMO ESTIMADO.

Corriente promedio (I_{AV})	Corriente efectiva (I_{RMS})	Corriente máxima
210mA	210mA	300mA

A.12.5. EXPERIMENTO FINAL: CONSUMO DE GEULMÓVIL.

A.12.5.1. CONFIGURACIÓN EXPERIMENTAL:

Se conectó el sistema completo, como se muestra a continuación en la [Figura 116]

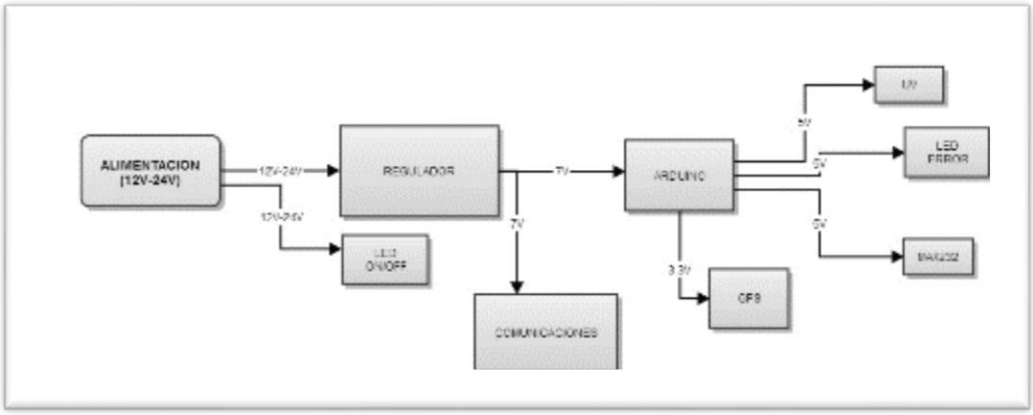


Figura 116 - Sistema completo para última prueba de medida de consumo

A.12.5.2. RESULTADOS

La gráfica siguiente muestra los puntos medidos, así como la forma de onda de corriente correspondiente.

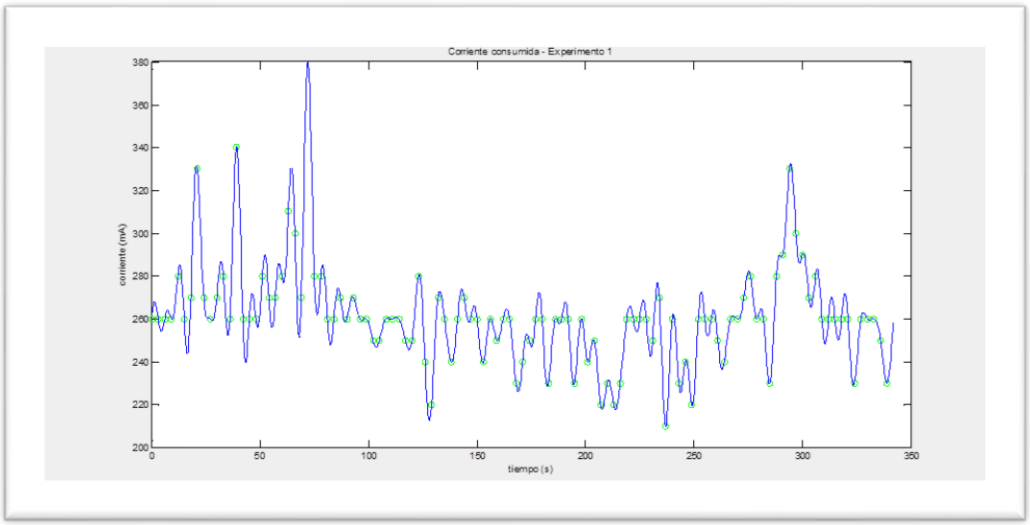


Figura 117 - Formas de onda correspondientes al consumo de corriente del sistema. Interpolacion por Fourier

Al iniciarse, el sistema tiene un transitorio, alcanzando picos de hasta 350mA por un corto tiempo. A los 5 minutos, cuando envía un mensaje, el consumo se eleva momentáneamente por unos segundos, luego vuelve al estado de régimen.

A.12.5.3. CONSUMO ESTIMADO.

Corriente promedio (I_{AV})	Corriente efectiva (I_{RMS})	Corriente máxima
260mA	260mA	300mA

A.12.5.4. CONCLUSIONES

En los primeros experimentos se midió un consumo similar al esperado teóricamente para cada componente individual, mostrado teóricamente en el 8.2.
El experimento final, muestra que el consumo del sistema es del orden de 260mA, obteniéndose corrientes máximas de 300mA. Según la estimación teórica, que no tenía en cuenta el display, el cuál influye aumentando el consumo unos 20mA, ver Anexo A.12.2, se esperaba un consumo del orden de 240mA, por lo que ambas estimaciones dan un valor esperado similar.

En conclusión, al igual que en la sección de estimación teórica, se puede afirmar que el consumo de corriente efectivo del sistema es de alrededor de 250mA, y se esperan consumos máximos de no más de 400mA.

A.12.5.5. CÓDIGO USADO PARA PROCESAR LAS MEDIDAS DE CONSUMO DE CORRIENTE

```
close all ; clc;

N= length(y);
L = 20; % Agrego 20 puntos entre medidas para graficar
M = N*L;

Ts = 3 ;  % 3 segundos

x = 0:L:L*N-1;
xi = 0:M-1;
t= (Ts/L)*x ;
ti= (Ts/L)*xi ;

y= load('ConsumoSinModem.txt')  % .txt  con corrientes medidas
y=y'
N= length(y);
L = 20; % Agrego 20 puntos entre medidas,para graficar
M = N*L;

plot(t,y,'og')
hold on
plot(ti,yi,'b')

title('Corriente consumida - Experimento 1')
xlabel('tiempo (s)')
ylabel('corriente (mA)')
legend('Datos originales','Datos Interpolados')


Irms= sqrt(std(y)^2 + mean(y)^2) ;
Imean= mean(y) ;
```

A.13. RELEVAMIENTO CURVA SENSOR UV - CÓDIGO MATLAB – EXPERIMENTO 1

Script Matlab utilizado

```
close all;clear all;clc

datos = xlsread('MedidasUV');

tiempo=datos(:,1);
sensor_1=datos(:,2); % Sensor de Freddy
sensor_2=datos(:,3); % Sensor de Carlos

sensor_manual=(sensor_1+sensor_2)/2;

t= tiempo ;
y1= sensor_1 ;
y2= sensor_2 ;
y = sensor_manual ;

ti=0:0.5:t(end);
yi = interp1(t,y,ti,'spline');
y1i = interp1(t,y1,ti,'spline');
y2i = interp1(t,y2,ti,'spline');

% Elimino valores invalidos:
yi(yi<0)=0;
y1i(y1i<0)=0;
y2i(y2i<0)=0;

% Grafico valor de los sensores
hold on
plot(t,y1,'*b')
plot(ti,y1i,'-b')

plot(t,y2,'*k')
plot(ti,y2i,'-k')

plot(t,y,'*r')
plot(ti,yi,'-r')

legend('Sensor 1 (medidas)', 'Sensor 1 (interpolacion)',...
'Sensor 2 (medidas)', 'Sensor 2 (interpolacion)',...
'Promedio(medidas)', 'Promedio (interpolacion)'...
);

title('Lectura de los sensores de mano en funcion del tiempo')
xlabel('Tiempo transcurrido (min)')
ylabel('Indice ultravioleta (UVI)')


%  Relaciono lecturas por minimos cuadrados.


% p1= polyfit(x,y,1)
p2= polyfit(y1,y2,1) % y2=p1(1)*y1+p1(0)
f2 = polyval(p2,y1);

figure
```

```
plot(y1,y2,'*r')
hold on
plot(y1,f2,'k')

title('UVI del Sensor 2 en funcion de  UVI del sensor 1')

xlabel('UVI del sensor 1');
ylabel('UVI del sensor 2');

legend('Puntos Experimentales','Relevamiento por minimos cuarados')

MatrizCorrelacion=corrcoef(y1,y2);
FactorDeCorrelacion=100*MatrizCorrelacion(1,2)
```

A.14. RELEVAMIENTO CURVA SENSOR UV - CÓDIGO MATLAB – EXPERIMENTO 2 (27/6/2013)

PROGRAMA PRINCIPAL

```
  close all ; clear all; clc;

%% 1) Procesamiento de datos

% Fecha: 27/6/2013.
% Temperatura ambiente aproximada: (15+-2) grados.
% Datos tomados a partir de las 15:13
% Cielo despejado, comienza a nublarse levemente alrededor de las 15:45


% Deduzco voltajes a partir de los valores entre 0 y 1023:
 vcc_arduino=5.03 ; % Alimentacion arduino
 factorV= vcc_arduino/1023;
%

 medidas=load('medidas 27-6.txt');

 time   = medidas(:,1);
 Ts=time(2)-time(1); % Periodo de Muestreo

 tiempoVentanaMedida=20*60
 tamanoVentanaMedida=tiempoVentanaMedida/Ts;
 minutosVentana=5;
 tiempoVentana= 60*(minutosVentana);
 tamanoVentana= tiempoVentana/Ts; % porque muestreo cada Ts segundos
 Ncorto=5; %Ancho de ventana para medidas con ventana corta

 indice = medidas(:,2);
 x=indice;

  x(1:1100/Ts)=0; % Caso de uso final :Movil comienza sin recibir UVI

% Filtrado con promedio.  Transitorio de tamanio de la ventana
 a = 1;
 b=(1/tamanoVentana)*ones(1,tamanoVentana);% Por Ej: b = [1/3 1/3 1/3]; % Ventana 3.
y_mean = filter(b,a,x);
%

% Filtro mediana : mas robusto a ruidoy  y menos transitorio
 y_mediana= medfilt1(x,tamanoVentana);
%

% Mediana con ventana corta
 y_medianaCorta=medfilt1(x,Ncorto);

% Promedio con ventana corta
 b_corto=(1/Ncorto)*ones(1,Ncorto);
 y_promedioCorto=filter(b_corto,1,x);

% Filtro de maximo , con ventana temporal de tamanio tiempoVentana.
% Simula el dato UVI que guarda GEULMóvil con su algoritmo original.
 y_max=vanherk(x',tamanoVentana,'max')' ;
```

```
 y_max(end+1)=y_max(end); % Agrego elemento que falta al final para %graficar


% Maximo (ventana de 20 mins) de la senial prefiltrada con mediana corta
 y_max_med_corta=vanherk(y_medianaCorta',tamanoVentana,'max')' ;
 y_max_med_corta(end+1)=y_max_med_corta(end); % Agrego elemento al final.
%

% Maximo (ventana de 20 mins) de la senial prefiltrada con promedio corto
 y_max_mean_corto=vanherk(y_promedioCorto',tamanoVentana,'max')' ;
 y_max_mean_corto(end+1)=y_max_mean_corto(end); % Agrego elemento al final.
%


% Instantes en que GEULMóvil enviaria mensajes
IndiceInstantesMedidas= tamanoVentanaMedida  ; % Cada veinte minutos
t_medidas=time(IndiceInstantesMedidas:IndiceInstantesMedidas:end);
%

% Medidas que enviaria GEULMóvil, con cada uno de los algoritmos
% implementados
medidas_Geulmovil_old=1000*factorV*y_max(IndiceInstantesMedidas:IndiceInstantesMedidas:end);
medidas_Geulmovil_new_median=1000*factorV*y_max_med_corta(IndiceInstantesMedidas:IndiceInstantesMedidas:end);
medidas_Geulmovil_new_mean=1000*factorV*y_max_mean_corto(IndiceInstantesMedidas:IndiceInstantesMedidas:end);

%% 2) Grafico todo lo relevante

auxStringLeg1= [' (Ventana temporal de ' num2str(minutosVentana) ' minutos)   '];
auxStringLeg2= [' (Ventana temporal de 20 minutos)   '];
auxStringLeg3= [' (Ventana temporal de 10 muestras)' ];

hold on
% Datos originales y filtrado a las medidas
%
 plot(time,1000*factorV*x,'b-','LineWidth'  ,2)
 stringPlot1= 'Lectura Original';
%
% plot(time,1000*factorV*y_mean   ,'-w','LineWidth'  ,3)
% stringPlot2= ['Lectura Promedidada ' auxStringLeg1];

% plot(time,1000*factorV*y_mediana,'-y','LineWidth'  ,3)
% stringPlot3= ['Lectura Filtrada con Mediana' auxStringLeg1];

%
%  % Preprocesamientos con Ventanas cortas
% % Mediana Corta
% plot(time,1000*factorV*y_medianaCorta,'-r')
% stringPlot4=['Lectura Filtrada con Mediana Corta' auxStringLeg3];
%
% % Promedio Corto
% plot(time,1000*factorV*y_promedioCorto,'-c')
% stringPlot5=['Lectura Filtrada con Promedio Corto' auxStringLeg3];
% %


% %Maximos tomados sobre los datos
% Maximo sobre datos originales
plot(time,1000*factorV*y_max   ,'m')
stringPlot6=['Lectura Promedidada con Filtro de Maximo a los Datos' auxStringLeg2];
```

```
% %Maximo sobre Preproc con mediana
plot(time,1000*factorV*y_max_med_corta ,'k')
stringPlot7= ['Lectura Promedidada con Filtro de Maximo a la Mediana Corta'     auxStringLeg2];

% %Maximo sobre Preproc con promedio
plot(time,1000*factorV*y_max_mean_corto ,'g')
stringPlot8= ['Lectura Promedidada con Filtro de Maximo al Promedio Corto'     auxStringLeg2];

plot(t_medidas,medidas_Geulmovil_old,'*m'), grid on
stringPlot9= 'Medida que enviaria GEULMóvil con el algoritmo original';

plot(t_medidas,medidas_Geulmovil_new_median,'*k'), grid on
stringPlot10='Medida que enviaria GEULMóvil con preprocesamiento mediante Filtro de Mediana';

plot(t_medidas,medidas_Geulmovil_new_mean,'*g'), grid on
stringPlot11='Medida que enviaria GEULMóvil con preprocesamiento mediante Filtro Promediador';


legend(...
  stringPlot1 ,...
...stringPlot2 ,...
...    stringPlot3 , ...
...    stringPlot4 ,...
...   stringPlot5 ,...
   stringPlot6 ,...
   stringPlot7 ,...
   stringPlot8 ,...
   stringPlot9 , ...
stringPlot10,  ...
   stringPlot11  ...
);

title('Medidas de UVI en Montevideo, a partir de las 15:13hs')
xlabel('tiempo (s)')
ylabel('Voltaje del sensor (mV)')

%% Errror

errorMax       =  max(abs(y_mediana(10:end)-y_max(10:end))) % saco transitorio
errorMax_median =  max(abs(y_mediana(10:end)-y_max_med_corta(10:end))) % saco transitorio
errorMax_mean   =  max(abs(y_mediana(10:end)-y_max_mean_corto(10:end))) % saco transitorio
```

Detalles sobre la function vanherk usada en l programa anterior, que implementa un filtro unidimensional de máximo.minnimo de ventana N.

```
function Y = vanherk(X,N,TYPE,varargin)
%  VANHERK    Fast max/min 1D filter
%
%    Y = VANHERK(X,N,TYPE) performs the 1D max/min filtering of the row
%    vector X using a N-length filter.
%    The filtering type is defined by TYPE = 'max' or 'min'. This function
%    uses the van Herk algorithm for min/max filters that demands only 3
%    min/max calculations per element, independently of the filter size.
% (...)
%
% http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/1358
% Author: Frederico D'Almeida
```

A.15. PROPUESTA DE UN NUEVO ALGORITMO PARA ENVIAR DATOS.

A.15.1. INTRODUCCIÓN

A raíz de resultados como los obtenidos en el experimento 3, se vio la necesidad de hacer más robusto el algoritmo que selecciona que UVI notificar. A continuación se detallan algunas consideraciones relevantes.

A.15.2. CONSIDERACIONES SOBRE LA ESTADÍSTICA E INCERTIDUMBRE DE OS DATOS OBTENIDOS:

Aún cuando los sensores fuesen ideales, la medida obtenida siempre tendría cierta dispersión, pues en general, durante una medida, el sensor pasarácierta parte del tiempo total o parcialmente obstaculizado, lo cual transforma la serie de medidas en un proceso estocástico del cual debe deducirse, a partir de una cantidad de muestras, el valor medio de la radiación solar.

En este trabajo se estima, salvo que se indique lo contrario y como primer aproximación al problema, que la incertidumbre en los datos obtenidos depende solo del sensor utilizado y se intentó usar un algoritmo previo al envío tal que en los casos de prueba estudiados no de una estimativa más alejada que el valor de incertidumbre correspondiente a una muestra del sensor. Además, en una ventana de medida, el valor de UVI (sin obstáculos) se supone aproximadamente constante.

Dicha estimación puede llegar a sobrestimar el error pero se considera segura, veamos esto con un ejemplo:

En el caso de que nada se interponga entre el sol y el sensor, y suponiendo que se escoge mandar el promedio de N muestras, la desviación estándar adjudicada será sobreestimada (por un factor $\frac{1}{\sqrt{N}}$ *para muestras iid).*

Un estudio formal probabilístico de la incertidumbre de cada medida obtenida, así como un algoritmo óptimo desde el punto de vista estadístico (con las restricciones de hardware del sistema) para deducir y enviar el valor del UVI (y algún otro valor que caracterice su estadística, como la desviación estándar) en el intervalo se considera fuera del alcance del proyecto. Dicho estudio matemático puede ser una mejora a futuro para mejorar el funcionamiento de la red de sensores móviles.

A.15.2.1. CONSIDERACIONES SOBRE EL ENVÍO DE DATOS Y CASOS DE USO.

Las medidas correspondientes a las pruebas realizadas en el experimento 2 del dia 27/6 representan un caso típico de uso, en el que no hay obstáculos entre el medidor y el sol (solo alguna nube esporádica). Debe tenerse en cuenta que en un caso de uso real, el móvil puede pasar por zonas en el que el valor dado por el sensor sea mucho más bajo que el correspondiente a la radiación solar, por la presencia de obstáculos. El algoritmo debe poder deducir correctamente el índice UV en este caso con las medidas de mayor valor y distinguir si dichas medidas se corresponden a ruido o a valores cercanos al mesurando.

De todas formas, la mayoría del tiempo, GEULMóvil se moverá en rutas, donde el arbolado, o el relieve ondulado (al menos durante los horas de mayor actividad solar, en el que el sol esta alto) no obstaculiza la lectura del sensor.

Para medidas en ciudades, una estrategia podría ser tener un medidor fijo, que nunca este obstaculizado, y que GEULMapa detecte medidas no válidas usando ese sensor y un algoritmo inteligente y decida qué valor mostrar en el mapa.

Sin embargo, para este sistema, ningún algoritmo es infalible: por ejemplo si el móvil permanece el tiempo entero con el sensor obstaculizado (con el móvil estacionado en un lugar cerrado por ejemplo) no hay forma de distinguir localmente que los datos no son validos, pues bien podría tratarse de una medida con alta nubosidad y en horarios tardíos. Es aquí donde la inteligencia central provista por GEULMapa debería decidir si el dato recibido es o no válido.

Lo que se busca es un algoritmo que de una medida precisa en el 'caso de uso típico' y que tenga cierta robustez a la obstaculización esporádica del sensor (por ejemplo, que de un valor 'bueno') teniendo durante 1 minuto el sensor obstaculizado.
Otro caso de uso interesante, bajo el cual se busca responder con valores válidos es el siguiente: el móvil se encuentra estacionado en un lugar cerrado durante 19 minutos, y en el último minuto sale a la intemperie. Para este otro tipo de caso de uso, algo extremo, se espera que el algoritmo funcione correctamente. Además, se debe usar un algoritmo simple, porque el poder de procesamiento y el lugar en memoria son limitados.

A.15.2.2. PROBLEMA DEL ALGORITMO PARA HALLAR EL MÁXIMO Y POR QUE NO SE DESCUBRIO ANTES

Puede haber errores aleatorios que sean capaces de dar un valor muy alejado de la tendencia media. O sea, el máximo no es robusto al ruido propio del sensor y al propio proceso de digitalización. Esto se sabía de antemano, pero se estimaba, en un caso de uso como el anterior, obtener medidas con un ruido de desviación estándar despreciable, como se muestra a continuación.

El error esperado luego del proceso de convertir la señal analógica medida y enviarla digitalmente, es el error de cuantización $e_q[n]$ del conversor A/D. O sea, se suponeque el canal de comunicación tiene probabilidad de error despreciable.
Se calculará la media y la desviación estándar de dicho error:
El paso de cuantización es:

$$\Delta = \frac{5000mV}{1024} = 4.9mV$$

Además, suponiendo que se distribuye uniformemente sobre el rango:

$$-\frac{\Delta}{2} < e_q[n] < -\frac{\Delta}{2}$$

Su varianza cumple: $-\Delta/2 < e_q(n) < +\Delta/2$

$$\sigma^2{}_e = \int_{-\frac{\Delta}{2}}^{+\frac{\Delta}{2}} e^2 p(e) de = \int_{-\frac{\Delta}{2}}^{+\frac{\Delta}{2}} e^2 \frac{1}{\Delta} de = \frac{\Delta^2}{12}$$

La desviación estándar asociada es, entonces

σ_e= 1.4mV

Así, la incertidumbre expandida sería menor a 5mV, con un factor de coberturade 3 ("3 sigmas")
Con una sensibilidad esperada antes de la compra dada por el fabricante de 170mV/UVI [Ref: Hoja datos TOCON], esto representaría un error menor a 0.04 UVI, por lo que el error de cuantización se consideró desde el principio despreciable. Con la sensibilidad promedio de 125mV/UVI deducida tomando como patrón el sensor portatil, el error de cuantización también es despreciable. Es por ello que el error de cuantización no tenía en ese caso una influencia significativa en la medida obtenida.

A.15.2.3. CAUSAS DE LA GRAN AMPLITUD DE RUIDO HALLADA EN EL EXPERIMENTO 2.

En una medida de 20 minutos, sin nubosidad,la radiación solar (y así el UVI) puede considerarse estática, al menos como primer aproximación. Sin embargo, existen otros fenómenos que influyen en el valor digital que se recibe y que luego se interpreta como medida.
El comportamiento del A/D de los datos recibidos desde Arduino pareció ser, por momentos, a diferencia de las lecturas que se obtenian con el tester que se coloco en paralelo, que se mantenía estable. Algunas razones podrían (además del error de cuantificación) ser: glitches en la propia alimentación, o errores en la comunicación serial que se implementó en el proceso de medida para recoger los datos directamente en el computador luego de ser recibidos por el conversor de Arduino. De hecho se uso un USB largo, para colocar el sensor al sol y el computador a la sombra, que podría haber funcionado como canal digital ruidoso, agregando ruido adictivo de amplitud considerable cierto porcentaje de datos. El proceso de medida debería repetirse, pero dados los plazos del proyecto, esto no pudo realizarse.
Esta clase de consideraciones son inherentes al sistema de medida usado en esta prueba, su influencia en un principio se subestimó y podrían tomarse cuidados en un futuro para minimizarlas. De todas maneras, los inconvenientes surgidos le sirvieron al grupo para tomar la decisión de que es necesario que hacerse robustos a ellos de manera algorítmica.

A.15.2.4. PROPUESTA DE SOLUCIÓN, ALGORITMO MEJORADO.

Se proponen las siguientes soluciones, para una versión futura:

1) Aplicar alguna clase de filtrado inicial para hacerse robusto a fluctuaciones esporádicas.
2) Una vez pre-procesadas las medidas, escoger el máximo entre ellas.

A.15.2.4.1. APLICAR ALGUNA CLASE DE FILTRADO INICIAL PARA HACERSE ROBUSTO A FLUCTUACIONES ESPORÁDICAS.

Se trabajará en el ámbito de filtros con un ancho de ventana fijo N. (Que requiere recordar los N valores anteriores, ocupando N elementos de memoria extra)
Si bien un filtro lineal requiere poco poder de procesamiento para los datos, los filtros no lineales pueden compensar la simpleza por alguna característica deseada, como la robustez al ruido.
El paso de prefiltrado puede ser implementado mediante un filtro linear, ya sea del tipo IIR, o del tipo FIR (por ejemplo un promediador con ventana de un minuto).

$$y[n] = \frac{1}{a_0}(b_0 x[n] + b_1 x[n-1] + \cdots + b_P x[n-P] \\ - a_1 y[n-1] - a_2 y[n-2] - \cdots - a_Q y[n-Q])$$

Debe acotarse, que a pesar de su simplicidad, al menos cuando N es chico, dichos filtros no poseen mucha robustez a valores del tipo 'outlier', o valor atípico[**128**]. Por ejemplo, si se promediaran valores (bk=1/N, a0=1 ,a1….aQ=0), un par de valores mucho más pequeños a la tendencia (que podrían representar al móvil para por un puente), tendrían el potencial de desviar el resultado considerablemente.
De esta manera, inspirados en el procesamiento de imágenes, se propone también un filtro de mediana[**129**] cuya salida cumple:
Y[n]= mediana(x[n], x[n-1],... x[n-K])
(Ref: Pratt, W.K., *Digital Image Processing*, John Wiley & Sons, 1978, pp.330-333

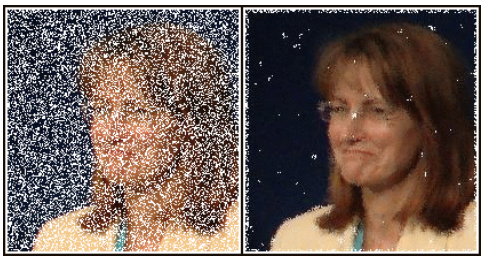


Figura 118 Ilustración del efecto del filtro de mediana aplicado a imagenes ruidosas.

Si bien su implementación en software consume más recursos que un filtro lineal (ordenar suele ser más costoso computacionalmente que sumar), el filtro es lo suficientemente simple para ser implementado en nuestra arquitectura, siempre que N sea bajo.
Además, para N alto, la mediana podría implementarse, si es necesario, mediante algoritmos de selección[**130**], de performance O(n) .
Notar que el tamaño de la ventana no puede ser excesivo, porque consumiría mucha memoria e implicaría más procesamiento. Las simulaciones realizadas, para evaluar la performance del algoritmo, usan una versión del filtro de mediana con un valor de N=10.
Aun más simple es aplicar un filtro promediador de ventana pequeña (N=10, por ejemplo) presuponiendo que en ese tiempo, es improbable que exista un outlier. Si bien este procedimiento es más simple, en principio sería menos robusto que el cálculo de la mediana.
Otro camino a explorar seria presuponer fijo el valor de UVI durante, por ejemplo, un minuto. En dicho minuto podría calcularse una media y una desviación estándar, y quedarse con los puntos que se desvíen de la media más de dos o tres veces el valor de la desviación estándar, intentando así eliminar datos muy alejados de la tendencia en ese minuto. Esto implicaría recordar 60 valores y encontrar su máximo, sin embargo los cálculos a realizar con los datos son simples.

A.15.2.4.2. UNA VEZ PRE-PROCESADAS LAS MEDIDAS, SE ESCOGE EL MÁXIMO ENTRE ELLAS.

La decisión de escoger un máximo no se desestima, pues la razón por la cual escoger el máximo, que fue explicada anteriormente sigue siendo válida.
Notar que el proceso no es muy diferente al vislumbrado inicialmente para los datos originales: simplemente hubo que agregar una etapa de pre-filtrado en línea[**131**] de los datos. La única diferencia con el esquema original de envío de datos radica en que inicialmente se presupuso de forma errónea que el ruido no afectaría considerablemente la medición cuando en las pruebas sí pareció hacerlo.

A.16. ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DE LOS ALGORITMOS DE ENVÍO PROPUESTOS.

A.16.1. SECCIÓN 1: INTRODUCCIÓN

El algoritmo de máximo es el siguiente:

- Se hace una medida de UVI cada un tiempo Ts.
- Se toma el máximo de esas N medidas cada un tiempo T=N*Ts y se envía al servidor

En GEULMóvil, los parámetros son modificables, pero las pruebas realizadas se hicieron con:

$$\begin{cases} T_S = 1s \\ T = 120T_S = 20min \end{cases}$$

La razón era forzar al hardware a muestrear rápidamente para depurar y testear la robustez del sistema, pero a la misma vez, minimizar el envío de mensajes y así los costos de las pruebas. El prototipo de GEULMóvil posee una pantalla LED integrada, por lo que aumentar T no tenía sentido para las pruebas y solo fue hecho (con éxito) en las pruebas conjuntas con GEULMóvil.
Valores coherentes son:

$$\begin{cases} T_S \geq 1s \\ 5min \leq T \leq 20min \end{cases}$$

Esto se debe, a que al sistema no le insume esfuerzos significativos el muestrear cada un tiempo tan corto. Los datos son enviados, acorde a la OMS, cada un mínimo de 5 minutos.
Matemáticamente, como el UVI no tiene variaciones bruscas en intervalos de tiempo T, el algoritmo de envío puede modelarse como:

$$\begin{cases} \mathrm{UV_{ENVIADO}} = \max(\mathrm{UVI_1} \ldots \mathrm{UVI_N}) \\ \text{Donde}: \ \mathrm{UVI_1} \ldots \mathrm{UVI_N} \ \sim \mathrm{N}(\mu = \mathrm{UVI_{esperado}}, \sigma = \mathrm{u_{\%}}.\mathrm{UVI_{esperado}}) \end{cases}$$

Cada medida es una normal de media $\mathrm{UVI_{esperado}}$ y con desviación estándar dada por la incertidumbre porcentual del aparato.
La distribución asociada a $\mathrm{UV_{ENVIADO}}$ es la distribución asociada al máximo de un conjunto de variables aleatorias normales. En [**132**] puede encontrarse una discusión interesante al problema. Además, existen cotas matemáticas para deducir su comportamiento [**133**] y teoremas como el teorema del valor extremo Fisher–Tippett, similar al teorema del valor central pero para el máximo de distribuciones iid, pero no parece haber una forma cerrada para correlaciones arbitrarias. El formalismo matemático para este tipo de problemas puede encontrarse en [**134**].
Aquí se tomará un camino exploratorio con la hipótesis simplificadora, no necesariamente realista para Ts pequeño, de que las muestras provienen de un conjunto de distribuciones IID. A continuación se realizan simulaciones mediante Monte Carlo del desempeño del algoritmo desde el punto de vista de la incertidumbre tipo A. En el Anexo se encuentra el código Matlab correspondiente.

A.16.2. SIMULACIONES REALIZADAS

Experimento 1: Muestras iid, algoritmo original de envío.

Se simularon las condiciones de envío siguiente.

$$\begin{cases} T_S = 1s \\ T = 20min \end{cases}$$

$$\begin{cases} 1 \leq UVI \leq 12 \\ UV_{ENVIADO} = \max(UVI_1 \dots UVI_N) \\ UVI_1 \dots UVI_N \; iid \sim N(UVI, 0.1UVI) \end{cases}$$

Estas condiciones tratan de emular las condiciones de envío con el algoritmo propuesto originalmente, sin pre filtrado.

Resultados

La idea es caracterizar la estadística de los datos enviados en función de la estadística de los datos medidos. La [Figura 119] muestra los histogramas estimados, correspondientes para un intervalo de tiempo T en que el UVI esperado era de 5. Como método de control del algoritmo, se estimó la media y varianza de la estadística de cada muestra y se obtuvieron valores con menos de 0.1% de error respecto a los esperados.

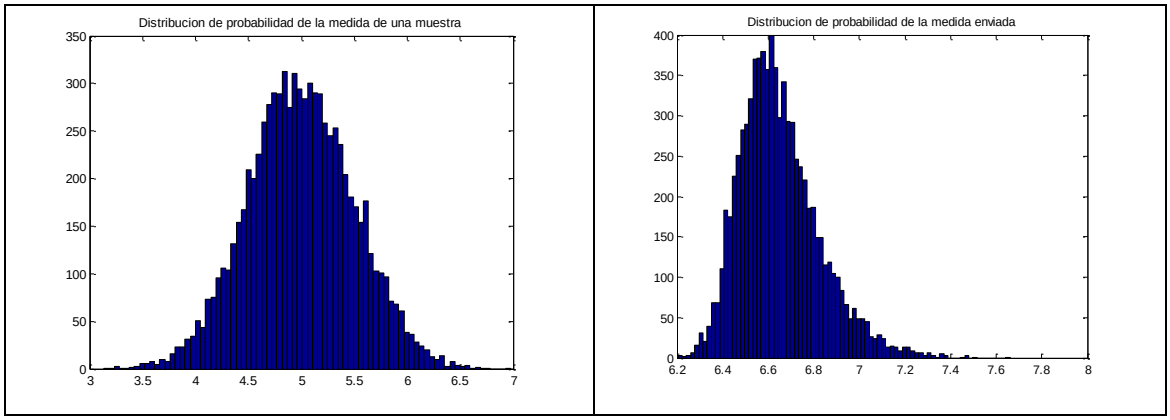


Figura 119 Histogramas no normalizados obtenidos en la simulación de performance del algoritmo del máximo

Haciendo variar el UVI con una resolución de 0.1UVI, y repitiendo el procedimiento de estimar la estadística del dato enviado, se midieron la media y la desviación estándar para cada una de las distribuciones halladas. A partir de ello, se estimo la relación entre la media y la varianza de los datos medidos y enviados.

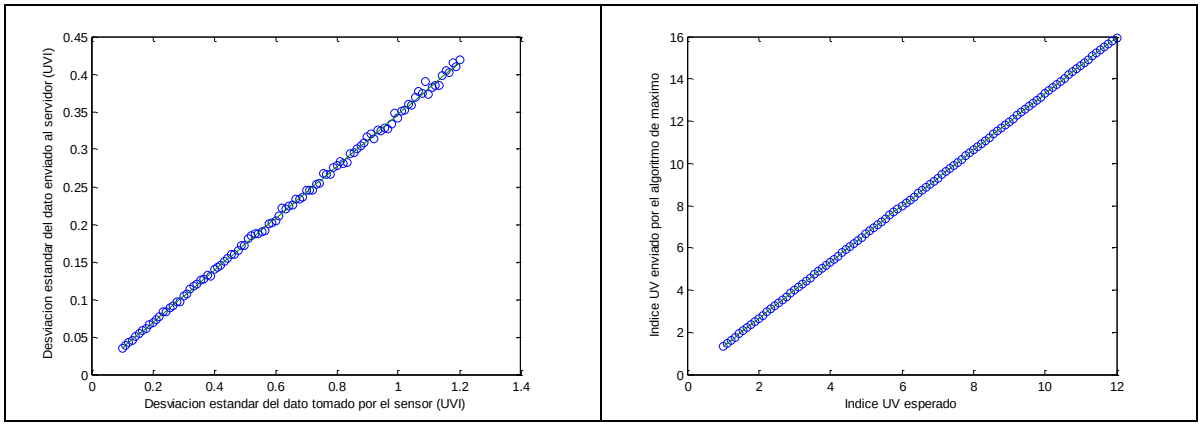


Figura 120 Relación entre la incertidumbre de cada medida y la incertidumbre de la medida enviada. Experimento 1.

Analisis

Las relaciones entre los datos esperados y enviados es lineal, como se observa en la [Figura 120].

$$UV_{ENVIADO} = (1.33) * UV_{ESPERADO}$$

$$\sigma_{UV_{ENVIADO}} = 0.35\ \sigma_{UV_{ENVIADO}}$$

Los coeficientes de correlación obtenidos mediante mínimos cuadrados son de 0.999999 y 0.9999 para la media

La relación $UV_{ENVIADO}/UV_{ESPERADO}$>1 concuerda con los resultados de estudio de performance del nuevo algoritmo. Lo novedoso ahora es ver que, tomando muchas muestras, en principio podría ser corregido este efecto indeseado.

Experimento 2: Muestras iid, algoritmo corregido

Introduccion

Se simularon también las siguientes condiciones.

$$\begin{cases} T'_S = MT_S = 20s \\ T = 5min \end{cases}$$

$$\begin{cases} 1 \leq UVI \leq 12 \\ UV_{ENVIADO} = \max(UVI_1 \dots UVI_N) \\ UVI_1 \dots UVI_N\ iid \sim N(UVI, 0.03UVI) \end{cases}$$

Las condiciones anteriores tratan de emular las condiciones de envío con el algoritmo propuesto originalmente, con el algoritmo de pre-filtrado incluido de ventana e ancho 10.

Pensando en el sistema, aquí T'_S es el tiempo de ventana, de ancho M, de la señal pre filtrada, a la que luego se le halla el máximo. Se supone que los datos se muestrean cada 2s, y suponiendo muestras IID, a la salida del prefiltrado, la desviación estándar se ve reducida por un factor $\frac{1}{\sqrt{10}}$, bajando a un 3%.

Resultados.

Con la misma idea del experimento 1, la [Figura 121] muestra los histogramas estimados, correspondientes para un intervalo de tiempo T en que el UVI esperado también era de 5.

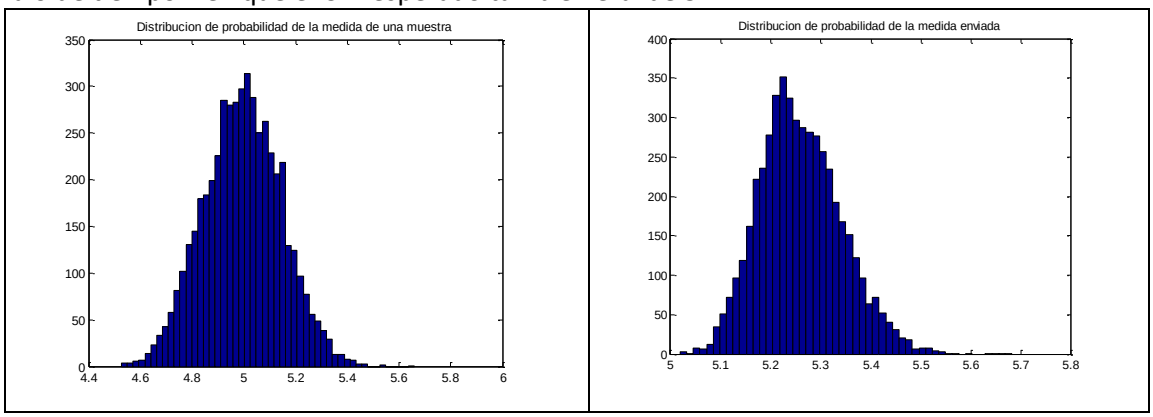


Figura 121 Histogramas no normalizados obtenidos en la simulación de performance del algoritmo del máximo.

Se estimó la relación entre la media y la varianza de los datos medidos y enviados mediante método del experimento 1. Se obtuvieron graficas similares.

Análisis

Las relaciones entre los datos esperados y enviados es nuevamente lineal y está dada, con un altísimo factor de correlación por:

$$UVI_{ENVIADO} = (1.05) * UVI_{ESPERADO}$$

$$\sigma_{UV_{ENVIADO}} = 0.55\ \sigma_{PREFILTRADO} = 1.7\%\ \sigma_{ESPERADO}$$

Ahora el factor de corrección es de un 5% y la incertidumbre baja considerablemente.

Experimento 3: Muestras IID, algoritmo de promedio.

Introducción

El envío del promedio se modela como:

$$\begin{cases} T_S = 2s \\ T = kT_S = 5min \end{cases}$$

$$\begin{cases} UV_{ENVIADO} = \text{mean}(UVI_1 \dots UVI_N) \\ UVI_1 \dots UVI_N \; iid \sim N(UVI, (10\%)UVI) \end{cases}$$

Análisis

Las condiciones anteriores tratan de emular las condiciones de envío con el algoritmo propuesto originalmente, sin pre-filtrado.

Pensando en el sistema, aquí T'_S es el tiempo de ventana, de ancho M, de la señal pre filtrada, a la que luego se le halla el máximo. Se supone que los datos se muestrean cada 2s, y suponiendo muestras IID, la desviación estándar se ve reducida por un factor $\frac{1}{\sqrt{k}}$, bajando a un 0.8%.

$$UVI_{ENVIADO} = UVI_{ESPERADO}$$

$$\sigma_{UV_{ENVIADO}} = 0.8\% \; \sigma_{ESPERADO}$$

Experimento 4: Una sola muestra por dato enviado.

Introducción

La idea de tomar muchas medidas antes de enviar es que cada una aporte nueva información. Un caso extremo seria:

$$\{T_S = T$$

$$UVI_{ENVIADO} = UVI_{ESPERADO}$$

$$\sigma_{UV_{ENVIADO}} = \sigma_{UV_{ENVIADO}}$$

Analisis

No se obtendrían mejoras desde el punto de vista de la incertidumbre. Este caso podría llegar a ser realista en alguna versión futura de GEULMóvil/GEULMapa que disponga de un canal de comunicaciones con el servidor con suficiente ancho de banda, el cual permitiría que este accedería a absolutamente todos los datos del sensor para realizar un tratamiento de datos posiblemente más avanzado al que se podría realizar en cada móvil.

A.16.3. CONCLUSIONES

Como es de esperar, el máximo siempre tiende a sobrestimar el UVI, y en el caso extremo de muestras pero su efecto puede ser corregido asumiendo las hipótesis manejadas. Si se quiere trabajar seriamente, para efectuar correcciones y mejorar el algoritmo hay que tomar muchas medidas y además realizar tests de hipótesis para cada una de las suposiciones hechas. Dichas correcciones, como es de esperar, disminuyen con el valor de N, hasta obtener los resultados del experimento 4 para N=1.

En el experimento 1, la performance del algoritmo de máximo respecto a la disminución del error es modesta y deben ser hechas correcciones considerables a la medida hallada. La razón por la cual se toma el máximo, se explica en la [sección correspondiente] y en el anexo se presenta una mejora así como las consideraciones tenidas en la decisión.

Como muestra el experimento 2, al agregar el pre filtrado, las correcciones se hacen pequeñas, y es mucho más seguro, de ser necesario, realizar una corrección nominal, tomada ya sea en base a simulaciones y/o tests estadísticos a realizar a futuro. Dado que la incertidumbre luego del filtro del pre-filtrado es del orden del 3%, pero probablemente la de la medida sea algo mayor por la incertidumbre asociada al factor de corrección .Dicha incertidumbre podría verse como el precio a pagar por las virtudes de tomar el máximo.

En el experimento 3, se muestra la performance respecto al error de enviar el promedio. Bajo las hipótesis hechas, este método es el que disminuye mas la incertidumbre tipo A, logrando valores esperados del orden del 0.8%. No se reduce demasiado respecto al experimento 2 e implementar un promediado con una ventana temporal tan larga consume recursos.

Lo que sí podría hacerse, es enviar, además del máximo luego del prefiltrado, el promedio en todo Ts de la salida del filtro de promedio de ventana corta usado por el prefiltrado. Para ello, además de enviar el máximo, habría que promediar 15 valores cada 5 minutos, lo cual no consume demasiado. Esa información, si no hay obstáculos ni nubes esporádicos entre el cielo y el sensor, ni nubes, puede llegar a ser más exacta. La decisión de qué medida tomar, la podría tomar el servidor de GEULMapa, que posee la información del resto de los sensores.

No es necesario tampoco realizar demasiados esfuerzos en disminuir la incertidumbre trata en esta sección (tipo A), pues la incertidumbre tipo B (“sistemática”) ya es del orden del 10%.

A.17. CONSIDERACIONES SOBRE CUANDO APAGAR EL APARATO

El aparato no debería estar encendido siempre. El procedimiento sugerido para poner a dormir al aparato, una vez vinculado a la red GEULMóvil/GEULMapa sería el siguiente:

Día a día, el servidor central (GEULMapa) calcula una hora de encendido/apagado óptima y se la envía a cada uno de los móviles

El criterio de encendido-apagado propuesto es que el ángulo de cenit solar θ_z CITATION Sol \l 14346 [133]sea lo suficientemente bajo, lo que implica que se está suficientemente cerca del amanecer o el atardecer como para considerar que las medidas no son necesarias y/o válidas.

Un criterio que podría tomarse para medidas de radiación solar es:

$$|\cos(\theta_z)| > 0.3$$
$$|\theta_z| < 72.54°$$

Dicho criterio se justifica en que, en primera aproximación, a la hora en que se produce el encendido/apagado, el UVI sería menor al 20% del que en el peor de los casos seria bajo (UVI <3 pues la radiación), dado que el máximo UVI solar registrado es de 15[**135**].

Si bien el cálculo del ángulo cenital no es trivial, este puede estimarse matemáticamente para cualquier día del año, en una ubicación dada), para el caso de Uruguay.

En [**136**], se presenta código en Matlab que resuelve el problema de encontrar la posición angular del sol en función de la hora y la ubicación geográfica, mediante las cuales se puede comenzar a atacar el problema. Alternativamente en [**137**] pueden descargarse tablas con dicha información especificando el periodo de tiempo y las demás variables de interés (entre ellas ángulo cenital).
La figura siguiente, muestra por ejemplo la hora en la que amanece ($\theta_z = -90°$), para una ubicación fija en función del día del año.

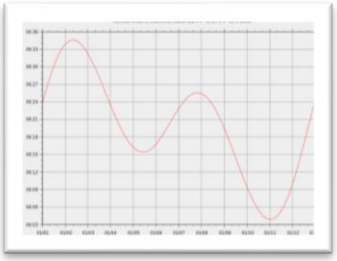


Figura 122

La gestión de apagado/encendido por GEULMapa facilita además la comparación de datos, pues todos los móviles recabarían medidas con la misma hora de inicio y fin. Más allá de esto, cada uno de los móviles debería poseer un sistema de apagado automático que mantiene el sistema individual en modo de ahorro de consumo entre las 5:30hs y las 21:30hs , horarios en los que en Uruguay siempre es de noche, independientemente de la época del año (o discriminar por estación del año) y de si hay cambio horario o no. El prototipo creado posee un

sistema de apagado manual pero las mejoras sugeridas en el firmware de GEULMóvil son ambas fácilmente implementarles.

A.18. BASE MAGNÉTICA SENSOR UV

El proceso de modificación de la base magnética para transformarla en una base para el sensor UVI no fue muy complejo, pero requirió suerte, habilidad manual y herramientas. Se adquirió una base magnética con conector PL, se desarmó para quitar el cable original, se taladró de un perfil U de aluminio de 2mm de espesor para que pase tanto el sensor como el tornillo de sujeción, y se ensambló. Como se ejemplifica en las figuras Figura 123, Figura 124, Figura 125, Figura 126, Figura 127 y Figura 128.

Figura 123 Base magnética adquirida

Figura 124 Retirando la cubierta de aluminio

Figura 125 Desarmando la base magnetica

Figura 126 Base magnética sin el cable

Figura 127 Preparando la base de aluminio

Figura 128 El sensor montado

A.19. PROBLEMAS SURGIDOS A LO LARGO DEL PROYECTO

Desde el principio se concibió éste prototipo con la idea de tener el máximo posible de proveedores en plaza. De hecho, los problemas enfrentados más significativos fueron precisamente con los suministros del exterior.

La problemática enfrentada fue variada: desde dificultades idiomáticas (un proveedor de Brasil, en lenguaje portugués, otro Alemán adquirido a una firma estadounidense, en lenguaje inglés), y dificultades con los tiempos de respuesta, hasta rotura de equipamiento y suministros equivocados.

A.19.1. IDIOMA

El impacto del idioma actualmente es menor. Herramientas como el traductor de google[iii] hacen posible que una persona sin dominio de otro idioma pueda transmitir ideas. Sin embargo, al llegar a preguntas técnicas específicas el uso de la herramienta se aleja bastante de lo ideal. Google Translate se basa en el análisis estadístico del uso de las palabras en documentos que ya han sido traducidos por personas. Basándose en buscar patrones en millones de documentos busca la mejor traducción, y provee de sugerencias de otras posibles traducciones.[iv] Esta aproximación amplia empieza a flaquear cuando el intercambio se hace más técnico y específico.
En términos generales, tratamos de establecer siempre que fue posible una comunicación en idioma inglés. Cuando esto no fue posible, para hacer las traducciones encontramos mejor utilizar la herramienta de google traduciendo del inglés al portugués, mejor que del español al portugués.

A.19.2. TIEMPOS DE RESPUESTA

Encontramos que los tiempos de respuesta de los distintos proveedores son similares: los tiempos de los proveedores del exterior a los que se encuentran localmente. En algún caso hubieron demoras por licencia del interlocutor, y se debió acudir a la casa matriz para resolver el tema. En otra ocasión nos fabricaron un componente para enviarlo, por lo que el tiempo de respuesta fue óptimo considerando que la mercadería no estaba en “un estante”.

A.19.3. PROBLEMAS ESPECÍFICOS: PLACA DE COMUNICACIONES Y GPS

En el caso de la placa de comunicaciones, la placa no traía identificado en el conector el borne negativo del positivo. El problema se solucionó identificando el integrado regulador de voltaje de la placa, un LM2596S, y siguiendo las trazas hasta el conector (Ver [Figura 131] la de abajo, dos fotos, condensador roto y modulo LM2596). La placa traída tuvo su primera falla casi al mes de estar trabajando con ella: se rompió (físicamente) el módulo de GPS. El módulo de GPS de la placa JN3 es un módulo de GPS de bajo perfil, que tiene una especie de tapa de metal soldada. Dicha tapa se soltó, probablemente debido a nuestro manipuleo, o tal vez por un defecto de fabricación. Ello inutilizó el módulo de GPS onboard que trae la placa de comunicaciones. El problema fue resuelto trayendo un módulo de GPS del exterior (módulos como el que se precisa se pueden conseguir con proveedores locales por encargo).

Figura 129 Circuito GPS de la placa de Comunicaciones

Figura 130 CIricuito GPS sin tapa Metálica

Posteriormente, el módulo de comunicaciones experimentó fallas difíciles de explicar (por ejemplo, indicaba que se conectaba a otra red celular). El problema fue un condensador de montaje superficial que se desoldó. En su lugar colocamos un condensador del mismo valor pero de conexión radial.

Figura 131 Placa sin Condesador

Figura 132 Sin condensador 2

A.19.4. Sensor UV

En un principio se intentó contactar con la mayor cantidad de proveedores posibles. La lista decantó por si misma debido a tres razones principales:

1) Algunos de los proveedores contactados directamente no vendían directamente, o directamente no contestaron el mail enviado.
2) Otros no vendían en las cantidades requeridas por nuestro proyecto (una unidad).
3) La tercer razón fue la del artillero: económica.

Se encontró que si bien hay variada oferta de los sensores, la falta de dominio inicial del equipo de trabajo en el campode los sensores UV , combinado con que el tiempo para hacer la compra estaba acotado, limitó un poco

en la búsqueda de proveedores. Poder asistir a alguna feria hubiera sido más eficiente en términos temporales, pero totalmente fuera del presupuesto.
Las cotizaciones recibidas efectivamente por la venta de un sensor iban desde 100 dólares a 3.500 euros. El prototipo tenía un presupuesto reducido: menos de 2.000 dólares en total, pero con la consideración de que el costo de materiales por cada unidad producida debía ser mínimo, para poder producir la mayor cantidad de dispositivos y colocarlos en móviles.
Se eligió como proveedor a la empresa SGLux, con base en Alemania. El sensor se compró a través de un distribuidor en Estados Unidos. Asesorados por un vendedor de la empresa, se escogió un sensor y se lo esperó.

A.19.4.1. IMPORTACIÓN

A pesar de tener buen diálogo con el proveedor, una vez decidido el sensor, el proceso de compra no fue sencillo. En medio del proceso, el vendedor dejó de comunicarse con el grupo por licencia, y el proceso de la compra se demoró unos 30 días más de lo previsto.
A este tiempo, se le sumó el proceso de importación realizado por intermedio de Facultad de Ingeniería. El paquete con el sensor se ordenó a nombre de Facultad, que goza de exoneración de impuestos, en particular mediante el Instituto de Ingeniería Eléctrica pero desgraciadamente el funcionario encargado de este tema a nombre del IIE había cesado a su cargo y ningún otro funcionario cumplía su tarea.
Al ver que el paquete quedaría en Aduanas, el grupo comenzó a informarse por sí mismo (de hecho llegó a comenzar a realizar papeleo) sobre el arduo trámite de retiro de Aduana con exoneración de impuestos. Afortunadamente, se nos informó que se tenía un nuevo funcionario que se encargaría del asunto y el primer sensor UV recibido llego a nuestras manos el 3/5/2013.
Todo el proceso local de importación, incluyendo el proceso de designación, trámites y papeleo frente a la aduana y retiro del paquete, llevó en total casi 4 meses, contados a partir de la llegada del sensor a Uruguay.

A.19.4.2. UN SENSOR DESCONOCIDO

Una vez con el sensor en poder del equipo, se hicieron pruebas menores de funcionamiento, a la espera de terminar lo que el grupo tenía en sus manos. Unos 10 días después, comenzaron las pruebas del sensor. Lo que se observó fue que el sensor saturaba con baja intensidad de rayos UV. Al principio se pensó que se recibió por error un sensor más sensible, pero pruebas posteriores mostraron que el sensor era sensible a la luz visible y al infrarrojo.

A.19.4.3. RECLAMOS

Con el proyecto fuera de plazos, y solicitada una prórroga de la entrega del mismo, se reclamó al vendedor. Ante la respuesta nula del mismo, se contactó directamente al fabricante en Alemania, al cual se le aportó documentación de las pruebas realizadas. El mismo manifestó no saber qué sensor nos fue enviado, y se ofreció a enviar el sensor correcto, el cual debía de ser montado por no tenerlo en stock. El proveedor se hizo cargo del envío y el grupo del costo de la importación, habida cuenta de los tiempos manejados por Facultad (podían mejorarse al orden de un mes pero no menos). El nuevo sensor llego a nuestras manos el día 13/6/2013.

A.19.4.4. CALBIRACIÓN

El modelo de sensores TOCON incluye en su hoja de datos , una sensibilidad tipica, propia del todos los sensores de su familia. Por otro lado , sabiamos que el fabricante ofrecía un servicio de calibración por un costo equivalkente en dolares de US$350. En nuestro caso, si bien ese dinero estaba dentro de los límites permisibles para los gastos, para ahorrar dinero del NIB decidimos decir no a la calibración, presuponiendo que el valor tipico de sensibilidad sería suficiente para nuestro propósito. Además , cuando nos comunicamos telefónicamente con el proveedor, quien sabía las características de nuestro proyecto , este ni siquiera recalcó la necesidad del servicio al momento de la compra.

El razonamiento planteado fue que ya sabíamos que los sensores manuales, de muy bajo costo, tenían rendimiento aceptable (solían coincidir con lo pronosticado por meteorología) para nuestro propóito , asi que se presupuso que un sensor de mucho mejor calidad, cuya curva voltaje versus UVI se conocía aproximadamente (una recta que pasa por el origen y con pendiente dada por la sensibilidad) tendría mejores resultados, independientemente de si este estuviese calibrado o no.

Para fijar ideas, pongamos como ejemplo el modelo de medidor de UVI del tipo de los que posee el GMARS (Kipp & Zonen UVS-AE-T Dual-Band Radiometer). Si uno analiza el catalogo del producto [**138**], puede verse que este tiene una constante del sensor esperada (bajo el nombre de typical calibration factor de 0.2 ($W/m^2/V$)). SIn embargo, el aparato de GMARS esta calibrado (mediante un proceso formal, acorde a normas internacionales sumamente exigentes) y esa calibración da como resultado un valor de constante del aparato más preciso, (de 0.206 ($W/m^2/V$)) que es propio del aparato , y se incluye en un docuento de calibración.

Al arribar el sensor, cuando se midió UVI (ver sección de pruebas), se obtenian resultados inchorentes usando la sensibilidad típca dada por el fabricante y nos comunicamos nuevamente. La respuesta obtenida fue:

The sensor is not calibrated, this would have caused EUR 270,- extra costs. I am sorry for not having offered this service, you probably would have been interested.

However, calibration is very easy. Just move with the sensor to a meteorological institute in your region that runs a good UVI-measurement machine, point the sensor 0 deg to the sky (not to the sun), read the voltage and let the institute tell you their current value. For more precision wait until the sky is cloudy or some hours and redo the test. This calibration is as precise as the instrument of the institute and if you are a friendly person, it is free.

Best regards,
Tilman.

Dr.-Ing.Tilman Weiss
Geschaeftsfuehrer / Director

Claramente , existió una confusión con la palabra calibración que tiene dos acepciones : en el uso diario puede entenderse como relevamiento de una curva, pero también tiene un uso más técnico, que en el ambito de la metrología implica un proceso que se lleva a cabo acorde a ciertas normas de calidad. El grupo entendió que como calibración se referían al segundo significado, y presupuso que se conocería (aproximadamente) la curva UVI vs. voltaje del sensor a partir de su sensibilidad.

En el futuro, pensando en un escenario con varios aparatos tomando datos de UVI, una opción interesante sería tener un sensor que haya sido calibrado por el fabricante. El resto de los sensores puede ser comparado con éste para relevar sus curvas aproximadas y así ahorrar costos. Además, dicho sensor podría mantenerse fijo (por ejemplo, en la ciudad de Montevideo, cercano al NIB), y tenerlo enviando datos continuamente al igual del resto de los aparatos.

A.20. ARMADO DE LA CAJA.

Para el armado de la caja se decidió utilizar un sistema "duro", tratando de que sea resistente a caídas y vibraciones.

Los distintos componentes van atornillados a una placa de aluminio duro de 3 mm de espesor. A los efectos de minimizar cualquier chance de que se produzca un cortocircuito, sobre la misma va una placa de igual tamaño en acrílico de 2 mm de espesor. La placa de acrílico fue utilizada como máscara para la perforación de los agujeros en la placa de aluminio.

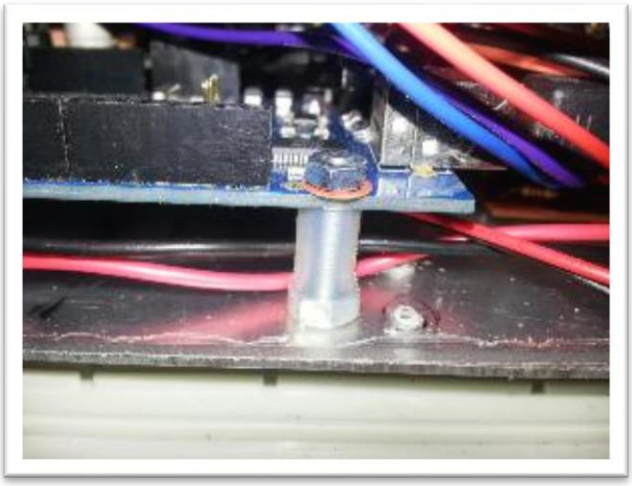


Figura 133 Montaje de los Componentes

En la foto se ve el tubo de silicona, con la tuerca dentro de él. También se ve en la parte inferior la placa de acrílico transparente, y la placa de aluminio debajo de ella.

Para el montaje se utilizaron tornillos de acero de e diámetro y de 35 mm y de 30 mm de largo. Como separador se utilizaron trozos de tubuladura de 1 cm de diámetro, cortada apropiadamente. La tubuladura entra en la tuerca que sujeta el tornillo a la doble capa de aluminio/acrílico y provee de un sistema mínimo de amortiguación por un lado, y de sujeción del tornillo por otro, dado que las diferentes placas aprietan el tubo impidiendo su giro y por tanto el de la tuerca que aprieta el tornillo contra el sándwich. El tornillo exterior debe ser cementado en el armado final para evitar que se suelte por vibraciones.

Los distintos módulos tienen conectores para conectarlos entre sí, excepto la entrada y salida de la fuente de alimentación que es contra terminal de tornillos.

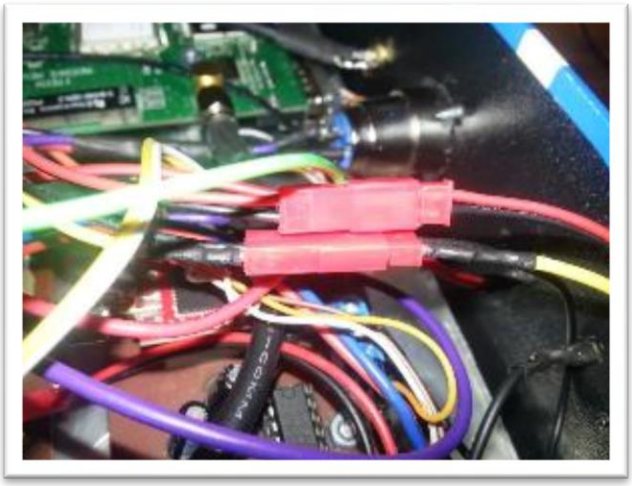


Figura 134Conectores para Alimentación

Estos conectores permiten una rápida conexión y desconexión de los componentes. El frente y el fondo de la caja fueron creados por Luciana Urruty, diseñadora industrial asociada al NIB.

A.21. MANUAL DEL USUARIO

A.21.1. CONDICIONES DE ENERGÍA.

El dispositivo GEULMóvil requiere de una fuente de tensión contínua de 12 volts. Opcionalmente puede conectarse a 24v.

A.21.2. CONSUMO

Su consumo nominal es inferior a 0.5 A. En su interior existe un fusible de protección de vidrio de 1 A del tipo rápido.

A.21.3. FRENTE

Figura 135 Frente del Dispositivo

Al frente consta de una llave de encendido, un led azul que indica encendido, y un led amarillo/anaranjado que indica condiciones de error. Ver Condiciones de error.

Figura 136 Fondo del Dispositivo

Al fondo se encuentra el conector de alimentación, el del sensor UV, y los conectores de las antenas del GPS y del módem celular.

A.21.4. CONEXIONES

A.21.4.1. ALIMENTACIÓN.

Debe conectar el equipo a 12v. Opcionalmente puede conectarlo a 24v. Para conectarlo debe introducir el cable del positivo dentro del conector rojo, y el negativo dentro del conector negro. Para introducir el cable, debe presionar la tecla correspondiente, roja o negra, del conector de alimentación. Esto libera el sistema que atrapa el cable dentro del agujero para permitir la introducción del extremo pelado del cable. Una vez introducido el cable, suelte la tecla. Verifique que quedó bien colocada tirando suavemente del cable: si no se suelta, quedó bien conectado.

Figura 137 Conector de Alimentación

Figura 138 Cable Conectado

A.21.4.2. SENSOR

El sensor tiene un conector tipo CANNON. El conector sólo puede entrar de una forma. Posiciónelo correctamente respecto a los pines, los cuales van para arriba. Para quitar el conector, pulse la tecla que dice “PUSH”

Figura 139 Conector de Sensor

Figura 140 Acercamiento botón PUSH

A.21.4.3. ANTENA DE GPS

Es una conexión SMA de tipo rosca. Solo enfrente con cuidado la pieza del final del cable de la antena de GPS y enrósquela en el conector que dice GPS. Para quitarla, desenrosque el conector.

Figura 141 Conector GPS

Figura 142 Antena GPS

A.21.4.4. ANTENA DEL MÓDEM CELULAR

Su conexión es igual que la de la antena GPS.

Figura 143 Conector GPS

Figura 144 Antena GPS

A.21.4.5. CONDICIONES DE ERROR

En caso de detección de error, el led de ERROR del frente parpadeará en una secuencia determinada que se repite ciclo a ciclo. La cantidad de veces que se encienda el LED por cada ciclo, indica el código de error.

Veces	Error indicado	Solución
1	No hay lock del GPS	• Verifique que la antena esté bien conectada. • Verifique que se encuentre al aire libre, en un lugar donde se vea directamente una buena parte del cielo. • Espere unos minutos
2	No se detectó la SIM card	Lleve el aparato al taller.
3	La SIM tiene PIN	Lleve el aparato al taller.
4	Error de datos de GPS	Continúe y reporte el error al taller. Recibirá indicaciones.
5	No hay datos de GPS	Lleve el aparato al taller.
6	El módem no responde.	Lleve el aparato al taller.