



Instituto Tecnológico
de Buenos Aires

TESIS DE GRADO EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA

INTELLIGENT TRACKER

Integrantes:

Sergio Nicolás Deligiannis - 53175

Nicolás Taccone - 53892

2016

Índice

1. Introducción	4
1.1. Historia y antecedentes	4
1.2. Justificación del proyecto	4
2. Objetivos	4
3. Definición de producto	5
3.1. Encuesta	5
3.2. Resultados	7
3.3. Requerimientos	9
3.3.1. Especificaciones del Hardware	9
3.3.2. Especificación del Software	10
3.4. QFD	10
4. Análisis de Factibilidad	12
4.1. Factibilidad tecnológica	12
4.1.1. Sistema de comunicación con el usuario	12
4.1.2. Sistema de geolocalización	12
4.1.3. Implementación de los sistemas GSM y GPS	13
4.1.4. Microcontrolador	13
4.1.5. Alimentación	14
4.1.6. Tipo de antena	15
4.1.7. DFMEA	15
4.2. Factibilidad de tiempos	17
4.2.1. Planificación - PERT	17
4.2.2. Planificación - Simulación de Montecarlo	19
4.2.3. Programación	20
4.3. Factibilidad económica	21
4.3.1. Mercado	21
4.3.2. Análisis de costos	21
4.3.3. Punto de equilibrio	24
4.3.4. Modelo de negocios	25
4.3.5. Evaluación de la inversión del proyecto	26
4.4. Factibilidad legal y responsabilidad civil	29
4.4.1. Seguridad Eléctrica	29
4.4.2. Compatibilidad Electromagnética	29
5. Ingeniería de detalle	30
5.1. Hardware	30
5.1.1. Diagrama en bloques del hardware	30
5.1.2. Microcontrolador	31
5.1.3. Alimentación	32
5.1.4. Módulo GSM y GPS	34
5.1.5. Consideraciones para el diseño del hardware	39
5.1.6. Diseño del circuito impreso del producto	40
5.1.7. Diseño mecánico	42
5.1.8. Plan de pruebas de cada módulo	44
5.2. Software	46
5.2.1. Diagrama de estados y flujogramas	47
5.2.2. Protocolos de comunicación	50
5.2.3. Módulo GPS	51
5.2.4. Módulo SIM/GSM	53
5.2.5. Plan de prueba de módulos y de depuración de software	55

6. Construcción del prototipo	56
6.1. Definición de los módulos	56
6.2. Diseño de prototipo para evaluación	58
6.3. Detalles de construcción y precauciones especiales de montaje	59
7. Validación del prototipo	60
7.1. Validación de hardware	60
7.2. Validación de software	62
7.3. Observaciones	63
8. Estudios de confiabilidad	65
8.1. Hardware	65
8.2. Software	67
9. Conclusiones	70
9.1. Objetivos alcanzados	70
9.2. Fallas	70
9.3. Recomendaciones para futuros diseños	70

Nomenclatura

App	(Application) : Una aplicación es un programa informático diseñado para realizar un grupo de funciones coordinadas, tareas o actividades en beneficio del usuario.
Gantt	: Un diagrama de Gantt es un tipo de gráfico de barras, ideado por Henry Gantt en la década de 1910, que ilustra un calendario del proyecto. Estos diagramas ilustran las fechas de inicio y fin de los sucesos de un proyecto, y sus dependencias.
GPS	(Global Positioning System) : Es un sistema de navegación global por satélite (GNSS) que proporciona información de ubicación y la hora en todas las condiciones meteorológicas, en cualquier lugar de la Tierra o próximo a ella, donde hay una línea de visión sin obstáculos a cuatro o más satélites GPS.
GSM	(Global System for Mobile communication) : Es un sistema global de telefonía móvil digital.
IDE	(Integrated Development Environment) : Un entorno de desarrollo integrado es una aplicación de software que proporciona servicios integrales para los programadores para el desarrollo de software. Un IDE consiste normalmente en un editor de código fuente, con herramientas de automatización y un depurador .
MTBF	(Mean Time Between Failures) : Es la media aritmética del tiempo entre fallos de un sistema.
OS	(Operating System) : El sistema operativo es el software que gestiona los recursos de hardware y software del ordenador y proporciona servicios comunes. Los programas denominados aplicaciones por lo general requieren de los servicios de un sistema operativo para funcionar.
Payback	(Payback o Plazo de Recuperación) : Es un criterio estático de valoración de inversiones que permite seleccionar un determinado proyecto sobre la base de cuanto tiempo se tardará en recuperar la inversión inicial mediante los flujos de caja.
PCB	(Printed Circuit Board) : Una placa de circuito impreso soporta mecánicamente y conecta a los componentes electrónicos usando pistas conductoras, grabadas a partir de hojas de cobre laminadas sobre un sustrato eléctricamente no conductor.
PERT	(Project Evaluation and Review Technique) : Es una herramienta estadística usada en la dirección de proyectos para analizar y representar las tareas y su duración.
SIM	(Subscriber Identity Module) : Una de las características de GSM es el Módulo de Identidad del Suscriptor, comúnmente conocido como una tarjeta SIM. La tarjeta SIM es una tarjeta inteligente desmontable que contiene la información de suscripción del usuario y guía de teléfonos.
TIR	(Tasa Interna de Retorno o Tasa Interna de Rentabilidad) : La TIR de una inversión es la media geométrica de los rendimientos futuros esperados de dicha inversión.
TREMA	(Tasa de Rendimiento Mínima) : Es la aceptable. Es la rentabilidad mínima que se le exigirá a un proyecto de inversión de tal manera que permita cubrir la totalidad de la inversión inicial, los egresos, los intereses, los impuestos y la rentabilidad que el inversionista exige a su propio capital invertido.
UART	(Universal Asynchronous Receiver-Transmitter) : Es un protocolo que convierte información digital en un formato asíncrono para comunicación serie, generalmente encapsulado entre bits de comienzo y finalización.
UI	(User Interface) : La interfaz de usuario es todo lo diseñado en un dispositivo con lo cual un ser humano puede interactuar, incluyendo una pantalla, el teclado, un lápiz óptico, la apariencia de un escritorio, los mensajes de ayuda, etc.
VAN	(Valor Actual Neto) : Es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión.

1. Introducción

1.1. Historia y antecedentes

La tecnología avanza para ayudarnos y evitar que los delincuentes puedan cumplir con su objetivo de robar automotores. En el mercado existen una variedad de artículos de rastreo, los cuales generalmente son instalados y controlados por un tercero, como puede ser el caso de Lo Jack, Ubicar y Digicar.

El dispositivo Lo Jack sirve para rastrear vehículos. El mismo es instalado de forma oculta y aleatoria en aproximadamente 100 puntos diferentes dentro del vehículo; esto hace muy difícil que un delincuente pueda localizarlo, pero presenta la desventaja de que el usuario no pueda elegir dinámicamente a que vehículo y de que manera resguardarlo, ya que no dispone del dispositivo sino de un servicio.

1.2. Justificación del proyecto

El estado de permanente inseguridad en que vivimos crece lamentablemente en el curso de los últimos años afectando a todos los ámbitos y clases sociales. En el marco de esta situación, uno de los objetivos de quienes delinquen es el robo de automotores. El Centro de Experimentación y Seguridad Vial (CESVI) presenta estadísticas que reflejan el impacto de este problema. Según un informe de la Asociación de Fábricas Argentinas de Componentes (AFAC), el parque automotor a fines del año 2014 superaba los 11 millones de unidades estando casi la mitad de ellos radicados en el área metropolitana (CABA y Gran Bs.As.) [5]. En ese año, la Superintendencia de Seguros de la Nación reportó que de los 51280 robos de automóviles y motocicletas en el país, un 80% se registraron en ese área [6]. La franja horaria con mayor cantidad de estos hechos es la comprendida entre las 18 y 24hs [19]. Para evitar la sustracción de vehículos, además de tener precauciones respecto al estacionamiento o la circulación en zonas de riesgo (mal iluminadas, poco transitadas, etc) es conveniente contar con sistemas de detección rápida para el caso de que el vehículo sea el objetivo de un robo.

2. Objetivos

El objetivo del proyecto es el desarrollo de un producto que permita notificar su ubicación, notificar su desplazamiento y realizar escuchas de su entorno.

Si el dispositivo se instalara en un vehículo, el usuario podría enterarse al instante dónde y cuándo el mismo comienza a moverse sin su presencia, ya sea porque la grúa lo esté remolcando o porque se encuentra siendo robado, pudiendo en este último caso realizar escuchas.

El problema traducido a la ingeniería se separa en cinco aspectos.

Geolocalización : Debe ser capaz de brindar su ubicación geográfica.

Detección de eventos : Debe poder identificar eventos como el comienzo de movimiento.

Comunicación con el usuario : Debe poder comunicarse sencillamente a través de algún medio conocido y aceptado por los consumidores.

Portabilidad : Dada que su finalidad sería la de incorporar el Tracker en distintos vehículos u objetos personales, el mismo debe ser portable facilitando el traslado del mismo.

Autonomía : Debe poder estar en funcionamiento ininterrumpidamente durante periodos de tiempos razonables para su uso.

3. Definición de producto

3.1. Encuesta

Se realizó una encuesta con la finalidad de conocer las necesidades y los requerimientos de potenciales consumidores. A partir de la cual se resaltaron los principales aspectos a tener en cuenta para la satisfacción de los clientes.

La encuesta se focalizó más en la aplicación del producto a vehículos dada la amplitud de este mercado, aunque no es ésta su única aplicación.

Se hizo uso de Google Forms para la confección de la encuesta y se promovió por distintas redes sociales, en diferentes perfiles públicos para que la muestra de la población presente una distribución uniforme en cuanto a las características de los individuos. La misma puede observarse en la siguiente dirección: <http://goo.gl/forms/YdFwsAr4gO> - 2015.

I. Vinculación de la persona con el producto El primer segmento de preguntas tiene la finalidad de conocer en que grado la persona encuestada se encuentra vinculada con nuestro producto. Si podría ser un potencial cliente y si ya se encuentra utilizando algún tipo de dispositivo de rastreo.

1. ¿Tiene un vehículo particular?
 - SÍ
 - Estoy pensando en tener uno
 - NO
2. ¿Cuenta con servicio de Lo Jack, Digicar o alguno similar?
 - SÍ
 - NO
 - No se lo que son

II. Introducción a los dispositivos de rastreo En caso de desconocer los servicios de Lo Jack, Digicar o alguno similar, se le brinda un breve resumen sobre el tema y se le hace la siguiente pregunta.

1. ¿Le parece interesante y útil?
 - SÍ
 - NO

III. Interés y Requerimientos del Producto En este segmento se introduce nuestro producto y se presentan las ventajas frente a los productos de rastreo existentes.

Luego se pregunta que grado de interés le genera, a que clase de objetos lo aplicaría para rastrear y que aspectos le parecen mas importantes.

1. ¿Le gustaría hacer uso de nuestro producto?
 - SÍ
 - NO
2. En una escala del 0 al 10. ¿Cuánto le interesa?
3. ¿Donde lo utilizaría?
 - En su vehículo
 - En una valija o maletín
 - En una computadora
 - No lo usaría
 - Otros
4. ¿Con que otras cosas lo utilizaría?
5. ¿Preferiría que el dispositivo sea instalado?
 - SÍ
 - NO
6. ¿Cuál te parece que es un precio razonable para "Intelligent Tracker"?
 - Menos de \$1000
 - Entre \$1000 y \$1500
 - Entre \$1500 y \$2000
 - Entre \$2000 y \$3000
 - Más de \$3000
7. ¿Qué características le parecen más importantes?
 - Que lleve baterías
 - Que sea portátil
 - El tamaño del dispositivo
 - Que se puedan realizar escuchas
 - Que se pueda independizar del proveedor
 - Que me notifique al instante una irregularidad
 - Que se pueda detener el vehículo a distancia
 - Que me notifique la ubicación
 - Todas me parecen importantes
 - Otros

3.2. Resultados

En el lapso de un mes, del 25/4/15 al 25/05/15, se obtuvieron 84 respuestas a partir de las cuales se estudiaron las necesidades e interés de nuestros potenciales clientes.

Vinculación de la persona con el producto

De los resultados se observa que de las personas encuestadas, el 71,4 % cuenta con al menos un vehículo o esta pensando en adquirir uno, a su vez el 69 % no cuenta con un servicio o dispositivo de rastreo para la protección de sus artículos personales. Esto nos permite pensar que gran parte de la sociedad y la empresas podrían darle una utilidad a nuestro dispositivo.

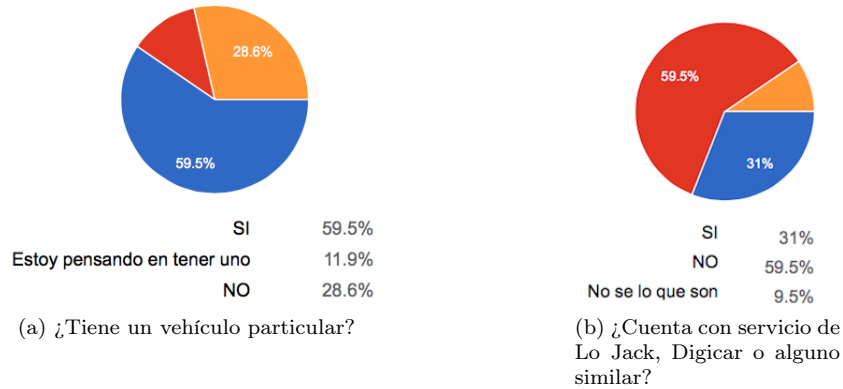


Figura 1: Vinculación de la persona con el producto.

Introducción a los dispositivos de rastreo

De las personas encuestadas, el 10 % desconocían los servicios de rastreo y coincidieron en que resultan útiles e interesantes, mostrando interés en hacer uso de los mismos mediante los comentarios aportados.

Interés y Requerimientos del Producto

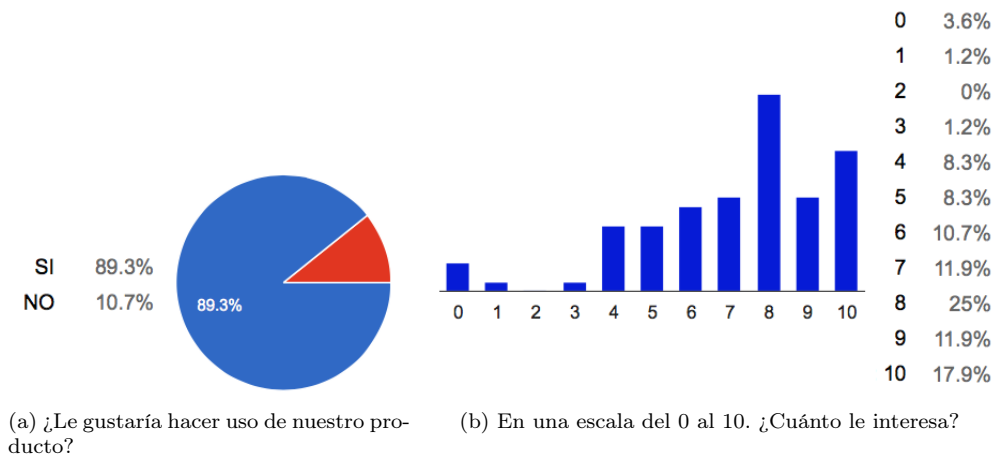


Figura 2

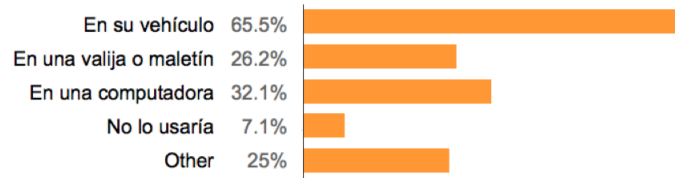


Figura 3: ¿Donde lo utilizaría?

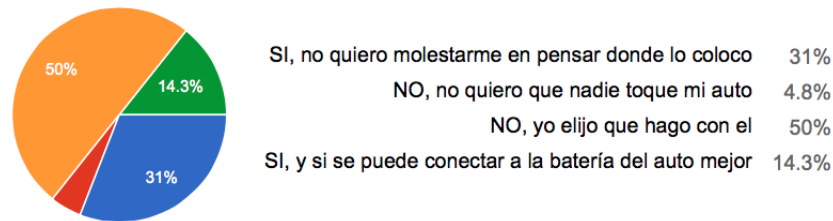


Figura 4: ¿Preferiría que el dispositivo sea instalado?

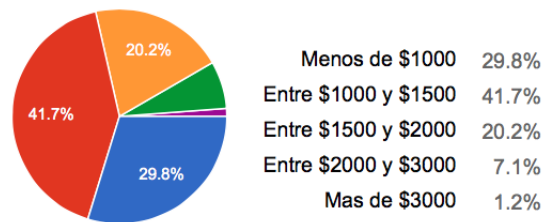


Figura 5: ¿Cuál te parece que es un precio razonable para "Intelligent Tracker"?

Al momento de realizar la encuesta, $USD1 \approx AR\$9$.

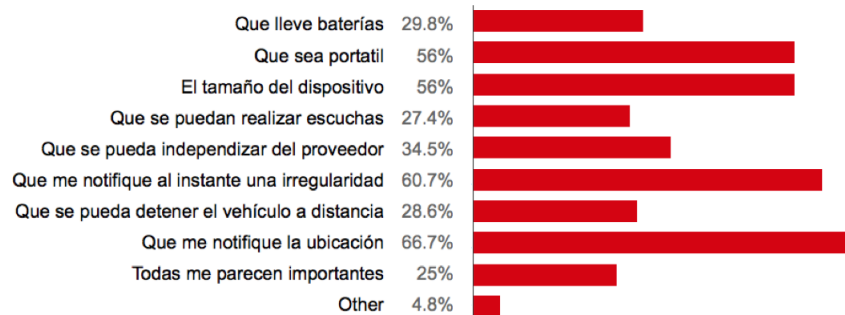


Figura 6: ¿Que características le parecen más importantes?

En los resultados del grado de interés se observa que la mayoría de los encuestados se encuentran interesados en poder hacer uso del dispositivo propuesto. Además, se destaca que gran parte de los mismos, coincidió en que desearían poder elegir donde lo aplicarán y que no sea gestionado por un tercero.

3.3. Requerimientos

En base a los resultados de la encuesta, al contacto con empresas vinculadas a los seguros de vehículos y a las investigaciones realizadas sobre el panorama actual de la sociedad, se extraen y concluyen los siguientes requerimientos y necesidades a satisfacer de los clientes.

- Notificación de la ubicación.
- Notificación de movimiento del vehículo.
- Que sea pequeño, liviano y fácilmente trasladable de un vehículo a otro.
- Que sea capaz de funcionar ininterrumpidamente durante 8hs.
- Independencia del proveedor.
- Posibilidad de realizar escuchas.

El cliente debe ser capaz de localizar su vehículo en el momento que quiera sin depender de un tercero y conocer su estado ya sea en movimiento o no. Además debe poder realizar escuchas.

La función de geolocalización debe especificar la ubicación del vehículo dentro de una cuadra, con la idea de acotar el rango de búsqueda del mismo.

La comunicación con el dispositivo debe ser vía mensajes de texto para que pueda ser utilizado con cualquier celular y resulte simple para el usuario.

Para realizar escuchas el dispositivo debe tener incorporado un micrófono capaz de captar el espectro de la voz, entre los 400Hz y los 4kHz por lo menos. Permitiendo escuchar voces en un tono normal hasta dos metros de distancia.

El usuario debe poder interactuar con el dispositivo mediante comandos de texto a través de un teléfono celular. A través de ellos, debe ser capaz consultar el estado del sistema, si se encuentra en funcionamiento o no, conocer la ubicación de manera visual a través de *Google Maps*, y finalmente debe poder activar y desactivar la notificación de movimientos.

Especificaciones del dispositivo
Geolocalización, con un error menor a 100m
Comunicación mediante mensajes de texto a través de un teléfono celular
Mostrar la ubicación mediante <i>Google Maps</i>
Detección de movimientos
Que permita realizar escuchas
Portabilidad
Precio $\leq U\$D 200$

Table 1: Especificaciones funcionales.

El precio especificado para el producto surge de la demanda de determinadas empresas y de las encuestas orientando el producto a los particulares con mayor poder adquisitivo. Por otro lado, se aclara que el precio se define en dólares, dado que la moneda estadounidense es mas estable que el peso argentino, y porque además se requerirán importar componentes los cuales se encontrarán tasados en dólares.

3.3.1. Especificaciones del Hardware

El dispositivo debe ser compatible con las baterías de los celulares, típicamente de 3,7V, debe tener una autonomía mayor o igual a 10 hs con un uso moderado, es decir no más de 50 SMS y una hora de llamada en total. Este tiempo incluye al de una jornada laboral diurna, tiempo en el cual el usuario dejaría su vehículo sin resguardo. A su vez deberá ser cargado con una fuente externa de tensión continua, a través de un puerto USB (mini o micro).

El dispositivo debe cumplir con las siguientes normas de seguridad eléctrica: IEC 61000-4-2; IEC 61000-4-3; IEC 61000-4-6; IEC 61000-4-2.

Se debe buscar minimizar la cantidad de circuitos integrados y componentes que cumplan con las especificaciones y requisitos, con el fin de minimizar el peso, tamaño y precio.

Especificaciones del Hard		
Características	Mínimo	Máximo
Tensión (DC) de la fuente externa	$4,5\text{ V}$	$5,5\text{ V}$
Corriente máxima (DC) requerida de la fuente externa	400 mA	500 mA
Tiempo de carga al 90 %	-	5 hs
Autonomía	10 hs	-
Peso	-	500 g
Dimensiones (ancho y largo)	-	15 cm
Alto	-	10 cm
Temperatura de trabajo	-20°C	60°C
Free fall test	$1,5\text{ m}$	-
Protecciones a conexión inversa de la batería	Si (a nivel mecánico o circuital)	
Comunicación	A través de mensajes de texto	
Geolocalización	Satelital	
Conexión con fuente externa	Puerto mini- o micro-USB	
Debe cumplir normas	Compatibilidad electromagnética	
	Seguridad eléctrica	
	Inmunidad a vibraciones (IEC 68-2-35)	

Table 2: Especificaciones del hardware.

3.3.2. Especificación del Software

Especificaciones del Soft	
UART	Para comunicarse con la computadora y permitir <i>data logging</i> .

Table 3: Especificación del software.

3.4. QFD

El Despliegue de la función calidad (QFD) es un método de gestión de calidad basado en transformar las demandas del usuario en la calidad del diseño, implementar las funciones que aporten más calidad, e implementar métodos para lograr calidad del diseño en subsistemas y componentes, y en última instancia a los elementos específicos del proceso de fabricación.

Realizando el QFD se concluye que los aspectos a resaltar son su sencillo uso y la independencia del dispositivo con el proveedor, mientras que los parámetros sobre los cuales habrá que trabajar son el tamaño y la autonomía del dispositivo.

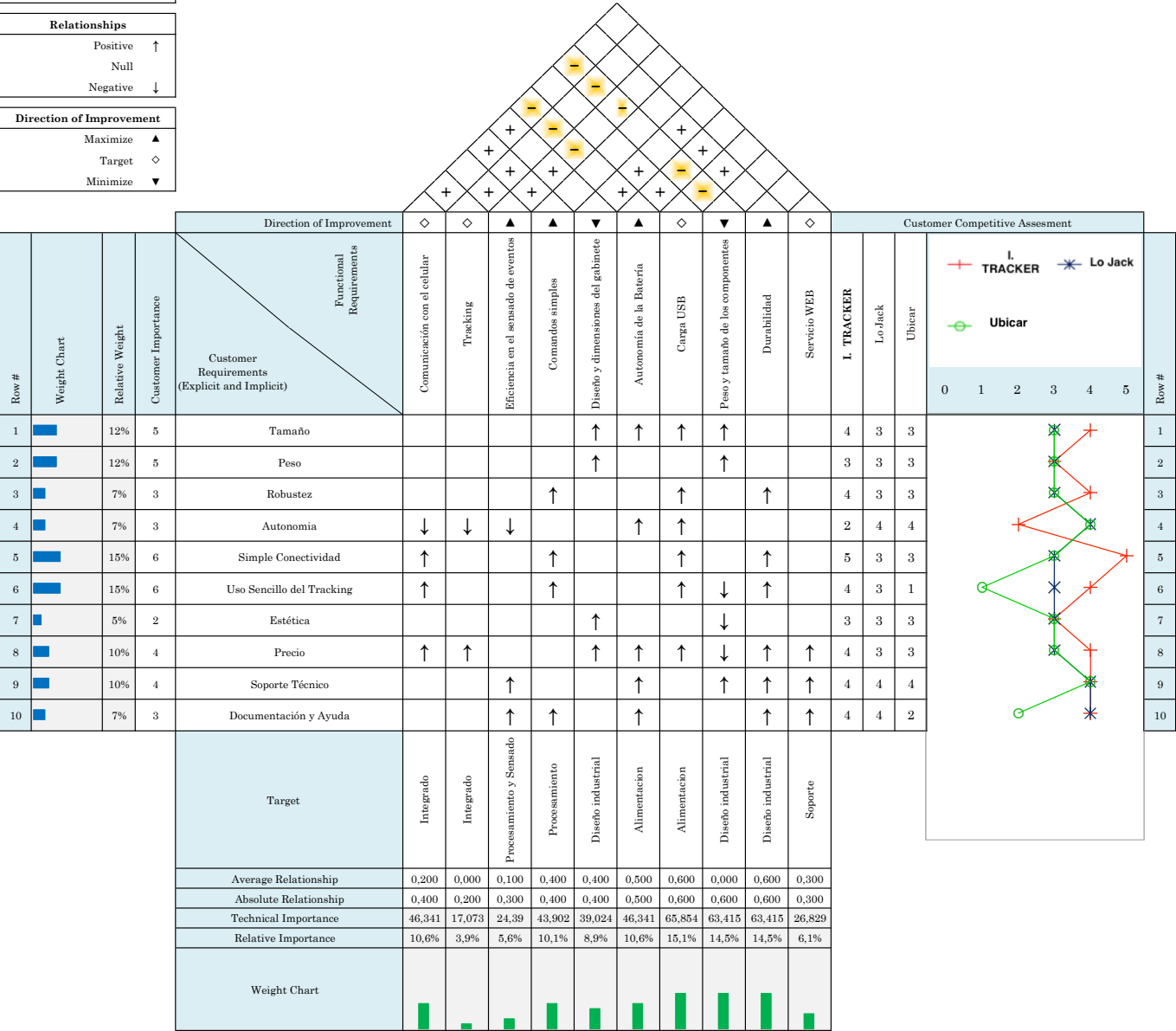
QFD: House of Quality

Project: I. TRACKER
Revision: 1
Date: 23/5/15

Correlations	
Positive	+
Negative	-
No Correlation	

Relationships	
Positive	↑
Null	◇
Negative	↓

Direction of Improvement	
Maximize	▲
Target	◇
Minimize	▼



4. Análisis de Factibilidad

4.1. Factibilidad tecnológica

El análisis de factibilidad tecnológica evalúa las distintas alternativas, considerando los conocimientos, los materiales y las herramientas, necesarias y disponibles para la realización de nuestro producto. Además, se evalúa si la organización cuenta con personal con la experiencia técnica requerida para diseñar, implementar, operar y mantener el sistema propuesto. Si el personal no tiene esta experiencia, puede entrenarse o pueden emplearse nuevos o consultores que la tengan. Sin embargo, una falta de experiencia técnica dentro de la organización puede llevar al rechazo de una alternativa particular de diseño.

4.1.1. Sistema de comunicación con el usuario

La comunicación entre el usuario y el dispositivo debe ser a través de mensajes de texto, a través de un teléfono celular.

En nuestro país las empresas telefónicas brindan servicios de 2G, 3G y 4G, siendo el primero el de mayor cobertura, el más sencillo de utilizar y el único que no requiere el desarrollo de una aplicación para celular. Dado esto se optó por el 2G.

En Argentina, el sistema 2G que se utiliza para mensajes de texto es el SMS (*Short Message Service*) que deriva del sistema GSM. Como una alternativa a GSM existe CDMA, pero esta solo se utiliza en Estados Unidos.

4.1.2. Sistema de geolocalización

En el cuadro 4 se muestran los sistemas de geolocalización considerados con sus características más importantes.

El sistema Galileo completamente funcional consistirá de 24 satélites operacionales más 6 satélites extra. Los servicios iniciales estarán disponibles para fin de 2016, luego la constelación irá creciendo, con la compleción del sistema programada para 2020. Por esta razón fue descartado. [7]

Por otro lado, el sistema GLONASS ruso dejó de proveer su servicio por 7 años por razones de presupuesto. [9]

Finalmente el sistema GPS es el más popular de todos los sistemas de geolocalización, presenta el mayor número de satélites funcionales, nunca fue interrumpido y cuenta con 21 años de experiencia. Por esto, y debido a las falencias destacadas de GLONASS, se optó por el sistema GPS.

	GPS	GLONASS	Galileo
Origen	EE.UU.	Rusia	Unión Europea
Primer Lanzamiento	1978	1982	2011
Funcional en	1995 - actualidad	1995 - 1999; 2006-actualidad	2020
Número de satélites en la actualidad	32 funcionales	26 funcionales + 1 en etapa de testeo de vuelo	14 en órbita

Cuadro 4: Sistemas de geolocalización considerados.

4.1.3. Implementación de los sistemas GSM y GPS

En una primera instancia se podría pensar en separar los bloques de GSM y GPS, pero la realidad es que en el mercado se encuentran diversos módulos que integran ambos sistemas, los cuales permiten disminuir el tamaño y el costo del equipo. En el cuadro 5 se muestran las alternativas consideradas.

	SIM5320	MW3650
Precio	~US\$ 23	~US\$ 21
Bandas GSM	850/900/1800/1900 MHz (Quad-band)	850 /1900 ó 900/1800 MHz (Bi-Band)
Tensión de alimentación	3.3V ~ 4.2V	3.3V ~ 4.25V
Interfaz con otros módulos	comandos AT / LUA Script	comandos AT /ZTE exclusive commands
Se consigue en Argentina	Sí	No
Popularidad	Alta	Baja
Tamaño	30×30×2.9 mm	30×30×2.0 mm

Cuadro 5: Alternativas módulos GSM y GPS

Se termina optando por el módulo SIM5320 por su elevada popularidad mundialmente (esto implica, que fue probado muchas veces, en muchos ambientes y en condiciones distintas; que hay información y experiencias de los usuarios en Internet), y porque se consigue en Argentina, en caso de necesitar repuestos. El hecho que sea Quad-band es una ventaja (las bandas de 850/1900 MHz son utilizadas en la mayoría de los países de América, mientras que las bandas de 850/1900 MHz son utilizadas en el resto del mundo), ya que el dispositivo funcionaría en cualquier país del mundo. Otra de las ventajas de este módulo es que posee 3G, permitiendo incorporar esta tecnología en futuras versiones del dispositivo sin necesidad de modificar el hardware, simplemente actualizando el software.

4.1.4. Microcontrolador

Para la interpretación de los comandos, la generación de los links de *Google Maps* y la detección de movimientos, se requerirá un microcontrolador que se adecue a las tareas que se deben realizar.

Es fundamental que el microcontrolador elegido tenga una placa de desarrollo para acelerar los tiempos y facilitar la pruebas. A continuación se muestran las alternativas planteadas; los consumos de corriente son a la máxima frecuencia y con todos los periféricos apagados, y se obtuvieron utilizando el «*Power Estimation Tool v1.0*» de *Freescale*. Por otro lado los precios se obtuvieron de <http://www.nxp.com/>.

		Freescale			Texas Instruments	ST Microelectronics
		Kinetis K	Kinetis L	Kinetis V	MSP430	STM32L
$F_{CLK_{max}}$		120 MHz	48 MHz	100 MHz	25 MHz	32 MHz
$I_{DDF_{max}}$	Run (máx)	25 mA	6,9 mA	19 mA	10 mA	5 mA
	Stop (mín)	270 μA	300 μA	260 μA	100 μA	100 μA
I_{DDRUN}/F_{CLK}		210 pC	140 pC	190 pC	400 pC	160 pC
Precio (mil unidades)		1 – 3 US\$	2 – 5 US\$	1 – 7 US\$	1 – 3 US\$	1 – 4 US\$

Cuadro 6: Comparación de microcontroladores.

En primer lugar se consideraron microcontroladores de diferentes fabricantes, pero dado que las prestaciones, características y precios son similares, se terminó decidiendo por aquellos de la marca Freescale dada la experiencia de los desarrolladores del Intelligent Tracker con los microcontroladores de este proveedor.

En el cuadro 6 se puede apreciar que los precios son relativamente similares para todos los microcontroladores, siendo los de la serie Kinetis K los de menor valor. A pesar de ser éste el menos eficiente en base al parámetro I_{DDRUN}/F_{CLK} ¹, se escogió la serie *Kinetis K* debido a su versatilidad y a su precio

¹El parámetro I_{DDRUN}/F_{CLK} da una noción de la eficiencia energética del microcontrolador, asumiendo que el consumo de corriente es proporcional a la frecuencia.

en relación a la máxima frecuencia de operación.

4.1.5. Alimentación

La complejidad en el diseño de la alimentación consiste en lograr que el dispositivo funcione durante 10hs seguidas sin necesidad de ser recargado durante ese período. Además se busca que el abastecimiento de energía presente un peso y volumen reducido, para no perjudicar a la portabilidad del dispositivo. Por este último motivo se descarta la conexión del equipo a la red eléctrica y se evalúan distintos tipos de baterías y pilas recargables, a fin de minimizar los costos para el usuario y garantizar la portabilidad del dispositivo.

- Litio-ion (Li-ion): Este tipo de baterías poseen una elevada capacidad energética, pueden operar un elevado número de ciclos, 1200 aproximadamente, con una vida útil media de dos a tres años, poseen una baja tasa de autodescarga y el voltaje de la misma varía poco al descargarse. Además, estas baterías suelen ser livianas, de pequeño tamaño y variadas formas, con un alto rendimiento, lo cual hace que resulten prácticas para equipos móviles. Su densidad de energía específica se encuentra aproximadamente en los $160Wh/kg$, su densidad de energía volumétrica en los $270Wh/L$, y su tensión nominal varía entre los 3,5 y 3,7V.
- Níquel-Metal Hidruro(NiMH): Las baterías de NiMH surgen como el reemplazo a las de níquel-cadmio, dado que poseen mayor capacidad energética con menor densidad de metales tóxicos. Se suelen utilizar en sectores industriales y se pueden encontrar en formato estándar AA y AAA para consumo final. Las especificaciones energéticas son similares a las de Li-ion. En este tipo de baterías, el número de ciclos suele ser de 1000 aproximadamente, y la tensión nominal de 1,5V.
- Litio-ion-Polímero (LiPo): Estas baterías son similares a las de Li-ion en tensión nominal, pero cuentan con la ventaja de que suelen ser más livianas. Por otro lado, la desventaja es que cuentan con un menor número de ciclos de uso que varía entre los 500 y los 1000. En cuanto a la vida útil y a la densidad energética poseen las mismas características.
- Litio-ferrofosfato (LiFePO₄): Las baterías de LiFePO₄ son una derivación de las de Li-ion, ya que se encuentran constituidas por una batería de ion-litio con un cátodo de fosfato de hierro-litio. Su tensión nominal se mantiene cerca de los 3,2V durante la descarga hasta que la misma se vacía. La densidad de energía es levemente superior a las de Li-ion, y posee mas de 2000 ciclos de uso.

En la figura 7 se presenta un gráfico de las distintas baterías en función de su densidad de energía.

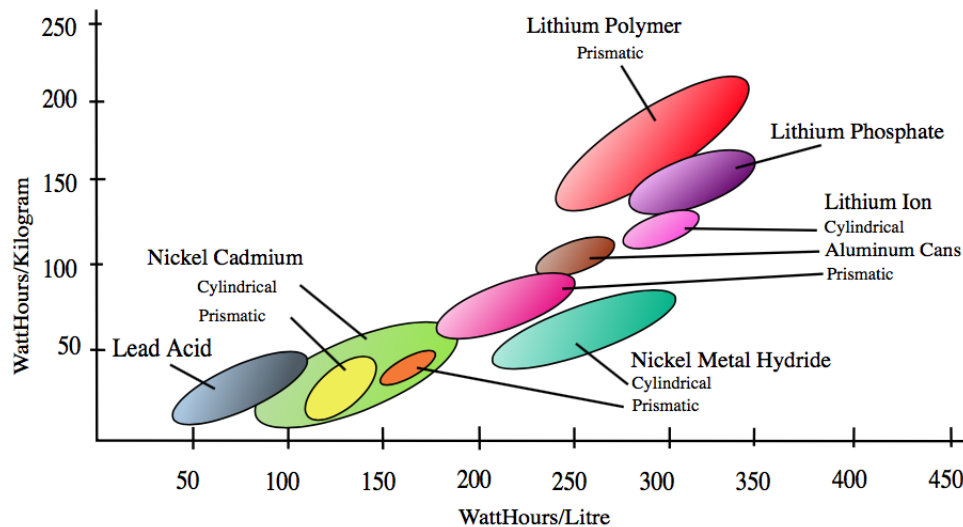


Figura 7: Gráfico de densidad de energía por masa y volumen para varias celdas secundarias.

Evaluando las baterías con mayor densidad de energía, se decide hacer uso de las baterías de *Li – Ion* dado que sus valores nominales de tensión cumplen con los requerimientos, mientras que las de *NiMH* y las de *LiFePO4* no, y además presentan un mayor número de ciclos de uso frente a las de *LiPo*.

Por otro lado, las baterías *Li – Ion* son utilizadas por la mayoría de los teléfonos celulares actuales, debido a que son de carga rápida, poseen una larga vida útil, y tienen una alta densidad volumétrica de energía como ya se mencionó; y el dispositivo Intelligent Tracker tiene funcionalidades parecidas a las de un teléfono móvil en lo que concierne al consumo (sin considerar la pantalla). Además, al ser utilizadas en teléfonos celulares, son más fáciles de conseguir y cambiar, y esto le da mayor confianza al usuario.

4.1.6. Tipo de antena

Existen dos tipos de antena, las activas y las pasivas. La antena pasiva, es aquella que capta la señal y la suministra al equipo, luego éste deberá amplificarla para hacerla útil. Por otro lado, la antena activa amplifica la señal débil y la suministra con un determinado valor.

A pesar de que las antenas activas presenten un mayor alcance, se opta por una antena pasiva dada la repercusión de su precio en el costo de fabricación del equipo. Además, el módulo SIM cuenta con una etapa de amplificación que permite el uso de antenas pasivas, las cuales suelen tener un menor tamaño permitiendo un mayor grado de integración.

	Antena pasiva	Antena activa
Precio	$\lesssim U\$D10$	$\gtrsim U\$D30$

Cuadro 7: Comparación de precios.

Los precios del cuadro 7 fueron extraídos de <http://www.digikey.com/>.

4.1.7. DFMEA

En la siguiente carilla se adjunta la tabla utilizada para el análisis de fallas. La misma es utilizada para seguir técnicamente la evolución del proceso de diseño, identificar los riesgos potenciales, ordenarlos y plantear las actividades destinadas a reducir los mismos.

En la DFMEA se especifica el modo de falla, que establece la forma o manera en que un sistema, subsistema o componente puede fallar; el efecto, de que modo la falla de un sistema, subsistema o componente, afectará al funcionamiento del equipo; la causa, es decir las potenciales razones por las cuales se puede producir una falla; los controles actuales para evitar ese tipo de falla; y las posibles recomendaciones.

DFMEA														
ID	Clase	Falla	Efectos posibles de la falla	S	Causas potenciales	O	Control Actual	D	NRP	Acción Recomendada	Resultados			NRP'
											S	O'	D	
1	GSM	El equipo no recibe ni envía SMS	El usuario no recibe respuesta del equipo	3	Ganancia de la antena GSM insuficiente	3		2	18	Cambiar el tipo de antena	3	3	2	18
2	GSM	El equipo no envía SMS	El usuario no recibe respuesta del equipo	5	La SIM card no tiene credito para enviar mensajes	4		2	40	Manual de Usuario: se coloca una advertencia. Y se aconseja consultar el credito a traves de internet	5	2	1	10
3	GSM	El equipo no atiende los llamados	El usuario no puede realizar escuchas	4	Interferencia o señal debil	2		2	16	Amplificar la señal, y mejorar la relación señal a ruido	4	2	2	16
4	GSM	La funcionalidad de escuchas llamadas pero no se escucha nada	El equipo atiende los llamados pero no se escucha nada	3	Interferencias dadas por un falso contacto del microfono	2	Control de calidad previa a la venta	1	6		3	2	1	6
5	GPS	El modulo GPS no logra conectar con los satélites	El equipo no cumple su función	4	Ganancia de la antena GPS insuficiente	5		1	20	Cambiar la antena a una activa	4	5	1	20
6	GPS	El modulo GPS no proporciona datos	El usuario no recibe la localización	4	El modulo GPS no encuentra suficientes satélites	3	Comando para conocer el estado	1	12		4	3	1	12
7	GPS	El modulo GPS no proporciona datos	El usuario no recibe eventos	5	El modulo GPS no encuentra suficientes satélites	3	Comando para conocer el estado	2	30	Manual de Usuario: Se recomienda verificar el estado de vez en cuando	5	2	2	20
8	GPS	No se detecta apropiadamente el movimiento	El usuario no recibe eventos	4	Los datos de la velocidad son muy ruidosos	3	Fijar un umbral de detección	2	24		4	3	2	24
9	GPS	Señal GPS debil	El equipo demora en responder	4	Equipo ubicado en un lugar con blindaje electromagnético	4		2	32	Manual de Usuario: Recomendaciones para el uso	4	2	2	16
10	Software	Respuesta incorrecta del dispositivo	El usuario recibe datos incorrectos	5	Módulo SIM mal configurado	1	Control de calidad previa a la venta	2	10		5	1	2	10
11	Componentes	Sobrettemperatura	El usuario se quema	5	Aumento de corrientes por evalamiento térmico o cortocircuito	1		3	15	Ventilación	5	1	3	15
12	Componentes	El dispositivo no funciona, funciona parcialmente, o por momentos	El dispositivo no cumple con las especificaciones	5	Componentes en falso contacto dadas las vibraciones del medio en el que se encuentra	3	Multiples fijaciones del dispositivo al gabinete	2	30	Manual de Usuario: Recomendaciones para el uso	5	2	2	20
13	Alimentación	El equipo no enciende	El dispositivo no funciona	3	Batería descargada	5		2	30	LED de encendido y/o se colocan recomendaciones para el uso de la batería en el manual del usuario	3	3	2	18
14	Alimentación	Tensión de alimentación incorrecta	Funcionamiento indebido de la etapa digital	4	Batería defectuosa o incorrecta	1	Control de calidad previa a la venta	2	8		4	1	2	8
15	Alimentación	El dispositivo no carga la batería	El equipo deja de funcionar cuando se descarga la batería	4	Cargador de baterías defectuoso	1	Control de calidad previa a la venta	2	8		4	1	2	8

Nivel de Prioridad del Riesgo (NRP)		
Acceptable	IC ≤27	
Bajar hasta valor razonable	27 < IC < 48	
No acceptable	48 ≤ IC	

Nivel de Severidad (S)	Proba. De Ourrencia (O)	Detectabilidad (D)
insignificante	remota	completa
poco significativo	pequeña	alta
moderado	media	moderada
grave	alta	pequeña
muy grave	muy alta	remota

4.2. Factibilidad de tiempos

El estudio de factibilidad de tiempos del proyecto busca detallar las actividades necesarias para terminar el proyecto, organizarlas, determinar sus duraciones y dependencias. De este análisis se puede determinar el camino crítico y posibles caminos sub-críticos, distribución de recursos más conveniente, y posibles optimizaciones.

4.2.1. Planificación - PERT

El PERT (Program Evaluation & Review Technique) se utiliza para controlar la ejecución de proyectos con gran número de actividades; la duración de dichas actividades se considera una variable aleatoria de distribución beta. Este método parte de la descomposición del proyecto en actividades. Entendiendo por actividad la ejecución de una tarea que exige para su realización el uso de recursos, tales como mano de obra, maquinaria, materiales, etc.

En la tabla 8 se listan las actividades que se llevaron a cabo, con sus respectivas duraciones (tiempo optimista, tiempo más probable y tiempo pesimista) en días. Las actividades y sus duraciones se modificaron a lo largo del proyecto, dado que muchas tareas se vieron retrasadas por agentes externos tales como proveedores, por motivos personales de los integrantes de Intelligent Tracker, y por falta de experiencia en la planificación de tiempos. El diagrama de PERT de dichas actividades se encuentra en la figura 8, el camino crítico más probable está resaltado en amarillo.

ID	Actividad / Tarea	T_{op}	T_{mp}	T_{pe}	Predecesoras
0	Investigación Inicial	22	33	68	-
1	Determinación de Especificaciones y requerimientos	20	31	62	0
2	Análisis de Factibilidad	21	32	64	1
3	Diseño conceptual	15	24	50	2
4	Elección de componentes	16	24	47	2
5	HW - diseño de circuitos esquemáticos	18	28	58	3;4
6	Compra de componentes	16	24	50	5
7	Diseño Mecánico	19	29	58	5
8	HW - diseño y confección de PCB	23	35	69	5
9	HW - medición y verificación	17	25	48	6;8
10	Montaje en Gabinete	7	11	21	7;9
11	SW - diseño	14	21	42	4
12	SW - desarrollo	32	48	95	5;11
13	Pruebas integradoras	27	42	85	12;10
14	Revisión de la documentación	20	30	61	13

Cuadro 8: Actividades y sus tiempos en días.

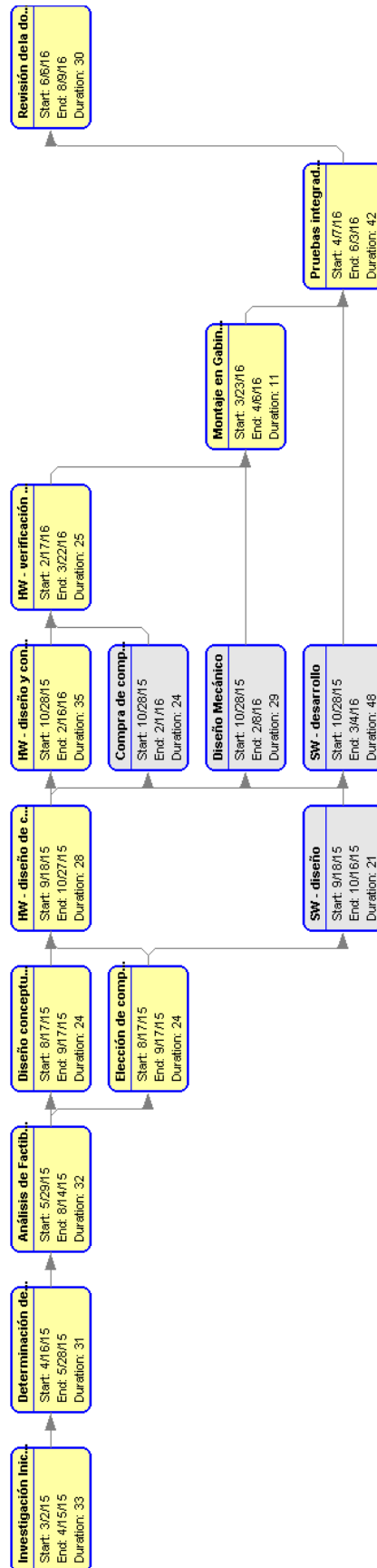


Figura 8: Diagrama de PERT del proyecto.

Planificación - Descripción de actividades

A continuación se describen las actividades presentes en el cuadro 8. Cada actividad incluye su correspondiente documentación, ésta es evidencia de la compleción de la tarea en cuestión.

- **Investigación inicial:** Se realiza un análisis sobre el mercado en el cual se quiere ingresar, buscando el interés de los potenciales consumidores.
- **Determinación de especificaciones y requerimientos:** en base a la investigación inicial, se establecen los requerimientos de los potenciales clientes, y las especificaciones necesarias para cumplirlos.
- **Análisis de Factibilidad:** incluye análisis económico, legal y tecnológico; éstos deben asegurar que el proyecto sea viable.
- **Diseño conceptual:** Definidas la especificaciones, se realiza un esquema modular y funcional del dispositivo que se desea realizar. Ciertos aspectos del análisis de factibilidad pueden ser *inputs* de esta tarea, pero se decidió ejecutarlas en paralelo para acelerar los tiempos.
- **Elección de componentes:** Se definen, seleccionan los componentes y módulos críticos que se piensan utilizar, y se los compra para la construcción del prototipo.
- **HW - diseño de circuitos esquemáticos:** en función de los requerimientos que le competen al HW, el diseño conceptual y los componentes elegidos, se diseñan los circuitos esquemáticos.
- **Compra de componentes:** se compran los componentes que hasta el momento no habían sido comprados.
- **Diseño mecánico:** diseño (o búsqueda) del gabinete, ubicación de interfaces con el usuario, etc. Finalmente se compra el gabinete.
- **HW - diseño y confección de PCB:** su principal *output* es el/los PCB. Debe haber diálogo fluido entre el/los que se encarguen de esta tarea y el/los que se encarguen de «Diseño mecánico».
- **HW - medición y verificación:** prueba de los módulos a nivel circuital.
- **SW - diseño:** en función de las especificaciones que le competen al SW, los componentes elegidos, y el diseño conceptual, se establece cómo el SW debe realizar sus actividades y cómo subdividirlas (capas, módulos, etc).
- **SW - desarrollo:** su principal *output* es el código fuente.
- **Pruebas integradoras:** se prueban HW y SW junto con el diseño mecánico, y se verifican que las especificaciones y requerimientos se cumplan.
- **Montaje de prototipo en gabinete:** Se monta el prototipo en el gabinete, y se hacen las modificaciones necesarias, por ejemplo agujeros para llaves, LED, etc.
- **Revisión de la documentación y ajustes finales:** si bien cada actividad incluye su documentación, es muy probable que haya que hacer ajustes finales a la documentación.

4.2.2. Planificación - Simulación de Montecarlo

A partir de los tiempos optimistas, pesimistas y más probables del cuadro 8, se realizó una simulación de Montecarlo de 10^3 iteraciones sobre la duración del proyecto (figura 9). De dicha simulación se obtuvo una duración media de 466 *días* y un desvío estándar de 25 *días*. Se asumió una distribución de probabilidad beta para la duración de las actividades con una media que sigue a la Ecuación 1.

$$\mu = \frac{T_{op} + 4 \cdot T_{mp} + T_{pe}}{6} \quad (1)$$

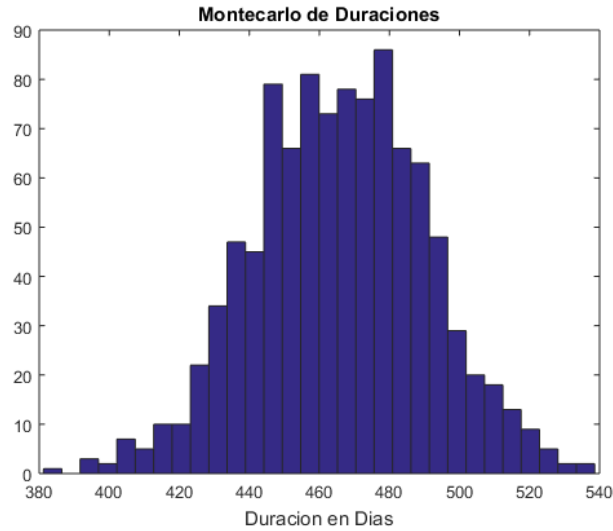


Figura 9: Histograma de duración del proyecto, se asume una distribución de probabilidad beta para la duración de cada actividad.

4.2.3. Programación

Para la programación de actividades se hace uso de los diagramas de Gantt, a través de la aplicación *Open Proj*. Esta herramienta gráfica resulta útil para la programación y control, dado que tiene el objetivo de reflejar las diferentes tareas o actividades a lo largo de un tiempo.

En la Figura 10 se puede observar el diagrama de Gantt para las actividades definidas con anterioridad; el camino crítico está marcado con rayas. Como ocurrió con la planificación, la programación se fue ajustando durante el transcurso del proyecto a medida que surgieron imprevistos. Se consideró que los días de trabajo son de Lunes a Viernes (aunque en algunas semanas puede haber más dedicación que en otras), y en épocas de exámenes finales y vacaciones no se trabajó (marcadas en violeta). Se destaca que dada la escasez de recursos humanos para realizar las tareas, las mismas no se han paralelizado en gran medida.

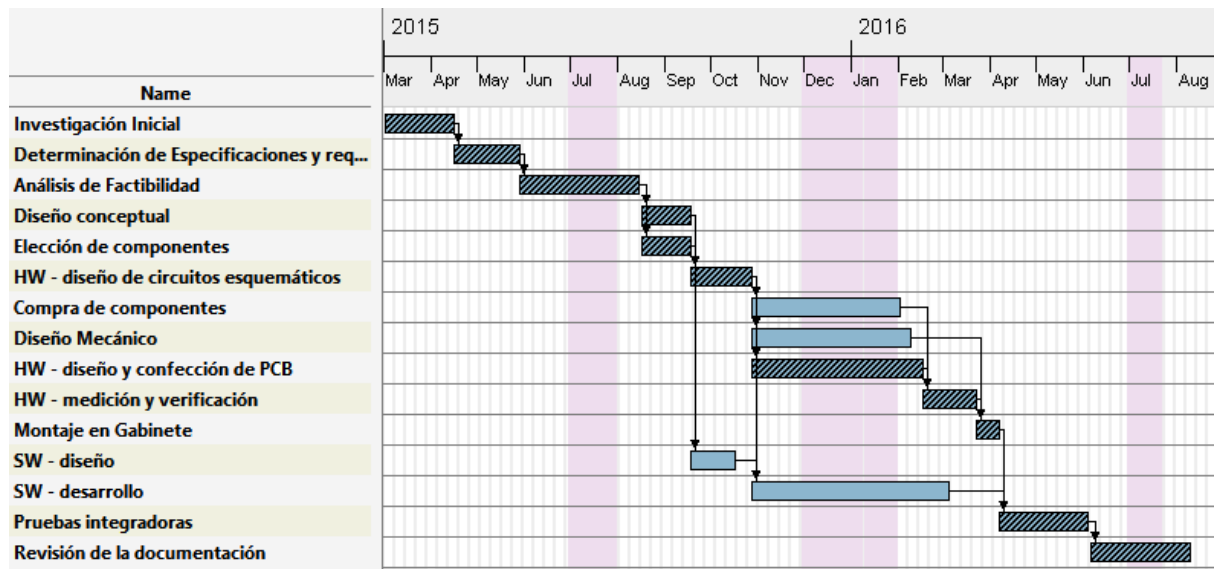


Figura 10: Diagrama de Gantt.

4.3. Factibilidad económica

Esta sección tiene la finalidad de analizar la viabilidad económica del proyecto y la rentabilidad que este puede producirle a los inversores interesados.

En base a un relevamiento de los precios de productos similares y los requerimientos solicitados por el cliente, obtenidos mediante la encuesta, se impone un precio de venta. Luego considerando el beneficio objetivo que se desea, se determina el costo objetivo, el cual deberá ser alcanzado para que el proyecto sea factible económicamente.

4.3.1. Mercado

En el mercado existen diversos tipos de Trackers especializados en vehículos como es el caso de Lo Jack y Ubicar. Estos suelen ser servicios, los cuales tienen un costo de instalación y posterior mantenimiento, a excepción de determinados casos en el cual los vehículos ya traen el sistema incorporado a la hora de su compra.

En el caso de Ubicar, se destaca que dicha empresa ofrece dos tipos de Trackers, uno sin seguimiento² y otro con seguimiento³, siendo el segundo aquel que presenta características competitivas con nuestro proyecto.

Fabricante		Precio de instalación (U\$D)	Precio de mantenimiento por mes (U\$D)
Lo Jack (aplicado a vehículos)		53,35	35,86
Ubicar (vehículos)	Sin seguimiento	65,71	16,48
	Con seguimiento	110,26	Entre 27,84 y 35,64

Cuadro 9: Listado de precios de la competencias.

Dado que el costo de instalación incluye el primer mes, el costo total al año de adquirir el producto, de los proveedores mencionados, se calcula como se expresa en la ecuación 2.

$$\text{Costo al año para el consumidor} = \text{Costo de instalación} + \text{Costo de mantenimiento} \cdot 11 \text{ meses} \quad (2)$$

Los costos para el consumidor al año de adquirir el producto de cada proveedor mencionado se encuentran en el cuadro 10.

Fabricante		Costo al año (U\$D)
Lo Jack (aplicado a vehículos)		447,81
Ubicar (vehículos)	Sin seguimiento	246,99
	Con seguimiento	$\geq 416,5$

Cuadro 10: Costo al año con los productos de las competencias.

Se aclara que los valores anteriores resultan de la tasación de los distintos proveedores para un auto de la marca Renault y modelo Sandero.

4.3.2. Análisis de costos

Para alcanzar el costo objetivo, es necesario lograr un costo de producción comparativamente menor al precio de venta.

Fijando el precio de venta en U\$D200 y considerando un margen de ganancia del 50%, el costo objetivo por unidad resultará del U\$D100.

²Sin seguimiento: el usuario no puede conocer la localización del dispositivo cuando el lo desee, solo en caso de un siniestro, contactando al proveedor.

³Con seguimiento: el usuario puede conocer la localización del dispositivo cuando el lo desee, sin necesidad de contactar al proveedor.

$$\text{Costo Objetivo} = \text{Precio de Venta} - \text{Beneficio Objetivo}$$

En cuanto a los factores impositivos se ha considerado el impuesto a los ingresos brutos (3%), la diferencia entre el IVA de compra y venta (21%), impuesto al cheque del 1,2% y el impuesto a las ganancias (35%). En cuanto a las cargas sociales estas son el 54% de los sueldos netos de los empleados (reducción del 17% debido a aportes jubilatorios, ley N°19032 y obra social).

En la figura 11 se puede observar que para el caso de los trackers con seguimiento continuo al cabo de medio año el producto a ser desarrollado resulta ser el menos costoso. El mismo se abona una única vez y no produce un costo de mantenimiento regulado por un tercero, sino del uso que el cliente le dará.

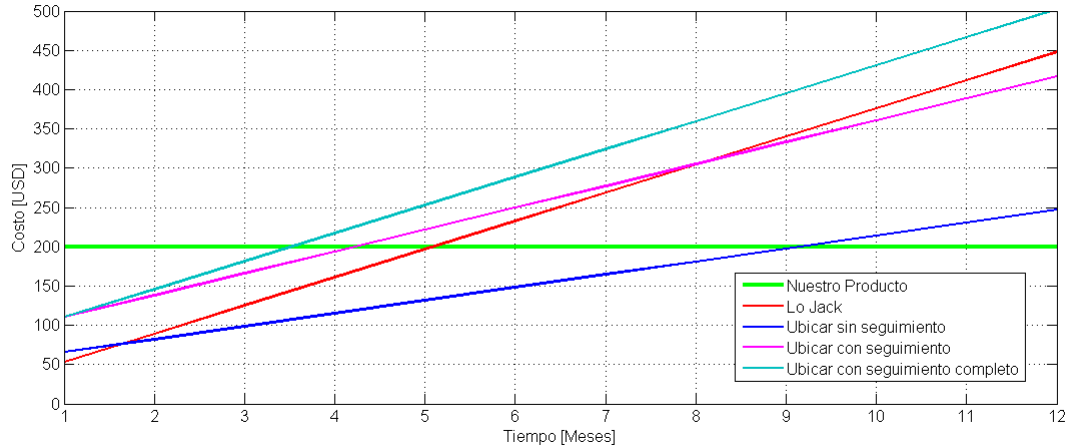


Figura 11: Costo del consumidor para cada producto en función de la cantidad de meses.

Inversión

Denominamos inversión a una colocación de capital con el objetivo de obtener una ganancia futura. Esta colocación supone una elección que resigna un beneficio inmediato por uno futuro.

Dentro de las inversiones requeridas se encuentran las siguientes.

- *Espacio físico:* Garantía y reserva, con gastos inmobiliarios, del alquiler de un monoambiente (dos meses de alquiler de U\$D 350).
- *Publicidad:* Diseño de una página web por U\$D 350.
- *Capital de trabajo:* Recursos que requiere la empresa para poder operar, herramientas, instrumental, asesoramiento legal, repuestos y bienes muebles, valuados en aproximadamente U\$D 1800.

El total de la inversión requerida es de U\$D 2500.

Costos fijos

Los costos fijos son aquellos que no son sensibles a pequeños cambios en los niveles de actividad de una empresa. Si se considera un horizonte de largo plazo todos los costos pasan a ser considerados variables ya que se entiende que la capacidad instalada de la planta puede ser variada y se pueden incorporar nuevas tecnologías.

- *Sueldos:* Siendo únicamente dos la cantidad de empleados, los sueldos iniciales se fijan en U\$D 1100 para cada uno.
- *Espacio físico:* A fines del proyecto se considera el alquiler de un monoambiente. Con una estimación de alquiler mensual de U\$D 350.

- *Publicidad:* Costos de mantenimiento de una página web por U\$D 5 mensuales y de difusión en redes sociales como Facebook, Twitter y Youtube por unos U\$D 100 al mes. Considerando la siguiente distribución, Facebook U\$D 30 al mes, Twitter U\$D 30 al mes y Youtube U\$D 40, siendo el costo en este último de U\$D 0,2 por video visto.

El total de los costos fijos considerando los gastos mencionados queda determinado en U\$D 2650.

Costos variables

Los costos variables son aquellos que se modifican de acuerdo a variaciones del volumen de producción. Lógicamente, si la empresa no produce durante un período los costos variables son nulos.

En la tabla 11 se muestran los principales costos dependientes de la fabricación del producto, para un lote de fabricación unitario, contando como proveedor a la empresa china Taobao.

<http://world.taobao.com/>

Bloque	Componente	Costo unitario (U\$D)	Cantidad	Sub-total (U\$D)
Comunicación y GPS	Módulo SIM5320A	23,23	1	23,23
	Sim Socket	0,15	1	0,15
	Antena GSM 800-900M	0,63	1	0,63
	Antena GPS	7,83	1	7,83
Alimentación	Bateria Motorola BD50	4,12	1	4,12
	Cargador de batería (MCP73831T-2ACI/OT)	0,08	1	0,08
	USB Mini tipo B	0,50	1	0,50
	3,3V Regulator (TC1262 -3.3VDBTR)	0,31	1	0,31
Microcontrolador	Microcontrolador (MK20DX64)	3,62	1	3,62
Miscellaneous	Resistencias SMD	0,002	15	0,03
	Capacitores SMD	0,01	25	0,25
	Capacitores electrolíticos	0,25	5	0,50
	Transistores	0,30	2	0,60
	Inductor	0,81	1	0,81
	Cristal	0,08	1	0,08
	Placa de circuito impreso	4,00	1	4,00
	Micrófono electret	1,40	1	1,40
	Mini Plug hembra para PCB	0,04	1	0,04
	LED	0,15	2	0,30
	Interruptor	0,25	1	0,25
	Conector	0,06	1	0,06
	Estaño (60/40)	1,00	1	1,00
	Gabinete	3,64	1	3,64
Terminado	Packaging	6,00	1	6,00
Total sin considerar el costo de importación (U\$D)				58,79
Costo Total de Materiales (U\$D)				78,19

Cuadro 11: Listado de costos de materiales.

El total de los costos variables considerando los materiales para la fabricación del producto y el costo de armado o montaje, queda determinado en U\$D 80.

4.3.3. Punto de equilibrio

El Punto de equilibrio es aquel en el que los ingresos totales igualan a los costos totales (fijos y variables), esto es, en el que se obtiene un beneficio igual a cero. La empresa no tiene beneficios ni pérdidas.

Se determina este punto a fin de cuantificar el volumen mínimo de unidades a producir y vender, para alcanzar un nivel de rentabilidad deseado. Es decir, el volumen de ventas a partir del cual dicha empresa obtendrá beneficios.

Por lo tanto, para calcular el punto de equilibrio se iguala la ecuación de costo total a la ecuación del ingreso total, ambas en función de la cantidad.

- Ecuación de ingresos totales: Se compone del precio de venta por la cantidad vendida.

$$IT = P.q$$

- Ecuación de costos totales: Se compone de la sumatoria de los costos fijos y los costos variables por la cantidad producida.

$$CT = CF + CV.q$$

De esta manera igualando el ingreso total al costo total, se obtiene el punto de equilibrio de la siguiente forma.

$$Punto\ de\ equilibrio = q = \frac{CF}{P - CV}$$

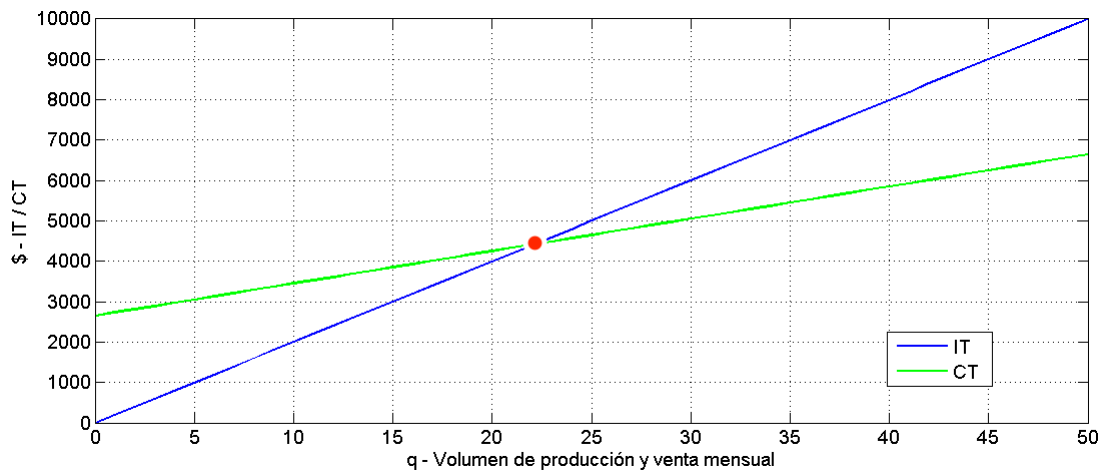


Figura 12: Punto de equilibrio en función de las curvas de Costo total e Ingreso total.

Para el caso de nuestro producto resulta que el punto de equilibrio se encuentra en las 22,08 unidades producidas y vendidas.

De este análisis se reconoce que el proyecto resulta rentable si la cantidad de unidades producidos y vendidos al mes es superior a 23 productos.

4.3.4. Modelo de negocios

Nuestro potencial mercado serán las aseguradoras y los particulares, por lo tanto, para introducir el producto y penetrar en el mercado nos contactaremos con corredores de seguros, mediante los cuales conoceremos a nuestros futuros clientes. Además se ofrecerán contratos de leasing a clientes directos, alquilando uno de nuestros productos a modo de prueba, con la posibilidad de comprarlo o devolverlo. En forma paralela se complementará y proveerá información del producto en nuestra página web y mediante las redes sociales.

Se remarca que en el período de estudio del mercado se contactó con una empresa corredora de seguros, la cual nos ha garantizado que el producto es de su interés y que estaría dispuesta a obligarse con un contrato de suministros por un plazo de 2 años, encargando al menos 32 unidades por mes. La perfección del contrato mencionado resultará de gran importancia ya que pondrá un mínimo en las ventas y cubrirá las unidades requeridas para que el proyecto sea rentable. Además, podrán venderse unidades por cuenta propia, o a través de otros intermediarios, incrementando el número de ventas y en definitiva las ganancias.

A partir de los resultados obtenidos mediante internet y el método de evaluación sin costo, se procederá a evaluar la necesidad y factibilidad de su comercialización a través de medios audio visuales, como pueden ser la televisión, la radio o las revistas. Teniendo en cuenta que $30cm^2$ de publicidad en una hoja interna del diario tiene un costo aproximado de U\$D 300.

Ciclo del producto

Dados los avances, cambios tecnológicos y la saturación del mercado para esta clase de productos, el ciclo de vida se asume de 2 a 3 años, dado que es el tiempo en el cual se comenzarán a presentar nuevas versiones del dispositivo, incorporando nuevas funciones como es el caso de la comunicación por 3G y/o 4G, prolongando el ciclo de vida en base a las nuevas características.

Sociedad

A fin de llevar acabo nuestras actividades, se formará una Sociedad de Hecho (SH). Se opta por este tipo de sociedad dado que posee menores gastos administrativos, y que no requiere inscripción en la Inspección General del Justicia (IGJ), sólo requiere inscripción en AFIP y la generación del CUIT con la presentación del documento de los socios.

Además, la carga impositiva es menor en comparación con la SRL o la SA. Las SH son las únicas que pueden tributar a través del monotributo, permitido hasta 3 socios. Tampoco tributan impuesto a las ganancias de forma directa sino a través de los socios, los resultados positivos se distribuyen entre los socios y será sobre ellos que recaiga el impuesto.

Acceder a créditos o préstamos resulta más complicado para las SH. El hecho de no contar con un instrumento constitutivo y no presentar habitualmente información contable, les complica la obtención de financiamiento externo, y así las posibilidades de crecimiento. Si esto llegara a ser un inconveniente en el futuro, dado que limita el crecimiento de la empresa, se evaluará constituir una Sociedad con personería jurídica.

Finalmente, se destaca que en este tipo de sociedades, al no poseer personería jurídica, los socios son responsables ilimitados y solidarios frente a las deudas de la organización. Los acreedores pueden accionar contra la sociedad en un principio, o contra cualquiera de los socios de forma indistinta, respondiendo éstos con todo su patrimonio si fuera necesario. Pero dado que no se planea recurrir a créditos y que el tipo de producto no implica riesgos para la salud de los usuarios, no resulta determinante esta característica. Por otro lado, a fin de prever los riesgos patrimoniales en caso de que el producto no cumpla las expectativas, se presentarán aclaraciones respecto a las limitaciones y al correcto uso del mismo en el manual del usuario.

4.3.5. Evaluación de la inversión del proyecto

A continuación se presentan los resultados de un conjunto de herramientas de estudios, destinadas a determinar la conveniencia de dedicar recursos disponibles en el presente para este proyecto, con la finalidad de obtener beneficios en el futuro.

A partir de las simulaciones, en el caso de celebrarse el contrato de suministros, se obtiene que para un ciclo de vida de 24 meses, el payback es de 11 meses y el payback actualizado de 12,7 meses. La VAN es de $U\$D 1955,4$ con una TREMA del 2,6 % mensual, es decir con una tasa nominal anual del 31,25 %; valor que ofrecen algunos bancos en plazos fijos. Finalmente, la TIR es del 9 % mensual.

Payback	11 <i>meses</i>
Payback Actualizado	12,7 <i>meses</i>
VAN	$U\$D 1955,4$
TIR mensual	9 %

Cuadro 12: Evaluación del proyecto con el contrato de suministros.

Del análisis se observa que de celebrarse el contrato de suministros con al menos una empresa, como se ha mencionado, la realización del proyecto resulta favorable y se destaca que si además de dicho contrato se venden unidades por otros medios los resultados serían aún más alentadores. Considerando los resultados de la encuesta, en forma pesimista dado el porcentaje de interesados en condiciones de adquirir el dispositivo, se estima que las ventas se verán incrementadas en 5 unidades mes a mes durante el primer año, y que luego en el segundo año, dada la saturación del mercado, la cantidad de ventas se verá reducida en la misma razón de unidades mes a mes.

Payback	6,2 <i>meses</i>
Payback Actualizado	6,4 <i>meses</i>
VAN	$U\$D 21545,8$
TIR mensual	30 %

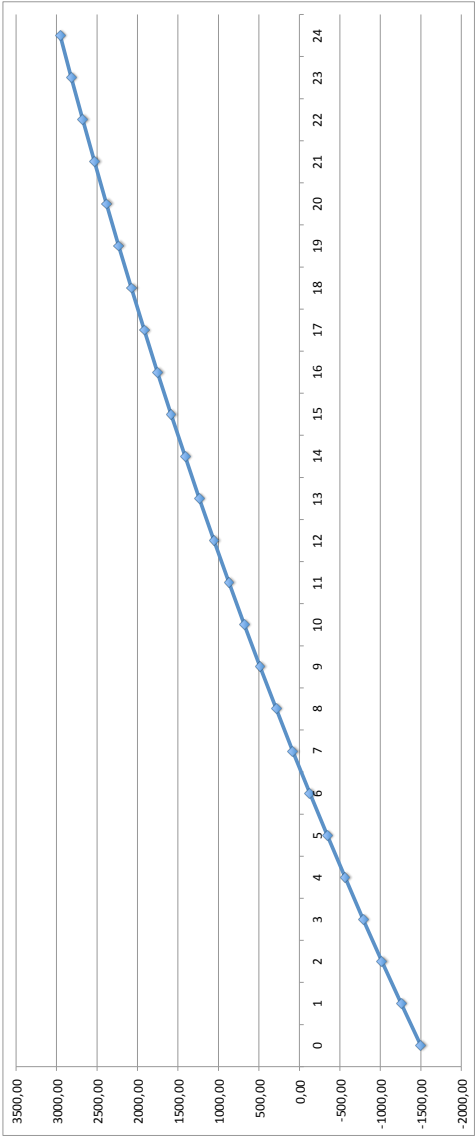
Cuadro 13: Evaluación del proyecto con el contrato de suministros y ventas realizadas por otros medios.

Al cabo de dos años el mercado se verá saturado por este modelo de Intelligent Tracker por lo que se debería introducir una versión que incorpore mejoras a fin de permanecer en el mercado.

Flujo de fondos con ventas dadas únicamente por el contrato de suministros																															
Mes		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24					
Ventas		0	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32						
Fondos		1500,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00						
Inversion		0,00	2200,00	2200,00	2200,00	2200,00	2200,00	2200,00	2200,00	2200,00	2200,00	2200,00	2200,00	2200,00	2200,00	2200,00	2200,00	2200,00	2200,00	2200,00	2200,00	2200,00	2200,00	2200,00	2200,00						
Sueldos		0,00	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00						
C. fijo		0,00	2560,00	2560,00	2560,00	2560,00	2560,00	2560,00	2560,00	2560,00	2560,00	2560,00	2560,00	2560,00	2560,00	2560,00	2560,00	2560,00	2560,00	2560,00	2560,00	2560,00	2560,00	2560,00	2560,00						
C. Variable		0,00	6400,00	6400,00	6400,00	6400,00	6400,00	6400,00	6400,00	6400,00	6400,00	6400,00	6400,00	6400,00	6400,00	6400,00	6400,00	6400,00	6400,00	6400,00	6400,00	6400,00	6400,00	6400,00	6400,00						
Ingreso Brutos		0,00	192,00	192,00	192,00	192,00	192,00	192,00	192,00	192,00	192,00	192,00	192,00	192,00	192,00	192,00	192,00	192,00	192,00	192,00	192,00	192,00	192,00	192,00	192,00						
Impuesto al Cheque		0,00	26,40	26,40	26,40	26,40	26,40	26,40	26,40	26,40	26,40	26,40	26,40	26,40	26,40	26,40	26,40	26,40	26,40	26,40	26,40	26,40	26,40	26,40	26,40						
Impuesto al IVA		0,00	334,14	334,14	334,14	334,14	334,14	334,14	334,14	334,14	334,14	334,14	334,14	334,14	334,14	334,14	334,14	334,14	334,14	334,14	334,14	334,14	334,14	334,14	334,14						
Impuesto a las Ganancias		0,00	334,14	334,14	334,14	334,14	334,14	334,14	334,14	334,14	334,14	334,14	334,14	334,14	334,14	334,14	334,14	334,14	334,14	334,14	334,14	334,14	334,14	334,14	334,14						
Egreso		-1500,00	-6150,89	-6150,89	-6150,89	-6150,89	-6150,89	-6150,89	-6150,89	-6150,89	-6150,89	-6150,89	-6150,89	-6150,89	-6150,89	-6150,89	-6150,89	-6150,89	-6150,89	-6150,89	-6150,89	-6150,89	-6150,89	-6150,89	-6150,89						
Cash Flow		-1500,00	249,11	249,11	249,11	249,11	249,11	249,11	249,11	249,11	249,11	249,11	249,11	249,11	249,11	249,11	249,11	249,11	249,11	249,11	249,11	249,11	249,11	249,11	249,11						
Cash Flow Acumulado		-1500,00	-1250,89	-1001,77	-752,66	-503,54	-254,43	-5,31	243,80	492,92	742,03	991,14	1240,26	1489,37	1738,49	1987,60	2236,72	2485,83	2734,94	2984,06	3233,17	3482,29	3731,40	3980,52	4229,63						
Cash Flow Act.		-1500,00	243,04	231,33	217,85	202,88	188,41	174,47	160,14	145,46	130,89	116,18	101,86	87,23	72,60	57,72	42,60	27,27	11,73	-3,82	-19,32	-34,73	-50,00	-65,11	-80,00						
V.A.N.		-1500,00	-1256,96	-1019,85	-788,52	-562,84	-342,66	-127,85	81,72	286,18	485,66	680,26	870,13	1055,36	1236,07	1412,37	1584,38	1752,19	1915,91	2075,63	2231,46	2383,48	2531,80	2676,51	2817,68						

Costo Variable 80
Precio Unitario 200
IB 3%
IC 1%
IG 35%
IV 25%
IVA 3%
TIR/MA

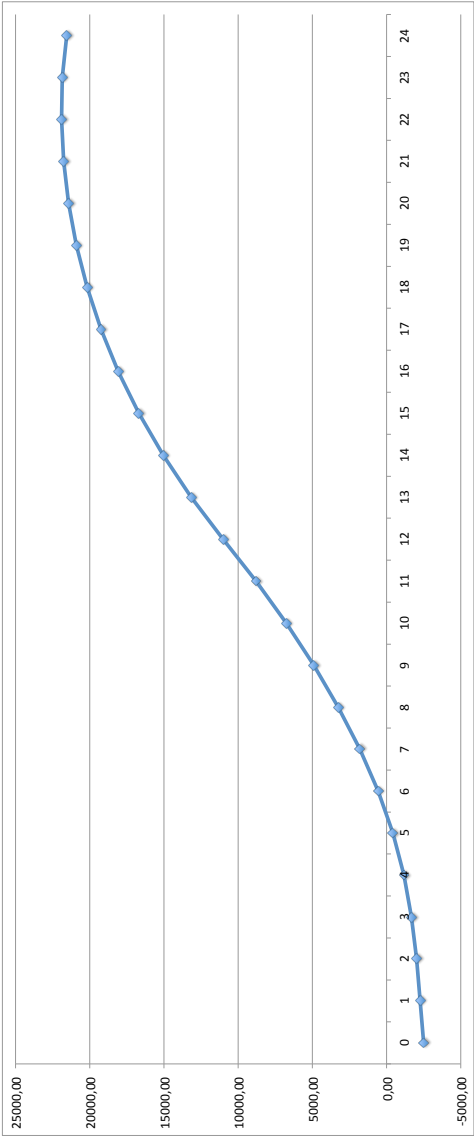
Payback 7,02133044
Payback Actualizado 7,61003956
VAN 2955,41
TIR Mensual 16%



		Flujo de fondos con ventas por distintos medios																								
Mes		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Ventas por contrato		0	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
Ventas por otros medios		0	0	0	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0	-5	-10
Ventas Totales		0	32	32	34	37	42	47	52	57	62	67	72	77	77	72	67	62	57	52	47	42	37	32	27	22
Fondos																										
Inversion		2500,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Sueldos		0,00	2200,00	2200,00	2200,00	2200,00	2200,00	2200,00	2200,00	2200,00	2200,00	2200,00	2200,00	2200,00	2200,00	2200,00	2200,00	2200,00	2200,00	2200,00	2200,00	2200,00	2200,00	2200,00	2200,00	
C. Fijo		0,00	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	450,00	
C. Variable		0,00	2560,00	2560,00	2720,00	2960,00	3360,00	3760,00	4160,00	4560,00	4960,00	5360,00	5760,00	6160,00	6560,00	6960,00	7360,00	7760,00	8160,00	8560,00	8960,00	9360,00	9760,00	10160,00	10560,00	
Ingreso		0,00	6400,00	6400,00	6800,00	7400,00	8400,00	9400,00	10400,00	11400,00	12400,00	13400,00	14400,00	15400,00	16400,00	17400,00	18400,00	19400,00	20400,00	21400,00	22400,00	23400,00	24400,00	25400,00	26400,00	
Ingreso Brutos		0,00	192,00	192,00	204,00	224,00	254,00	284,00	314,00	344,00	374,00	404,00	434,00	464,00	494,00	524,00	554,00	584,00	614,00	644,00	674,00	704,00	734,00	764,00	794,00	
Impuesto al Consumo		0,00	58,83	58,83	65,20	72,72	85,22	97,72	110,22	122,72	135,22	147,72	160,22	172,72	185,22	197,72	210,22	222,72	235,22	247,72	260,22	272,72	285,22	297,72	310,22	
Impuesto a las Ganancias		0,00	134,14	134,14	149,36	169,36	199,36	229,36	259,36	289,36	319,36	349,36	379,36	409,36	439,36	469,36	499,36	529,36	559,36	589,36	619,36	649,36	679,36	709,36	739,36	
Egreso		-2500,00	6150,89	6429,76	6848,07	7545,26	8242,44	8939,63	9636,82	10334,00	11031,19	11728,37	12425,56	13122,75	13819,94	14517,13	15214,32	15911,51	16608,70	17305,89	18003,08	18700,27	19397,46	20094,65	20791,84	
Cash Flow		-2500,00	249,11	370,24	551,93	854,74	1157,56	1460,37	1763,18	2066,00	2368,81	2671,63	2974,44	3277,25	3580,06	3882,88	4185,69	4488,51	4791,32	5094,14	5396,95	5699,77	5999,58	6299,39	6599,20	
Cash Flow Acumulado		-2500,00	-2250,89	-2001,77	-1651,53	-1079,60	-224,86	932,70	2393,07	4156,25	6222,25	8591,06	11262,69	14237,13	17211,57	19883,20	22252,01	24318,01	26081,19	27541,56	28699,12	2953,86	30105,79	30354,91	30272,29	
Cash Flow Act.		-2500,00	243,04	237,11	343,80	500,02	755,47	998,16	1228,56	1447,13	1654,30	1850,51	2036,17	2211,66	2377,72	2533,88	2680,58	2818,71	2948,76	3071,21	3186,58	3295,36	3398,14	3495,41	3587,68	
V.A.N.		-2500,00	-2256,96	-2019,85	-1676,05	-1176,03	-420,56	577,60	1806,16	3253,29	4907,59	6758,10	8794,27	11005,93	13163,65	15054,43	16690,02	18081,73	19240,48	20176,82	20900,91	21422,53	21751,14	21885,84	21849,03	

Costo Variable 80
Precio Unitario 200
IB 3%
IC 1%
ID 15%
IVA 21%
TIRMA 3%

Payback 6,1942543
Payback Actualizado 6,42133492
VAN 21545,78
TIR Mensual 30%



4.4. Factibilidad legal y responsabilidad civil

Para estudiar la factibilidad legal y responsabilidad civil se estudian las regulaciones y normas que se deben cumplir para comercializar un producto electrónico con las características del producto en el país. Si bien durante la etapa de prototipado no se incurrirá en ningún gasto de certificaciones, en dicha etapa se diseñará el producto para que sea certificable para en un futuro poder realizar las certificaciones pertinentes y sacar el producto a la venta.

4.4.1. Seguridad Eléctrica

El día 4 de diciembre de 2015 entró en vigencia la nueva resolución 508/2015 de la Secretaría de Comercio sobre las certificaciones de seguridad eléctrica, la cual establece las condiciones esenciales de seguridad de cumplimiento obligatorio para equipos electrónicos de baja tensión para su comercialización en la Argentina.. La misma anula y reemplaza la res. 92/1998 y varias de sus resoluciones afines (como la res.76/2002 y la res. 198, entre otras).

Todos los materiales y aparatos (excepto ciertas excepciones puntuales enumeradas en la res. 508/15, art. 14) diseñados para usar tensión menor a 50V están excluidos de tramitar seguridad eléctrica. No obstante, aquellos que están diseñados para funcionar con una fuente de alimentación externa (venga esta incluida en la importación o no) deberán tener una etiqueta sobre el producto con la totalidad de las características eléctricas de las fuentes de alimentación que resultan compatibles con el mismo y las advertencias al usuario sobre los riesgos resultantes de conectar una fuente con características distintas a las especificadas. Con lo cual para el producto no es necesario tramitar seguridad eléctrica ya que la máxima tensión que utiliza es de 5V. Además, se deben especificar las características de la fuente de tensión que se utiliza para cargar la batería: $5,0 \pm 0,1 \text{ VDC } 500 \text{ mA}$. Estas características se encuentran en cualquier salida USB 2.0 en adelante.

4.4.2. Compatibilidad Electromagnética

La compatibilidad electromagnética (EMC) es la capacidad de un equipo electrónico para funcionar satisfactoriamente en un ambiente de perturbaciones electromagnéticas de otros equipos, y a su vez no emitir perturbaciones electromagnéticas considerables al ambiente.

Los ensayos de EMC se realizan en el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI). El INTI también provee servicios de asistencia en el diseño de equipos electrónicos para minimizar las emisiones.

En general, las normas que se tienen en cuenta son las siguientes:

- IEC 61000-4-2: para Inmunidad a Descargas Electrostáticas directas e indirectas, por aire ó por contacto.
- IEC 61000-4-3: para Inmunidad a Campos Radiados de Alta Frecuencia (la última versión de esta norma llega hasta 2,5 GHz).
- IEC 61000-4-6: para Inmunidad a perturbaciones conducidas inducidas por campos radiados.
- IEC 61000-4-8: para Inmunidad a Campos Magnéticos Inducidos de 50 Hz.

El módulo GPS y GSM considerado para el producto (SIM5320) cumple todas las normativas (ver <http://simcom.ee/documents/SIM5320/SIM5320E%20CE%20Certificate.pdf>) para ser comercializado en el mercado europeo, por esta razón se considera que el producto no tendrá mayores problemas para ser aceptado en Argentina.

5. Ingeniería de detalle

En la figura 13 se presenta un esquema del dispositivo.

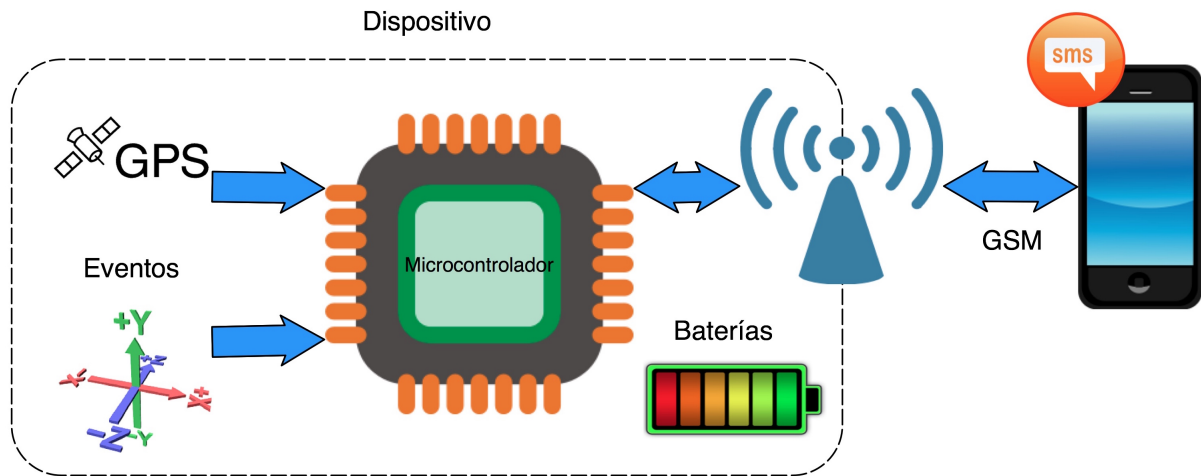


Figura 13: Esquema conceptual del producto.

5.1. Hardware

En esta sección se describe el hardware diseñado e implementado para el funcionamiento del producto. Se destaca que se realizaron dos diseños, uno a modo de prototipo con el fin de realizar pruebas y validar el diseño (éste se describirá en la Sección «Construcción del prototipo»), y otro más compacto para una futura producción en gran escala. Éste último se describirá en la presente sección.

5.1.1. Diagrama en bloques del hardware

A continuación se detalla el diagrama en bloques del hardware del dispositivo (Figura 14).

El hardware se puede separar en tres bloques. Uno de ellos será la alimentación del dispositivo y todo lo relativo a la misma, desde la batería, el cargador de baterías y el acondicionamiento de las tensiones de alimentación. Otro de los bloques será el microcontrolador, con todos los elementos requeridos para su funcionamiento. Este último se encontrará vinculado con un bloque que contiene todos los periféricos y componentes referido al módulo GSM y GPS.

En el diagrama, se destaca que el módulo SIM permite conectar un parlante para escuchar al usuario que realiza la llamada, por esto se ha decidido incluir en el hardware un conector (opcional), esto permitiría darle la funcionalidad completa de un teléfono móvil al dispositivo. Por otro lado, agregar una salida de audio al dispositivo permitiría interactuar con el potencial ladrón del objeto que se desea vigilar.

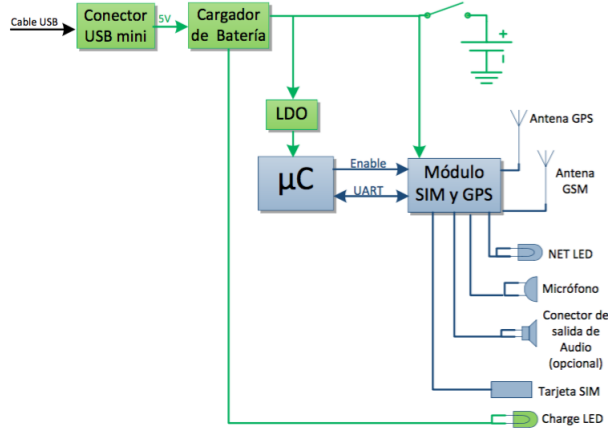


Figura 14: Diagrama en bloques del hardware.

5.1.2. Microcontrolador

Dentro de la serie Kinetis K de la marca *Freescall*, se eligió el microcontrolador *K20* [14], el más pequeño de la serie, de *ultra – low cost*, y de fácil adquisición en el país. Durante etapas de desarrollo y en el prototipo, se utilizó una placa de desarrollo *FRDM – K20D50M*, ésta contiene el microcontrolador *K20DX128VLH5*, el cual posee un nucleo *ARM® Cortex™ – M4*, y opera a 50MHz. Además, se destaca que el controlador posee una memoria flash de 128KB y una memoria ram de 16KB.

Este microcontrolador cuenta con tres bloques de UART, requeridos para la comunicación serie con el módulo SIM y la computadora, en caso de desear monitorear su actividad principalmente en la etapa de desarrollo.

En la figura 15 se encuentra el microcontrolador y los componentes necesarios para su correcto funcionamiento. Se utilizó la misma configuración que utiliza la placa de desarrollo; para mayor información se puede consultar el anexo.

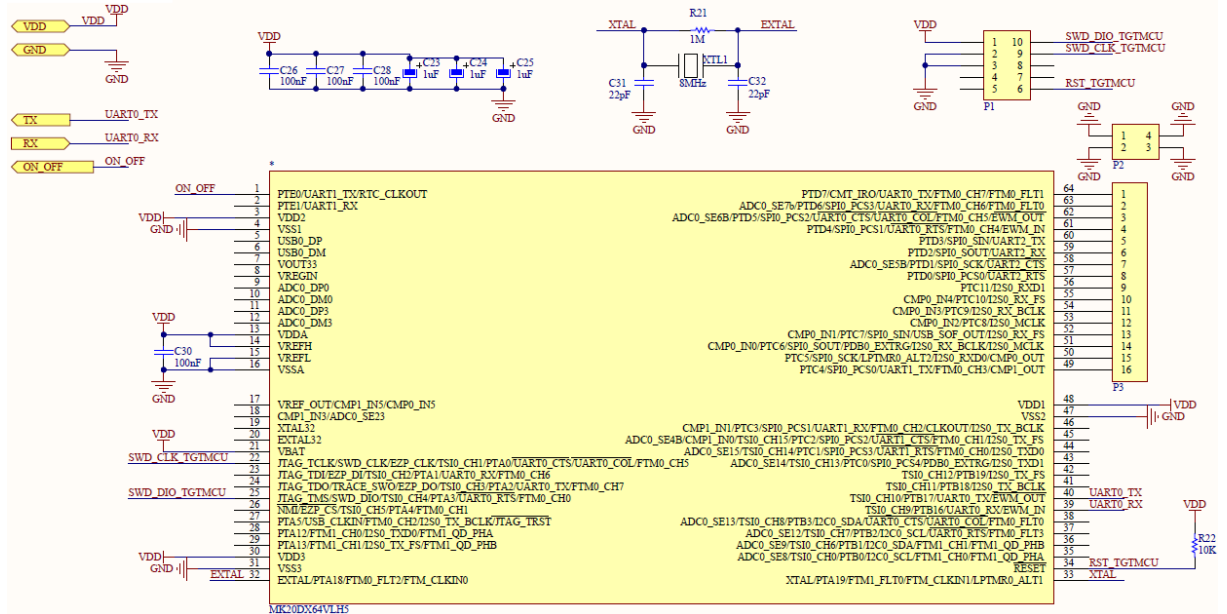


Figura 15: Esquemático del módulo del Microcontrolador.

5.1.3. Alimentación

El bloque de alimentación presentará la batería, el cargador de baterías, y un regulador de tensión.

En la Figura 16 se muestra la sección de alimentación o *power supply* del Intelligent Tracker. En este bloque se encuentran la batería, el cargador de baterías, con un led que indica si la batería se ha terminado de cargar, y el regulador de tensión que define los 3,3V para el resto del circuito.

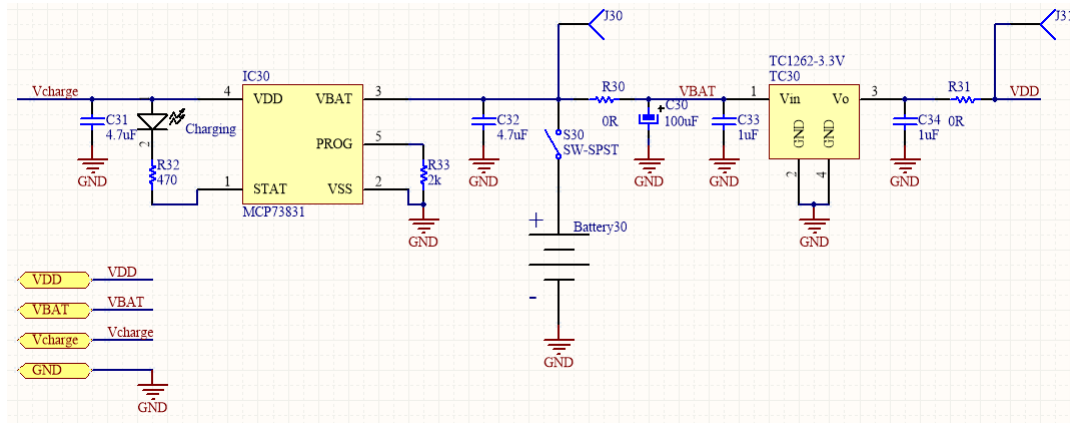


Figura 16: Circuito esquemático del módulo Alimentación.

Un factor importante de la batería, es la vida de la misma, por esto se decidió colocar una llave (*S30*) para desconectar la batería cuando no se utilice el dispositivo.

Otro factor fundamental de la portabilidad, es que sea fácil de cargar. Por esto se decidió que el Intelligent Tracker tenga un conector USB-mini, y se pueda recargar conectándolo a cualquier puerto USB (+5 V de tensión de alimentación). Dados estos requerimientos, se eligió el circuito integrado cargador de baterías *Li-Ion* MCP73832 (ver Figura 17), ya que es de bajo costo, uso sencillo, se consigue fácilmente en el país, y tiene un *package* pequeño (SOT-23-5). El LED es utilizado para señalar el estado de carga (ver Cuadro 14), mientras que la resistencia de programación es utilizada para configurar la corriente de carga del *preconditioning mode* (ver Figura 18) como se presenta en la ecuación 3.

$$R_{prog} = \frac{1000 V}{I_{req}} \quad (3)$$

La corriente máxima que entrega un puerto USB 2.0 de una PC es 500 mA , con $R_{prog} = 2,2\text{ k}\Omega$ se obtiene $I_{reg} = 454\text{ mA}$ y así hay un margen de seguridad de un 10 %.

Los capacitores de entrada y salida tienen la función de capacitores de *buffer* y sus valores son los recomendados por el fabricante en la hoja de datos.

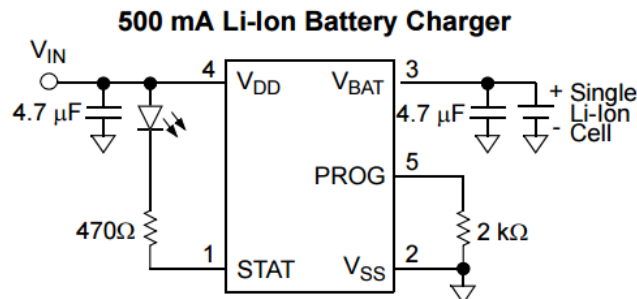


Figura 17: Cargador de baterías *Li – Ion* MCP73831

Charge Cycle State	STAT1
	MCP73832
Shutdown	Hi-Z
No Battery Present	Hi-Z
Preconditioning	L
Constant-Current Fast Charge	L
Constant Voltage	L
Charge Complete – Standby	Hi-Z

Cuadro 14: Ciclo de carga del cargador de baterías *Li – Ion* MCP73831

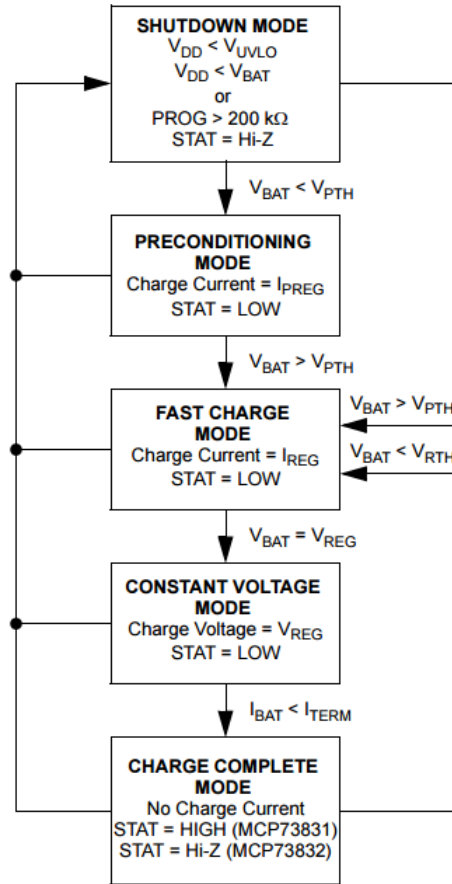


Figura 18: Diagrama de flujo del cargador de baterías *Li – Ion* MCP73831

Para simplificar el desarrollo y testeo del módulo se agregaron *test – points* (o puntos de medición) y resistencias de "0 Ω" que hacen las veces de *jumpers* para desacoplar etapas.

El regulador *LDO* (*Low – Drop Output voltage regulator*) [11] entrega una tensión de 3,3 V para el microcontrolador, partiendo de la tensión de la batería (puede estar entre 4,2 V y 3,5 V). Su baja tensión de *dropout* (130 mV typ @100 mA) permite que el microcontrolador tenga una tensión de 3,3 V cuando la tensión de la batería esté por encima de 3,43 V. Convertidores conmutados (por ej. *buck converter*) no fueron considerados ya que la tensión de caída máxima en el regulador de tensión es pequeña (0,9 V), entonces la disipación de potencia del mismo también lo es, y también porque los convertidores conmu-

tados son más complejos e introducen mucho más ruido electromagnético que un simple regulador lineal de tensión. Los capacitores de entrada ($C33$ y $C34$) son colocados por cuestiones de estabilidad y tienen los valores recomendados por el fabricante.

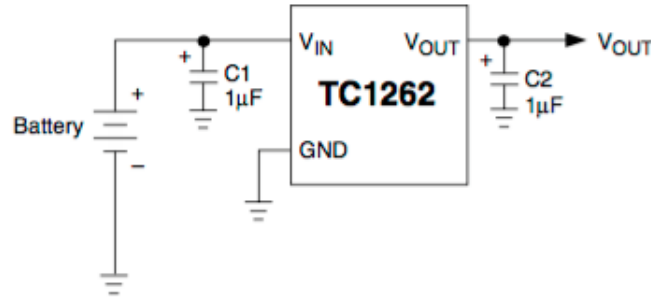


Figura 19: Drop Output voltage regulator TC1262.

5.1.4. Módulo GSM y GPS

En una primera instancia se hicieron desarrollos con un módulo GSM y GPS por separado, permitiendo paralelizar las tareas. La finalidad de este prototipo fue evaluar los sistemas por separado y verificar el correcto funcionamiento del diseño. El diseño para producción se desarrollo integrando ambas funcionalidades en un solo módulo, el SIM5320.

Módulo SIM5320

En la figura 20 se presenta un diagrama en bloques interno del módulo SIM5320 [21].

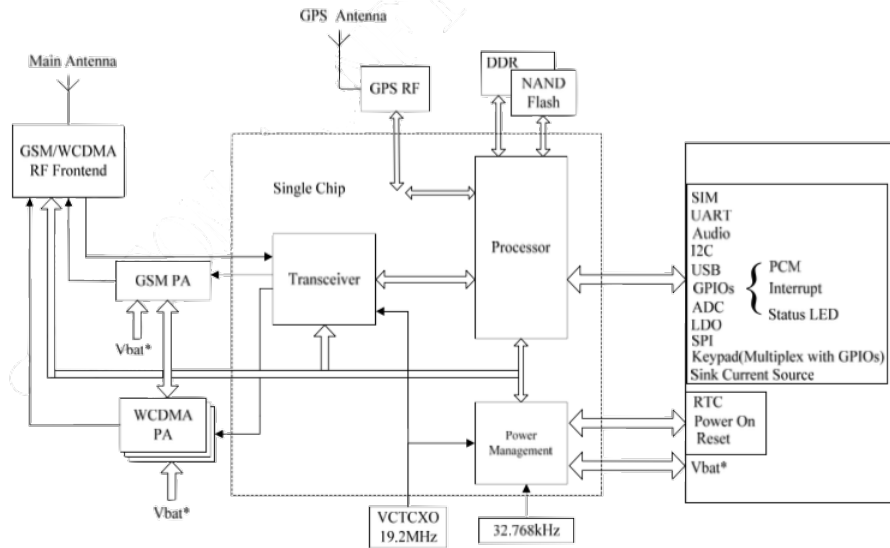


Figura 20: Esquema interno del módulo SIM5320.

La comunicación con el módulo es mediante un protocolo serie asincrónico, haciendo uso de los comandos AT.

La tensión de alimentación típica de estos módulos es 3,8V, la mínima 3,3V, y la máxima 4,2V. Cuando los módulos se encuentran transmitiendo alcanzan picos de corriente de 2A, durante un tiempo de 577μs, por ello el fabricante recomienda colocar un capacitor de tantalio, con una baja ESR, de 100μF próximo a la alimentación del módulo.

En la figura 21 se presenta el circuito propuesto por el fabricante para encender y apagar los módulos SIMCOM. Mediante este circuito, en el encendido del equipo se debe enviar un pulso, de estado bajo, con una duración típica de $180ms$ a fin de encender el módulo. Este pulso será generado mediante el microcontrolador quien gestionará el encendido y apagado del módulo.

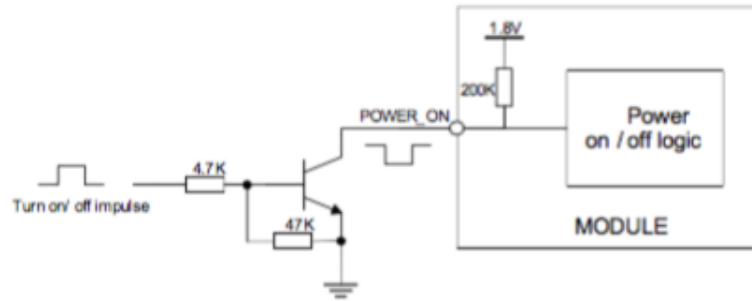


Figura 21: Circuito para encender y apagar el módulo SIM.

La figura 22 muestra el circuito propuesto por el fabricante para conectar la tarjeta SIM (Subscriber Identity Module) al módulo. La tarjeta SIM desmontable contiene la información de suscripción del usuario y una guía de teléfonos.

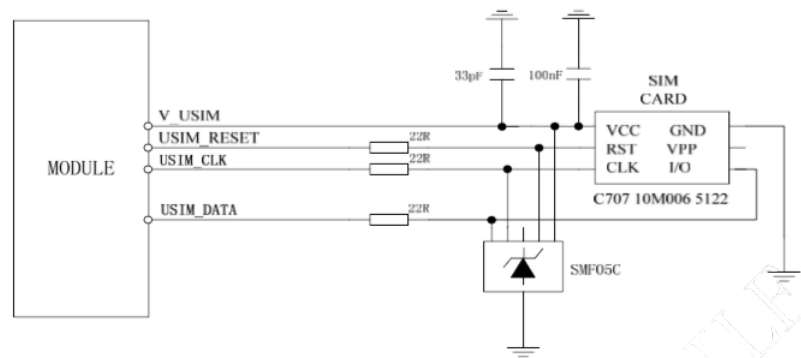


Figura 22: Conexión de la tarjeta sim al módulo SIM.

El circuito de la figura 22 es utilizado para indicar al usuario si el dispositivo se encuentra conectado o no a la red de telefonía móvil. La manera de indicarlo es mediante el parpadeo de un LED. En términos generales, cuando el periodo del parpadeo es menor al segundo ($200ms$ ON, $200ms$ OFF) el módulo se encuentra conectándose, y cuando es mayor ($800ms$ ON, $800ms$ OFF) se encuentra conectado.

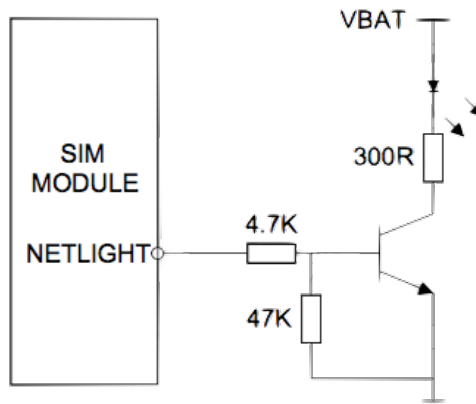


Figura 23: Circuito para indicar el estado de conexión del módulo SIM.

La figura 25a presenta el circuito recomendado por el fabricante y utilizado para captar el audio del ambiente donde se encuentra el tracker, mediante un micrófono electret, para luego transmitirlo vía telefónica al usuario que se encuentre conectado. También se consideraron micrófonos MEMs y magnéticos, los cuales son más baratos, pero no se consiguen en el país para realizar pruebas, y por otro lado los micrófonos electrets son recomendados por el fabricante, dado que los mismos suelen utilizarse para el rango de la voz por su respuesta en frecuencia, por lo tanto se optó por este tipo de micrófonos.

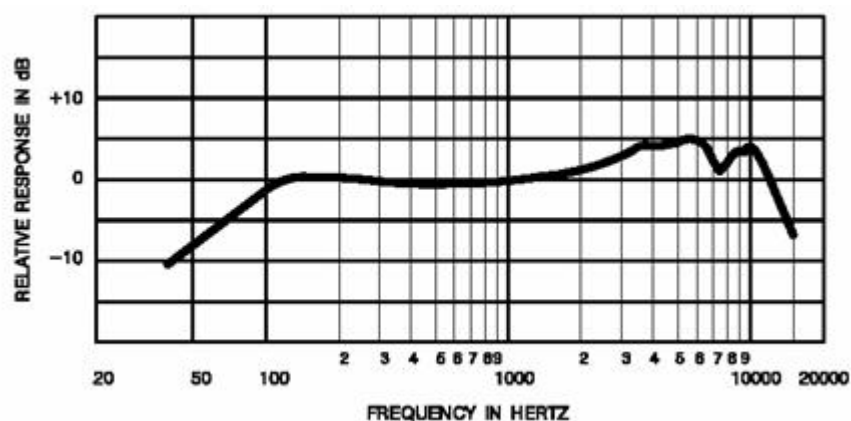


Figura 24: Respuesta en frecuencia típica de un micrófono electret.

Por otro lado, la Figura 25b muestra el circuito utilizado para escuchar, mediante un auricular, el audio proveniente del usuario que se comunica con el dispositivo. Esta última funcionalidad es opcional para la producción, como se mencionó anteriormente, con lo cual los componentes pueden o no ser soldados en producción.

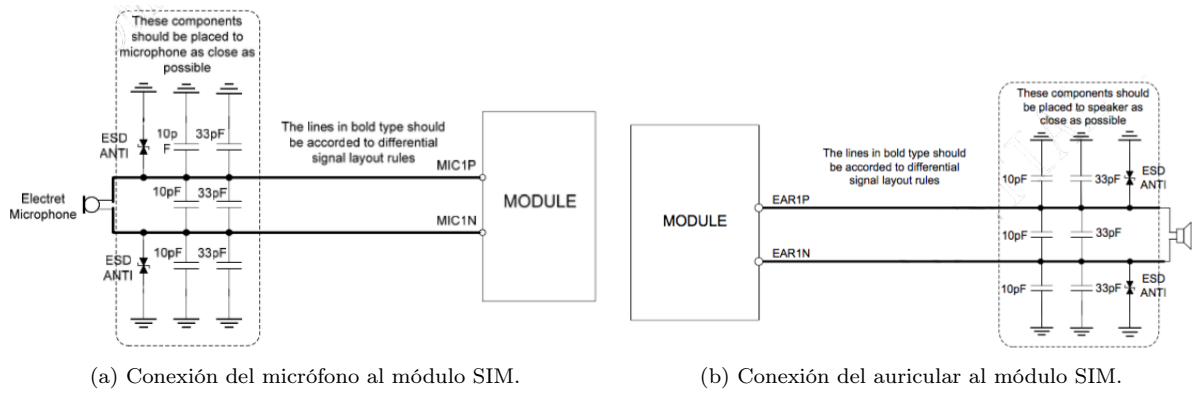


Figura 25: Circuitos de entrada y salida para las llamadas telefónicas.

Una propuesta para la conexión de las antenas es la presentada en la figura 26. Por otro lado, la antena de GSM se puede conectar directamente al módulo y el conexionado de la antena para el GPS depende de si la misma es activa o no.

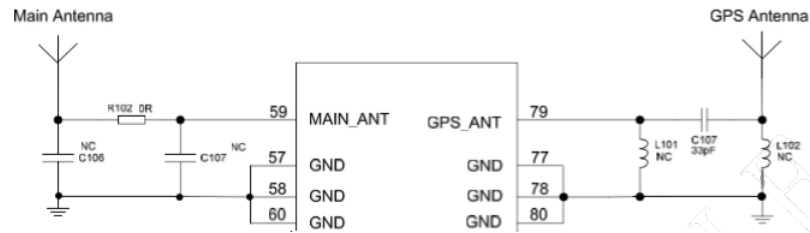


Figura 26: Esquema interno del módulo SIM5320.

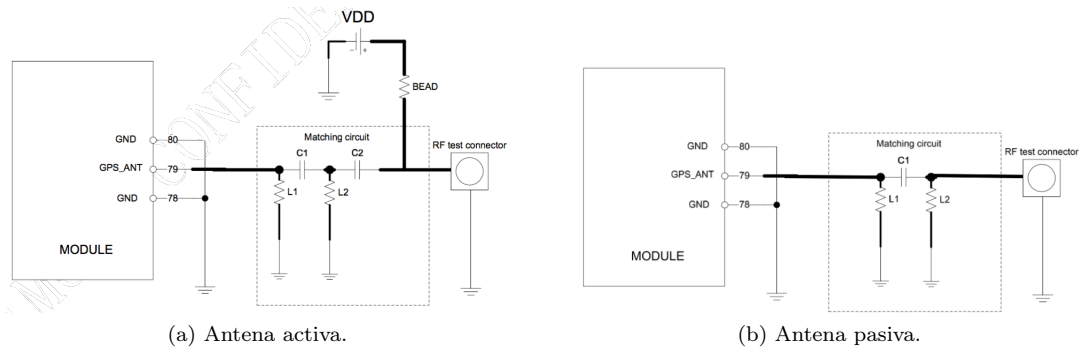


Figura 27: Circuitos posibles para los distintos tipos de antenas del GPS.

En la figura 28 se encuentra el módulo SIM5320, el cual integra GSM y GPS. Además se encuentra el micrófono electret para realizar escuchas, un conector mini plug para brindar la posibilidad de recibir audio de manera opcional, las antenas del GPS y GSM, y un LED que indica la conectividad del sistema de telefonía.

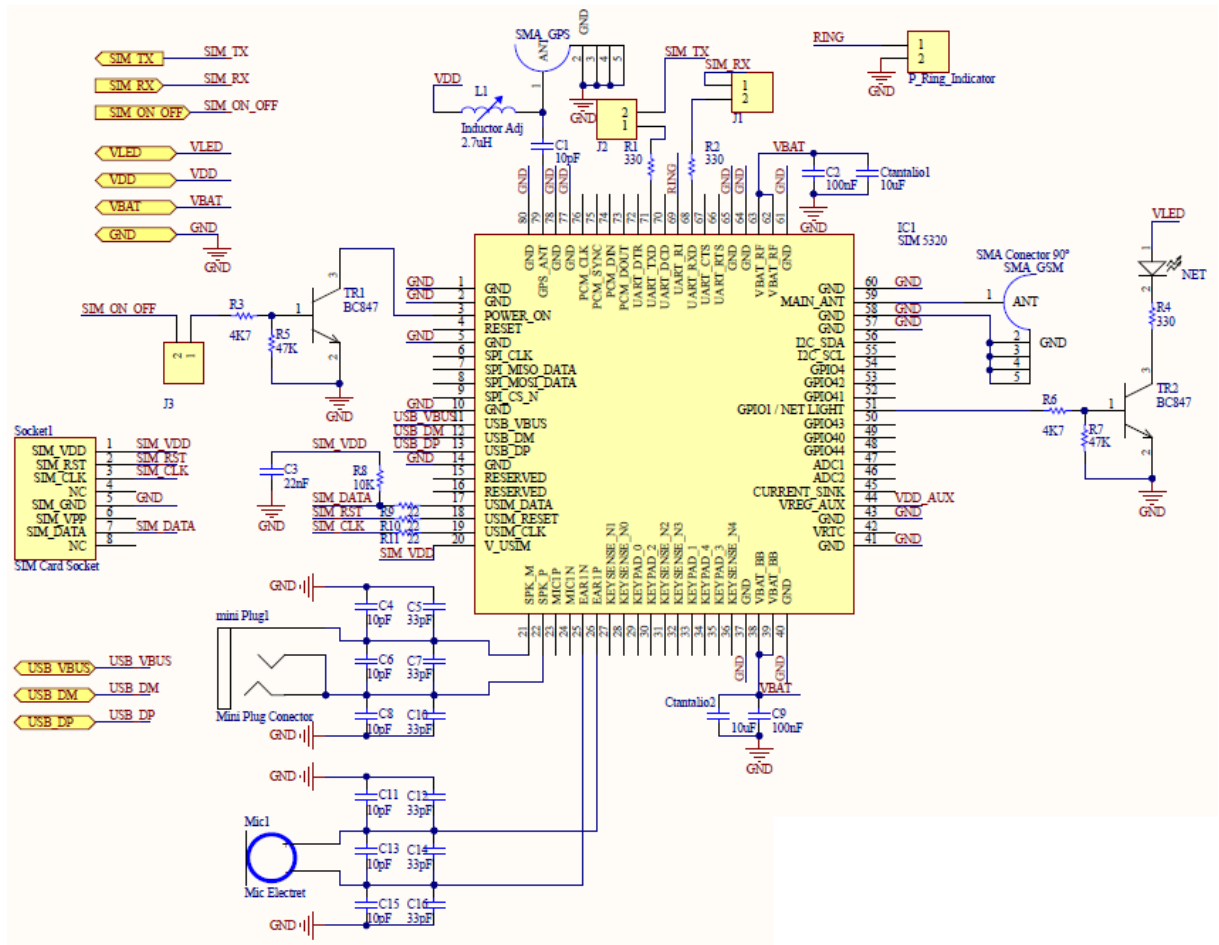


Figura 28: Esquemático del módulo SIMCOM.

5.1.5. Consideraciones para el diseño del hardware

Algunas de las consideraciones que se deben tener en cuenta para una buena práctica de diseño.

Consideraciones para los esquemáticos

- Colocar fijaciones.
- Colocar *test points*, es decir puntos de medición.
- Colocar *labels* que se correspondan con el componente y el número de hoja para facilitar el seguimiento del circuito.
- Colocar el "*Manufacturer Part Number*" de algún distribuidor, por ejemplo Digi-key Electronics, a cada componente para luego exportar un BOM (Bill Of Materials) y hacer el pedido de insumos para producción.
- Colocar fiduciales para que luego una *pick & place* pueda ubicar al *PCB* en el espacio y operar correctamente. Los fiduciales son unos símbolos o marcas que deben tener las placas de circuitos impresos cuando van a ser sometidas a procesos automáticos de montaje.

Consideraciones para los PCBs

- El tamaño de las vías, que comunican los distintos planos de un PCB, debe ser constante para abaratar costos cuando se tercerizan las placas.
- Las posiciones de los fiduciales y de las fijaciones deben ser redondeadas y determinadas apropiadamente según el caso.
- Los planos internos de alimentación deben estar posicionados adecuadamente y deben evitarse los lazos. Además no deben ubicarse debajo de las antenas.
- Los planos internos deben estar a una determinada distancia del borde, ejemplo con un *pullback* de 0.4mm, con el fin de evitar los cortocircuitos cuando en producción se realice el *v-scoring*.
- Los *labels* deben estar visibles, entendibles y no superpuestos con otros elementos.
- En el panelizado de un conjunto de placas se debe agregar un margen extra para que luego sea posible colocar y ajustar el panelizado en la *pick & place*. Un valor habitual para dicho margen es de 8mm extras arriba y abajo.
- Colocar fiduciales extras en el panelizado.
- Las pistas deben ser lo mas rectas posible al salir de los terminales, con el fin de evitar las "bolas de estaño" en el proceso de soldadura.
- Siempre que sea posible, no pasar pistas por debajo de los circuitos integrados, y no utilizar los *thermal pads* como puntos de conexión.
- Verificar que la altura de los componentes no sea un problema para el gabinete elegido.
- Ubicar todos los *test points* necesarios para poder medir donde sea necesario para comprobar el correcto funcionamiento y en caso de fallas poder encontrarlas mas fácilmente.

En la figura 29 se observa la placa de circuito impreso diseñada para producción en cuatro capas, con dos planos de señal y dos planos de alimentación.



Se utilizó el sitio web www.pcbway.com para encontrar las características del PCB que minimizan el precio del mismo. En el cuadro 15 se listan las características relevantes para la adaptación de impedancias. En la figura 16 se muestra el *Layer Stack* del PCB, se decidió utilizar la disposición más común para 4 capas: señal1-plano1-plano2-señal2, y dividir equitativamente los espacios que ocupan cada capa dieléctrica.

		Consecuencia
Material del dieléctrico	FR-4	Cte. dieléctrica: 4,2
Grosor total	1,2 mm	
Cobre	1 oz Cu	Espesor de pista: 0,035 mm

Cuadro 15: Características del PCB que minimizan el precio del mismo.

Layer Name	Type	Thickness (mm)
Top Layer	Signal	0.035
Dielectric1	Dielectric	0.346
GND	Internal Plane	0.035
Dielectric 3	Dielectric	0.346
POWER	Internal Plane	0.035
Dielectric 2	Dielectric	0.346
Bottom Layer	Signal	0.035

Cuadro 16: *Layer Stack* del PCB.

Las impedancias de los pines que conectan las antenas con el módulo SIM5320, son de 50Ω ; ambas antenas son también de 50Ω . Por lo tanto, para minimizar las pérdidas en las líneas de transmisión, la impedancia característica de las mismas también deberá ser 50Ω .

Para conseguir esta impedancia, se usaron líneas de transmisión *microstrip*, esta geometría se describe en la figura 30 y presenta una impedancia característica se expresa en la ecuación 4.[15]

$$Z_0[\Omega] = \frac{87}{\sqrt{\epsilon_r + 1,41}} \cdot \ln \left(\frac{5,98 \cdot H}{0,8 \cdot W + T} \right) \quad (4)$$

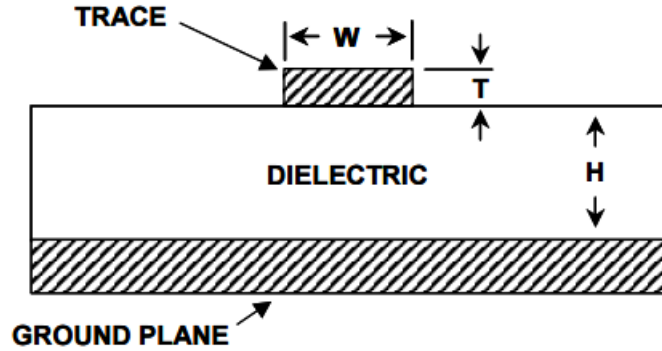


Figura 30: Geometría de una línea de transmisión *microstrip*.

Nótese que los parámetros ϵ_r , H y T ya están definidos, $\epsilon_r = 4,2$, $H = 0,346\text{ mm}$ y $T = 0,035\text{ mm}$; solo resta determinar el valor del ancho de la pista. Para lograr la impedancia de 50Ω , $W = 0,62\text{ mm}$; éste es el ancho de pista que conecta las antenas a los módulos.

5.1.7. Diseño mecánico

En las siguientes imágenes se presenta la placa desarrollada para producción en 3D. Esta placa cuenta con una longitud de 76mm, un ancho de 62mm y un alto de 10mm.

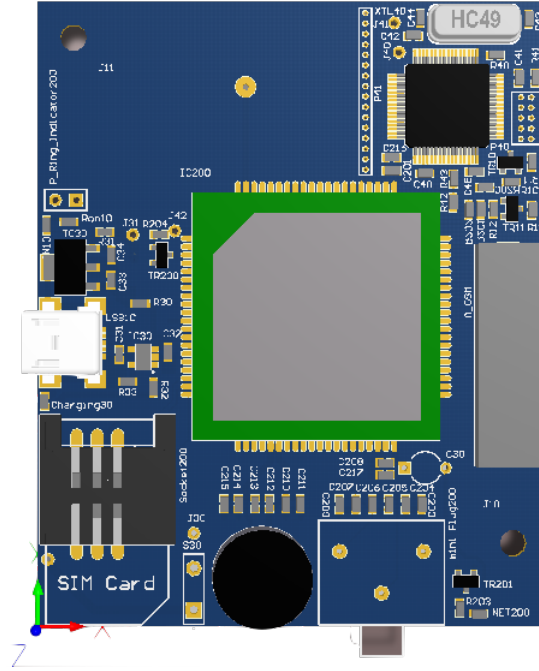


Figura 31: Prototipo para producción, en 3D.

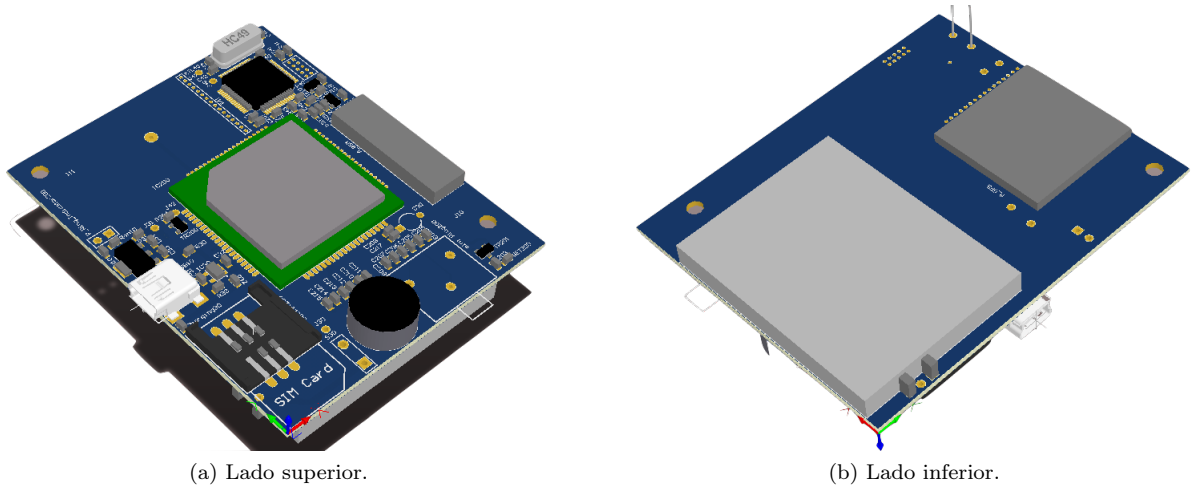
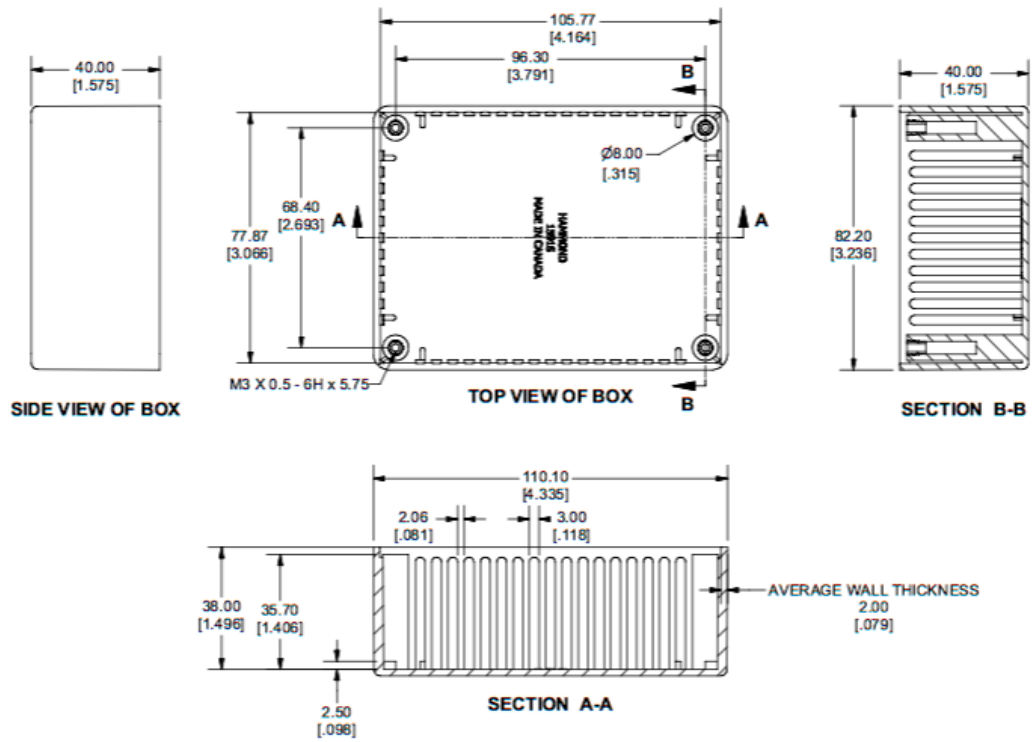


Figura 32: PCB del prototipo para producción, en 3D con vista isométrica.

En la figura 33, se muestra un modelo de gabinete para el equipo.



(a) Imagen.



(b) Medidas.

Figura 33: Gabinete 1591B.

5.1.8. Plan de pruebas de cada módulo

Alimentación

Para verificar el funcionamiento del bloque de alimentación se procederá a medir la tensión de la batería, la cual debería estar inicialmente cargada (alrededor de $3,7V$). Luego se conectará la batería y se medirá a la salida del regulador, verificando que la tensión sea $3,3V$. Una vez verificadas las tensiones de alimentación, se corroborará que las mismas alcancen correctamente a todos los módulos.

$V_{BAT} [V]$	$V_{MCU} [V]$	$V_{SIM} [V]$
$3,7 \pm 0,3$	$3,3 \pm 0,05$	$3,7 \pm 0,3$

Cuadro 17: Tensiones de alimentación aceptables.

Carga de batería

El cargador de baterías se probará colocando una batería descargada ($V_{BAT} = 3,4 \pm 0,1 V$), la cual será medida constantemente a fin de observar si la misma es cargada. Además se verificará que el LED correspondiente a la carga se encienda como corresponde en función de los estados de carga (ver cuadro 18).

Estados	$V_{USB} [V]$	$V_{BAT} [V]$	$I_{BAT} [mA]$	Charge LED
Batería descargada	$< 4,1$	$3,4 \pm 0,1$	$0 \pm 0,01$	OFF
Batería Cargándose	$5,0 \pm 0,1$	$3,4 < V_{BAT} < 4,2$	> 22	ON
Batería Cargada		$4,2 \pm 0,05$	< 22	OFF

Cuadro 18: Parámetros aceptables de la carga de la batería, tensiones y estados del *charge* LED.

Microcontrolador y módulo GSM y GPS

El microcontrolador se conectará con la computadora, se intentará reconocerlo y grabarle un programa. De este modo, se establece una comunicación serial que permite monitorear sus tareas y funcionamiento.

Una vez que la comunicación entre la computadora y el controlador se encuentre correctamente establecida se procederá a utilizar esta conexión como monitor y para probar las comunicaciones con los módulos.

Se verificará que las velocidades de comunicación de microcontrolador y los módulos sean las correctas, y que las tramas se visualicen apropiadamente en el microcontrolador para luego decodificarlas correctamente y responder a las mismas. Se esperará obtener el *baudrate* definido de 9600 ± 50 *baudios*.

<i>Baudrate de la UART [baudios]</i>
9600 ± 50

Cuadro 19: *Baudrate* aceptable para el microcontrolador y módulo GSM y GPS.

Micrófono y escuchas

Se hará una grabación de voz a un volumen monótono, y luego se reproducirá dicha grabación a un volumen normal de una conversación en un lugar tranquilo (50 a 60 dB). El dispositivo se colocará a $2 \pm 0,5 m$. Cuando se llame al dispositivo, se deberá poder escuchar la conversación a un nivel por encima del susurro (30 dB) con distintos celulares.

Alcance de las escuchas [m]
≥ 2

Cuadro 20: Alcance de las escuchas.

Autonomía de la batería

Una vez verificadas las alimentaciones y el módulo SIM, se podrá realizar una prueba de autonomía sobre la batería. Se colocará un programa de prueba en el microcontrolador que envíe un SMS cada 30 minutos a un número celular determinado, el microcontrolador hará *data logging* de los mensajes enviados con fecha y hora. El último mensaje deberá enviarse luego de las 10 horas de comenzada la experiencia.

Autonomía de la batería [hs]
10

Cuadro 21: Autonomía de la batería con una tensión inicial de 4,0V.

5.2. Software

Como se observa en la figura 34 el programa se encuentra segmentado en diferentes niveles o capas de abstracción, las cuales son implementadas en distintas librerías donde aquellas de mayor nivel o grado de abstracción del hardware irán incorporado o haciendo uso de las herramientas de las capas de menor nivel.

Este esquema de HAL (Hardware Abstraction Layer) permite a un programa de alto nivel comunicarse con el hardware y en caso de desear cambiar éste únicamente habría que modificar la programación de la capa mas baja y no todo el código.

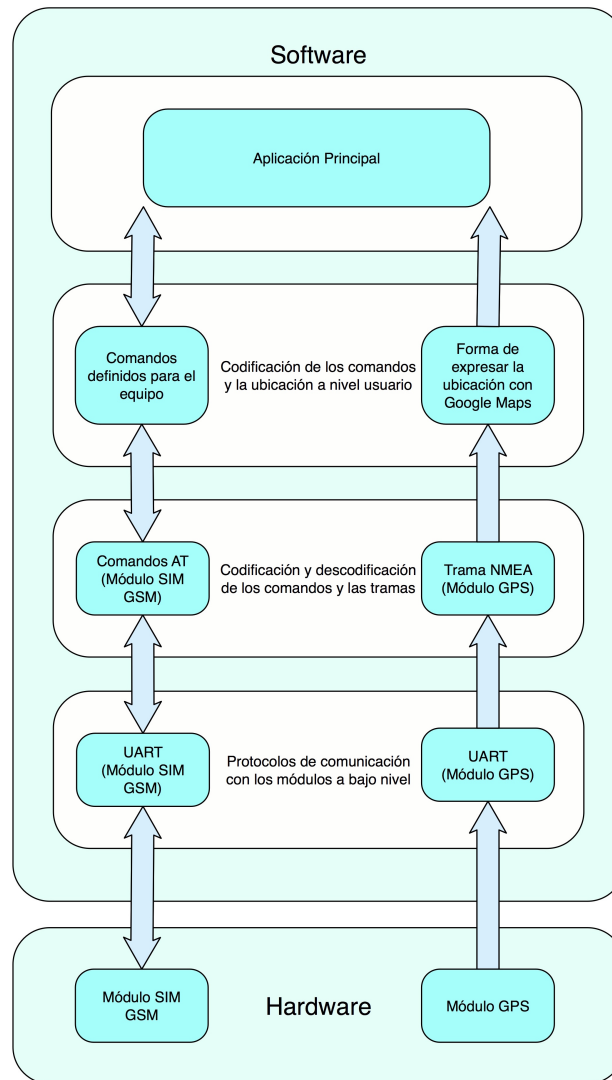


Figura 34: Capas de abstracción del software.

Con la finalidad de que el usuario pueda interactuar con facilidad, se definió que el software recibirá y reconocerá los comandos presentes en el cuadro 22. Dichos comandos serán enviados al dispositivo mediante mensajes de texto, y realizará las tareas necesarias para devolver la última localización, notificar movimientos⁴ y el estado del dispositivo. Además permitirá contestar las llamadas automáticamente para poder transmitir el audio.

⁴Por movimientos se entiende al desplazamiento del dispositivo, en un vehículo, superando los 5.5km/h.

Los comandos comienzan y se reconocen con el prefijo '+', a fin de formalizar el formato. Estos comandos pueden ser uno de tres, '+S' para conocer el estado de funcionamiento del sistema dado por el sincronismo del módulo GPS con los satélites, '+LA' para conocer la localización del dispositivo, o '+NM' para configurar la notificación de movimientos, teniendo en este último caso los operandos, separados por un caracter de espacio (' '), 'ON' para activar la notificación y 'OFF' para desactivar la notificación.

Comandos	Operandos	Significado
+S		Status: para conocer si se encuentra en funcionamiento el equipo
+LA		Localización Actual: petición de la misma
+NM	ON	Notificar Movimiento: Encendido
	OFF	Notificar movimiento: Apagado

Cuadro 22: Comandos y sus significados.

Se destaca que todos los comandos presentan respuesta, ya sea con la información requerida o con un 'OK', en confirmación a la configuración de notificaciones. En el caso de que el comando sea erróneo, se notificará dicho error.

5.2.1. Diagrama de estados y flujogramas

El programa principal comenzará con la inicialización de los diferentes módulos. Primero se configuran los registros del microcontrolador para operar en las condiciones deseadas (a 50MHz) y con las herramientas requeridas, las interrupciones de tiempo y de comunicación serie. Una vez configurado el controlador se procede a inicializar el módulo SIM, respetando su secuencia de encendido y modificando su *baud rate*⁵.

Finalizada la inicialización, el programa ejecuta periódicamente una serie de tareas que consisten en resolver los comandos recibidos y en notificar los eventos que requieran ser notificados, es decir, si hay movimiento o no.

Mediante interrupciones se reciben y almacenan tanto los mensajes de texto que contienen los comandos, como los datos provenientes del módulo GPS, que luego serán procesados en el programa principal.

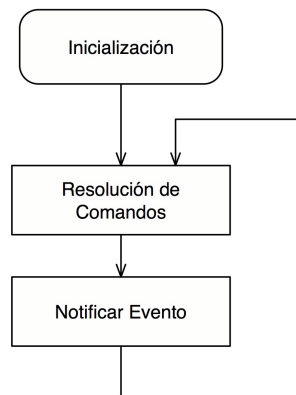


Figura 35: Diagrama del programa principal.

Cíclicamente, cada un segundo dada la frecuencia de refresco del módulo GPS, el programa verificará si se ha recibido un mensaje de texto y en caso afirmativo lo decodificará para responder en caso de ser necesario con la información que corresponda.

Los mensajes recibidos pueden ser la petición de la ubicación, la petición del estado del sistema, o la configuración del modo de movimiento.

⁵ *baud rate*: es la unidad de velocidad de símbolos o la tasa de modulación de símbolos por segundo o pulsos por segundo.

En la figura 36 se presenta un diagrama de como se resuelven los mensajes recibidos.

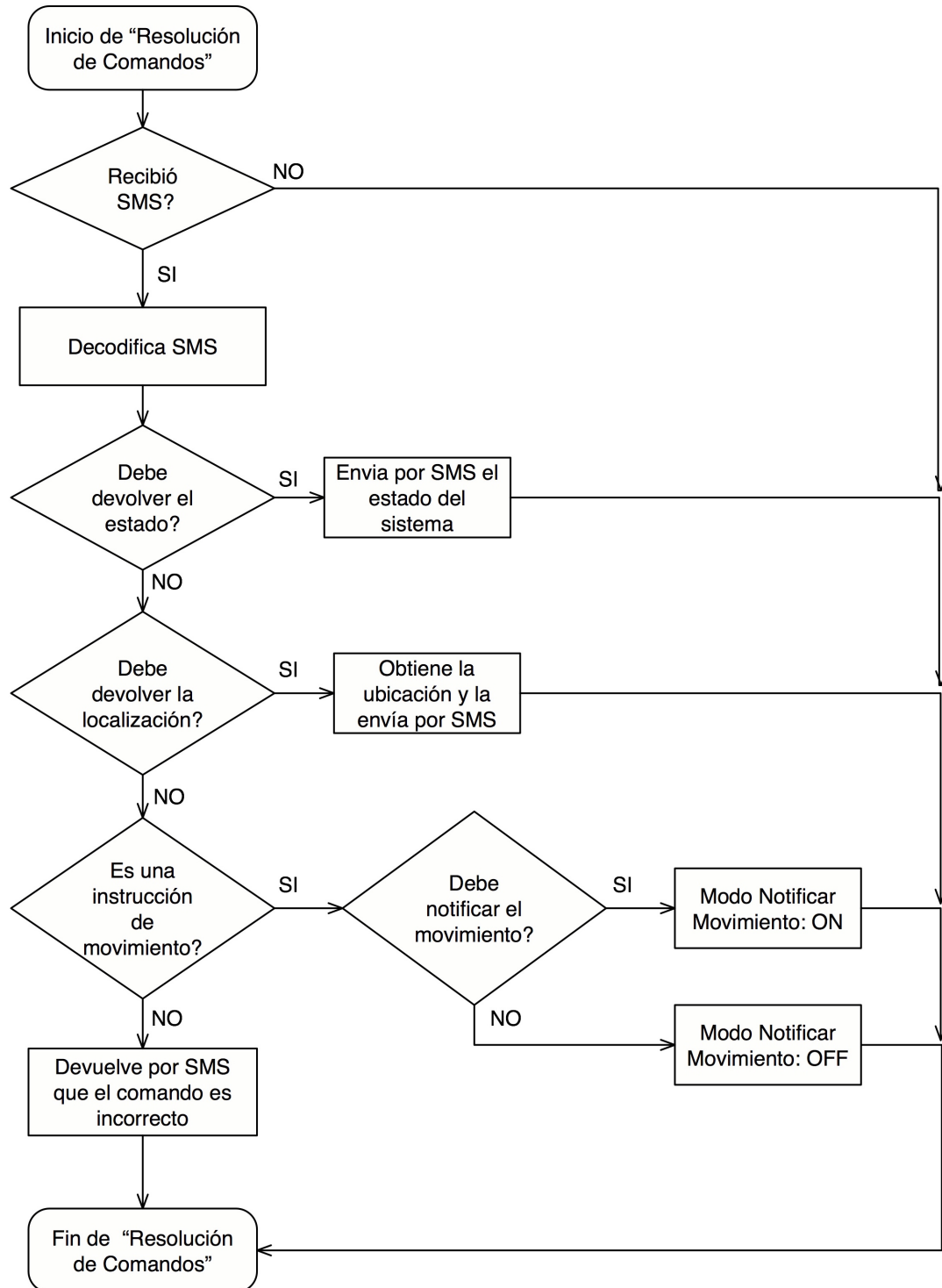


Figura 36: Diagrama de la tarea de resolución de comandos.

La notificación de eventos consiste en verificar si hay movimiento y notificarlo en caso de ser necesario. Dado el caso, se mandará un SMS con el estado de alerta de movimiento al número telefónico que hizo el pedido de alerta.

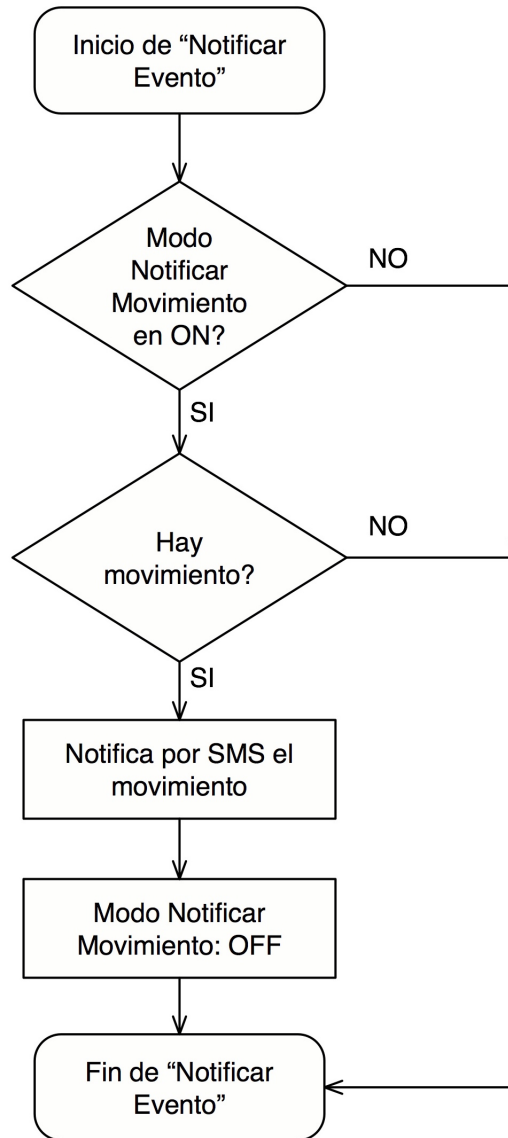


Figura 37: Diagrama de la tarea de notificar eventos.

La detección del movimiento se realiza a través de los datos de velocidad provenientes del GPS. Dado que estos datos generalmente resultan ruidosos se debe aplicar un umbral de detección por encima del cual se considera la existencia de velocidad, y en definitiva de movimiento. El mencionado umbral se fija en los 5,5km/h en función de las mediciones realizadas y el piso de ruido presente en los datos de la velocidad. Además, realizando mediciones se observa que dicho valor presenta un retardo dado por la frecuencia de muestreo del GPS (1s) y los cálculos que realiza para estimar la velocidad, por lo tanto si bien se podría aplicar un filtrado pasa bajos, no resulta conveniente dado que la frecuencia de muestreo para el filtro digital sería de un segundo.

Para que el dispositivo atienda las llamadas automáticamente y se puedan realizar escuchas, en producción se ejecuta un segmento de programa que graba en la memoria interna del módulo SIM las configuraciones necesarias.

5.2.2. Protocolos de comunicación

Los protocolos de comunicación implementados en la capa de más bajo nivel son del tipo serie asincrónico, también conocidos con el nombre de UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter), con una velocidad de 9600 baudios.

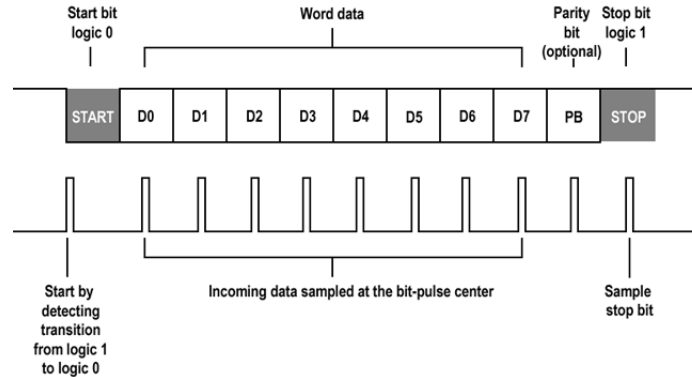


Figura 38: Protocolo de comunicación UART.

Algoritmo 1 Subrutinas relacionadas a la comunicación UART.

```
// Para enviar un byte
void UART0_putchar(char data);

// Para enviar un string
void UART0_print(char *buffer);

// Para saber cuantos bytes se recibieron faltan leer
uint8_t UART0_getNumberOfRxData(void);

//Para leer un byte
uint8_t UART0_getchar(void);
```

Con el fin de recoger datos de forma continua, la librería UART hace uso de una librería de colas circulares. Estas colas tienen la política FIFO (First-In-First-Out), es decir que el primer dato que entra es el primero que sale, y los mismos se almacenan en un buffer circular.

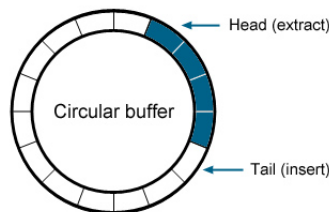


Figura 39: Esquema FIFO circular.

Algoritmo 2 Subrutinas relacionadas a los buffers circulares.

```
// Inicializa el buffer y devuelve la estructura con su información
BufferData BUFFER_init(volatile uint8_t *buffer, unsigned int bufferSize);

// Almacena datos en el buffer (FI-FO)
void BUFFER_pushData(volatile BufferData *bD, uint8_t data);

// Retira elementos del buffer (FI-FO)
uint8_t BUFFER_pullData(volatile BufferData *bD);

// Resetea el buffer
void BUFFER_resetBuffer(volatile BufferData *bD);

// Devuelve la cantidad de elementos en el buffer indicado
int BUFFER_getNumberOfElements(volatile BufferData *bD);
```

5.2.3. Módulo GPS

La National Marine Electronics Association (NMEA) [17] ha desarrollado especificaciones que definen la interfaz entre varios dispositivos de equipos electrónicos. Esta trama es la que utiliza el dispositivo GPS implementado.

La comunicación del módulo GPS es continua, es decir que periódicamente, cada un segundo, entrega los datos que obtiene del sistema de posicionamiento global.

En el cuadro 23 se observan los distintos paquetes de información que la trama NMEA contiene.

Option	Description
GGA	Time, position and fix type data.
GLL	Latitude, longitude, UTC time of position fix and status.
GSA	GPS receiver operating mode, satellites used in the position solution, and DOP values.
GSV	The number of GPS satellites in view satellite ID numbers, elevation, azimuth, and SNR values.
MSS	Signal-to-noise ratio, signal strength, frequency, and bit rate from a radio-beacon receiver.
RMC	Time, date, position, course and speed data.
VTG	Course and speed information relative to the ground.
ZDA	PPS timing message (synchronized to PPS).
150	OK to send message.

Cuadro 23: Mensajes de salida de la trama NMEA.

Dados los requerimientos de fecha, horario, posición y velocidad se opta por utilizar los datos que se encuentran en la opción RMC.

\$GPRMC,161229,487,A,3723,2475,N,12158,3416,W,0.13,309.62,120598,*,*10

La decodificación de los datos se encuentra en el cuadro 24.

Para la formación del link de *Google Maps* con la localización del tracker, se hace uso de los datos de latitud, longitud y de los indicadores de E/W (Este u Oeste) y N/S (Norte o Sur). Por otro lado, para la determinación del movimientos se utilizan los datos de velocidad.

Name	Example	Units	Description
Message ID	\$GPRMC		RMC protocol header
UTC Time	161229.487		hhmmss.sss
Status	A		A=data valid or V=data not valid
Latitude	3723.2475		ddmm.mmmm
N/S Indicator	N		N=north or S=south
Longitude	12158.3416		dddmm.mmmm
E/W Indicator	W		E=east or W=west
Speed Over Ground	0.13	knots	
Course Over Ground	309.62	degrees	True
Date	120598		ddmmyy
Magnetic Variation		degrees	E=east or W=west
<i>Mode</i>	<i>A</i>		<i>A=Autonomous, D=DGPS, E=DR</i>
Checksum	*10		
<CR> <LF>			End of message termination

Cuadro 24: Formato de los datos RMC.

Los campos marcados en rojo y cursiva sólo se aplican a NMEA versión 2.3, y posterior, en esta descripción del mensaje NMEA.

Algoritmo 3 Generación del link de *Google Maps*.

```

const char googleMapsTemplate[] = {"http://maps.google.com/?q=%c%s,%c%s"};

unsigned char GPS_getGoogleMapsLocation(char *googleMapsLink)
{
    unsigned char validLink = 0;
    GPS_DATA GPRMC_data;
    char N_S = '+', E_W = '+';
    if( (validLink = GPS_getData( &GPRMC_data)))
    {
        if(GPRMC_data.N_S_Indicator == 'S')
            N_S = '-';
        if(GPRMC_data.E_W_Indicator == 'W')
            E_W = '-';
        sprintf( googleMapsLink, googleMapsTemplate, N_S,GPRMC_data.Latitude,
                                                         E_W,GPRMC_data.Longitude);
    }
    return validLink;
}

```

Algoritmo 4 Subrutinas relacionadas a la ubicación.

```
// Estructura de datos de interés del GPS
typedef struct {
    char Status; // Si la data es v-lida 'A', si es invalida 'V'
    char UTC_time[15]; // HH:MM:SS
    char Latitude[15];
    char N_S_Indicator; // 'N' or 'S'
    char Longitude[15];
    char E_W_Indicator; // 'E' or 'W'
    char Speed_Over_Ground[10];
    char Course_Over_Ground[10];
    char Date[10]; // DD/MM/YY
}GPS_DATA;

// Devuelve si el GPS se encuentra funcionando correctamente
unsigned char GPS_isOk(void);

// Devuelve si se recibio una nueva trama NMEA
unsigned char GPS_is_NMEA_new(void);

// Devuelve la trama NMEA
void GPS_getNMEA(char *NMEA_buffer);

//Devuelve la hora oficial
GPRMC void GPS_get_UTC_time(char *Time);

// Devuelve los datos de la trama NMEA decodificados
unsigned char GPS_getData(GPS_DATA *GPRMC_data);

// Devuelve un link a Google Maps con la ubicación
unsigned char GPS_getGoogleMapsLocation(char *googleMapsLink);
```

5.2.4. Módulo SIM/GSM

El módulo GSM se maneja por medio de comandos a través de la UART. Estos comandos se denominan comandos AT [2].

Los comandos AT permiten realizar llamadas, enviar SMS, consultar los parámetros del modulo, medir la señal del celular y realizar todas las configuraciones del módulo. La comunicación es del tipo conversación, siempre se debe esperar la respuesta antes de enviar el próximo comando.

Al iniciar el módulo se lo configura para que atienda los llamados automáticamente y luego el microcontrolador se encontrará a la espera de comandos por SMS o eventos para notificar y responder apropiadamente, siempre mediante comandos AT.

Sincronización

Por defecto se encuentra el *autobauding*⁶ habilitado. Para sincronizar la velocidad del microcontrolador con el módulo se debe enviar 'A' y esperar de 3 a 5 segundos. Luego enviamos el comando 'AT' antes de iniciar la comunicación. Una vez sincronizados, el SIM responde 'OK'.

⁶*autobauding*: consiste en la detección automática de la velocidad de transmisión, se refiere al proceso por el cual un dispositivo receptor determina la velocidad, nivel de código y los bits de parada de los datos de entrada.

Algoritmo 5 Ejemplos de comandos AT.

```
// Atender una llamada entrante
ATA

// Colgar
ATH

//Envío de SMS al 1512345678
AT+CMGF=1 // Selecciono modo texto
AT+CMGS="1512345678" <ENTER> // El número de teléfono y 0x0D
MENSAJE <CTRL+Z> // El mensaje y 0x1A

// Recepción de SMS
AT+CMGF=1 // modo texto
AT+CNMI=2,2,0,0,0 // no lo guarda en memoria lo envia por UART
```

Algoritmo 6 Ejemplos de SMS recibido.

```
+CMT: "12345678","28/05/10,11:20:28+32"
Hola Mundo
```

Algoritmo 7 Subrutinas relacionadas al manejo de los SMS.

```
// Estructura de datos de un mensaje
typedef struct {
    unsigned char valid;
    char Number[NUMB_MAX_SIZE];
    char Date[10];
    char Time[10];
    char Text[TEXT_MAX_SIZE];
}SMS_DATA;

// Para inicializar el módulo
void Sim900_init(void);

// Para saber si se esta mandando un mensaje
unsigned char Sim900_isSendingSMS(void);

// Para mandar un mensaje
void SIM900_sendSMSto(char *Number, char *SMS);

//Para saber si se recibio un mensaje
unsigned char SIM900_is_SMS_new(void);

// Para recibir los datos del mensaje entrante
unsigned char SIM900_getSMS(SMS_DATA *userSMS);
```

5.2.5. Plan de prueba de módulos y de depuración de software

Para lograr el correcto funcionamiento del sistema en su conjunto primero se probarán los módulos y librerías por separado, escalando por los niveles de abstracción para finalmente integrar los módulos y conformar la aplicación final.

Una vez validada la librería de comunicación serie, se establecerán conexiones con los diferentes módulos y se observará que los mismos respondan apropiadamente, ante determinadas transmisiones. Para verificar cada etapa del programa se hará uso de una comunicación serie con la computadora que luego una vez finalizada la depuración será anulada para mejorar la eficiencia.

Se verificará que se reciban y envíen mensajes de texto correctamente, que se decodifique la trama NMEA apropiadamente y luego se procederá a integrar los módulos.

Algunos aspectos de alto nivel, como la conformación de los links de *Google Maps* se realizarán y depurarán en la computadora, y finalmente se portarán al microcontrolador.

A continuación se enumeran los pasos de depuración que se deben realizar a través del programa monitor.

1. Verificar que el módulo GSM responda apropiadamente, según el manual de referencia, a los comandos enviados y que se reciban los SMS en el microcontrolador.
2. Comprobar que la decodificación de la trama NMEA se realice correctamente, se deben obtener únicamente los datos de la opción RMC.
3. Comprobar que la decodificación de los SMS se realice correctamente en el microcontrolador, que se obtenga el número de teléfono, la fecha y el mensaje.
4. Comprobar la correcta identificación e interpretación de los comandos en los SMS provenientes del módulo SIM. Debe ser capaz de encontrar el comando en el mensaje y de accionar según corresponda en cada caso.

6. Construcción del prototipo

El prototipo se diseñó para comprobar en forma rápida si las decisiones tomadas son aceptables o no. Si bien se trató que sea lo más parecido al producto para producción, algunos módulos pueden ser distintos a los este último. Por ejemplo, el módulo SIM utilizado no tiene GPS, y por esto se utiliza un módulo GPS aparte.

6.1. Definición de los módulos

Módulo GSM

El módulo MCE MicroStick GSM incluye el módulo SIM900 que permite enviar y recibir mensajes de texto o llamadas telefónicas. A diferencia del SIM5320, este circuito integrado no tiene GPS. También es posible enviar datos por GPRS.



Figura 40: Módulo MCE MicroStick GSM de MC Electronics.

Módulo GPS

En la figura 42 se observa el circuito del módulo U-blox NEO-6 [24], el cual se encarga de recibir la información de los satélites del sistema GPS y realizar los cálculos necesarios para obtener los valores de la trama NMEA. Dicha trama se utiliza como norma en los sistemas de posicionamiento.

Este módulo utiliza un protocolo serie asincrónico, del tipo UART, para transferir la información, requiere una memoria externa para almacenar las configuraciones y funciona con 3,3V.



Figura 41: Módulo U-blox NEO-6, GPS con la antena.

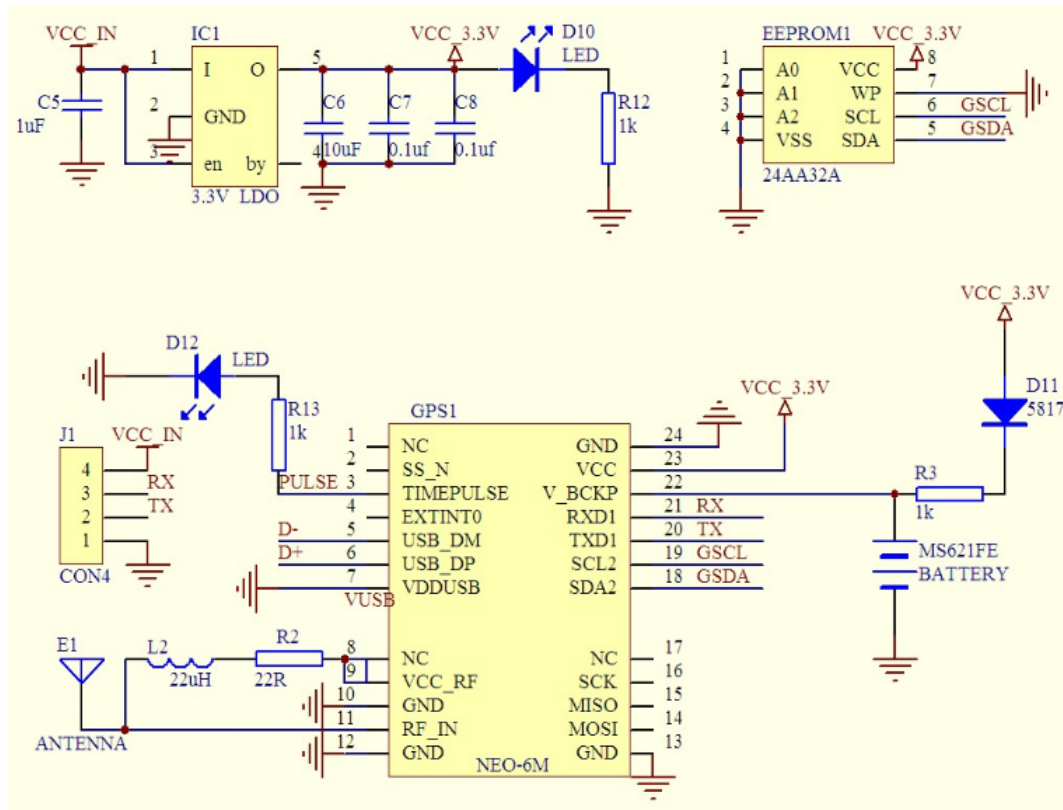


Figura 42: Circuito del módulo U-blox NEO-6.

Microcontrolador

En la figura 43 se presenta la placa de desarrollo *FRDM – K20* [13], que contiene al microcontrolador elegido, utilizada para el diseño del prototipo de evaluación. Las partes utilizadas de este módulo son idénticas a las del producto.

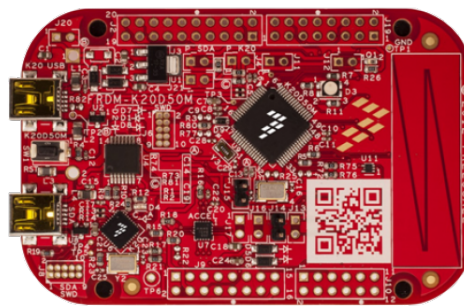


Figura 43: Placa de desarrollo *FRDM – K20*, de *Freescale*.

Power Supply y Batería

Este módulo y su circuito esquemático es exactamente igual al del producto, descrito en la sección «Ingeniería de detalle».

6.2. Diseño de prototipo para evaluación

El prototipo que se observa en la figura 44 se encuentra separado en cuatro placas, integrando los diferentes módulos descriptos.

En la parte inferior se encuentra la placa de desarrollo *FRDM K20D50M*, que posee el microcontrolador que se optó para el diseño.

En la parte superior se encuentra la placa *MCE MicroStick GSM*, la cual presenta todo lo relativo al módulo SIM900, similar al módulo SIM5320, pero con la diferencia de que no posee GPS incorporado. Para ello se incorporó otra placa que integra el módulo GPS la cual se encuentra por debajo de la placa *GSM*.

Finalmente, interconectando todas las placas e incorporando lo referido a la alimentación, como el cargador de baterías y los reguladores de tensión, se encuentra la placa central (para más información consultar el Anexo). Además esta placa incorpora el micrófono para realizar escuchas y la salida de audio mediante un conector mini plug hembra.

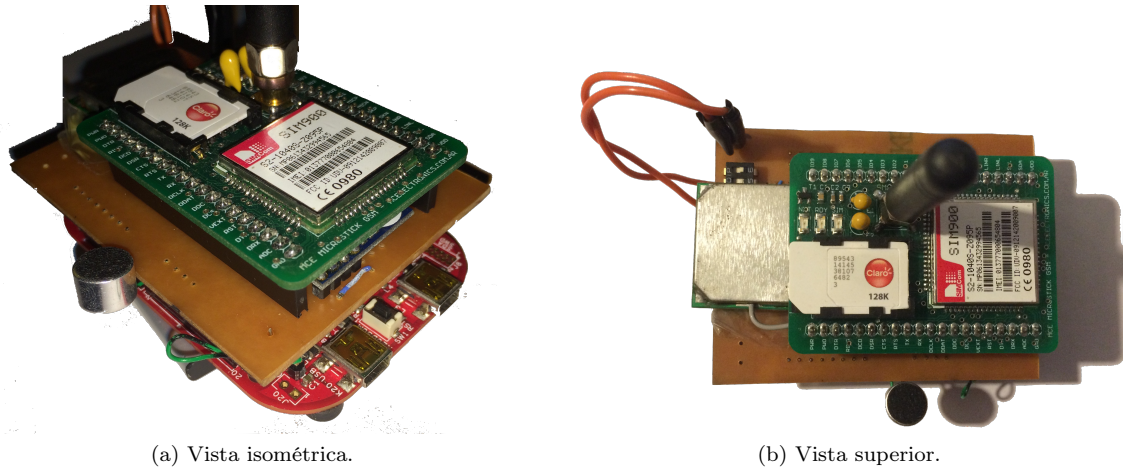


Figura 44: Imágenes del prototipo construido.

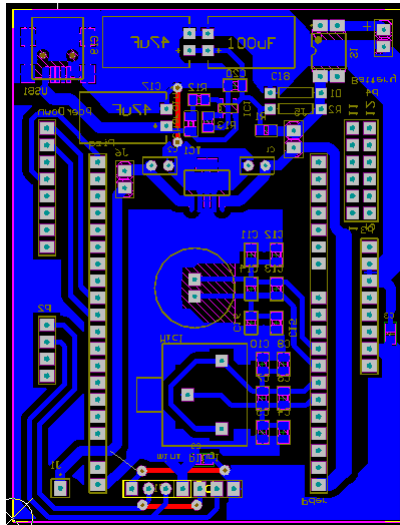


Figura 45: Placa central.

6.3. Detalles de construcción y precauciones especiales de montaje

A continuación se presentan las consideraciones que se tuvieron en cuenta para el montaje del equipo en el gabinete.

- La placa inferior, que contiene al microcontrolador, se sujetó a la base del gabinete mediante cuatro tornillos a fin de evitar movimientos indeseados del hardware. La batería se fija con un adhesivo bifaz.
- Dadas las dimensiones del gabinete y la antena conseguida al momento de construir el prototipo, se debió realizar un agujero en la parte superior de la carcasa, para permitir el paso de la antena.
- Se realizaron agujeros en el gabinete para el conector USB que permite cargar la batería y otro para el conector USB que permite programar al microcontrolador, con el fin de facilitar el monitoreo el mismo sin necesidad de desmontar el equipo.
- Se colocó una llave de encendido y apagado en la parte superior del gabinete.
- Para que el gabinete no atenúe la señal de sonido se perforó el gabinete a la altura del micrófono.
- Para que el usuario pueda saber si el equipo se encuentra encendido, conectado a la red GSM y si se encuentra cargando la batería, se realizaron agujeros a la altura de los LEDs presentes en las placas de circuito impreso. Se aclara que en el modelo de producción, estos LEDs irían montados sobre el gabinete.



Figura 46: Vista isométrica del prototipo.



(a) Vista superior con el gabinete abierto.



(b) Vista superior con el gabinete cerrado.

Figura 47: Imágenes del prototipo con el gabinete.

7. Validación del prototipo

En esta etapa se debe probar el prototipo y documentar las correcciones a realizar. Las correcciones indicadas pueden ser errores de programación, errores de diseño o una funcionalidad faltante.

7.1. Validación de hardware

- Para validar el funcionamiento del hardware hay que verificar la continuidad de las circuitos y la inexistencia de corto circuitos entre las diferentes pistas del PCB.
- La autonomía del dispositivo se validó utilizando un programa de prueba en el microcontrolador que envía un SMS cada 30 minutos, dado que esta funcionalidad requiere el mayor consumo de energía.

	Requerimientos	Mediciones	Cumplimiento
Autonomía [hs]	10	Entre 11,5 y 12	✓

Cuadro 25: Autonomía a uso constante.

- El cargador de batería se validó mediante una batería descargada, sobre la cual se realizó la carga, midiendo constantemente la tensión en la misma. Al finalizar la carga se comprobó que el LED correspondiente se apague indicando el estado.

	Requerimientos	Mediciones	Cumplimiento
Tiempo de carga [hs]	≤ 5	4	✓
Corriente máxima requerida [mA]	450 ± 50	460	✓

Cuadro 26: Carga de la batería al 90 %.

- Una vez verificado que el conexionado se encuentra en condiciones, se alimenta el circuito y se comprueba, midiendo, que las tensiones de alimentación sean las correctas y lleguen a todos los módulos.

	Requerimientos	Mediciones	Cumplimiento
V_{BAT} [V]	$3,7 \pm 0,3$	$3,76 \pm 0,01$	✓
V_{MCU} [V]	$3,3 \pm 0,05$	$3,30 \pm 0,01$	✓
V_{SIM} [V]	$3,7 \pm 0,3$	$3,76 \pm 0,01$	✓

Cuadro 27: Tensiones de alimentación.

- Se validaron las dimensiones y el peso del dispositivo.

	Requerimientos	Mediciones	Cumplimiento
Peso [g]	≤ 500	350	✓
Ancho y Largo [cm]	≤ 15	≤ 15	✓
Alto [cm]	≤ 10	≤ 5	✓

Cuadro 28: Dimensiones y peso del dispositivo.

- Cuando los módulos se encuentran alimentados, se verifica que las señales en las líneas de comunicación sean las correctas en cuanto a frecuencia y valores.

	Requerimientos	Mediciones	Cumplimiento
Baudrate [bps]	9600 ± 50	9593	✓

Cuadro 29: Velocidad de comunicación medida en las comunicaciones series del microcontrolador.

- Para probar la funcionalidad de escuchas, se colocó el dispositivo debajo del asiento del acompañante de una auto y se realizó un llamado al dispositivo, mientras dos personas hablaban a un volumen normal (de 50 a 60 dB) en el vehículo. Las personas que realizaron la escucha concordaron en que el nivel de sonido resultó suficiente para entender claramente la comunicación.

	Requerimientos	Mediciones	Cumplimiento
Alcance de las escuchas [m]	≥ 2	≥ 3	✓

Cuadro 30: Alcance de las escuchas a nivel de volumen normal.

- Se validó el error de la geolocalización haciendo un pedido de la misma desde un celular próximo al dispositivo. Con la ubicación recibida y la aportada por el dispositivo móvil con su respectivo error, se calculó el error máximo de localización. Además, se contrastó el valor obtenido con el error proporcionado por la trama NMEA en el *data logger* de la computadora.

	Requerimientos	Mediciones	Cumplimiento
Error	$\leq 100m$	$\leq 45m$	✓

Cuadro 31: Error de la geolocalización.

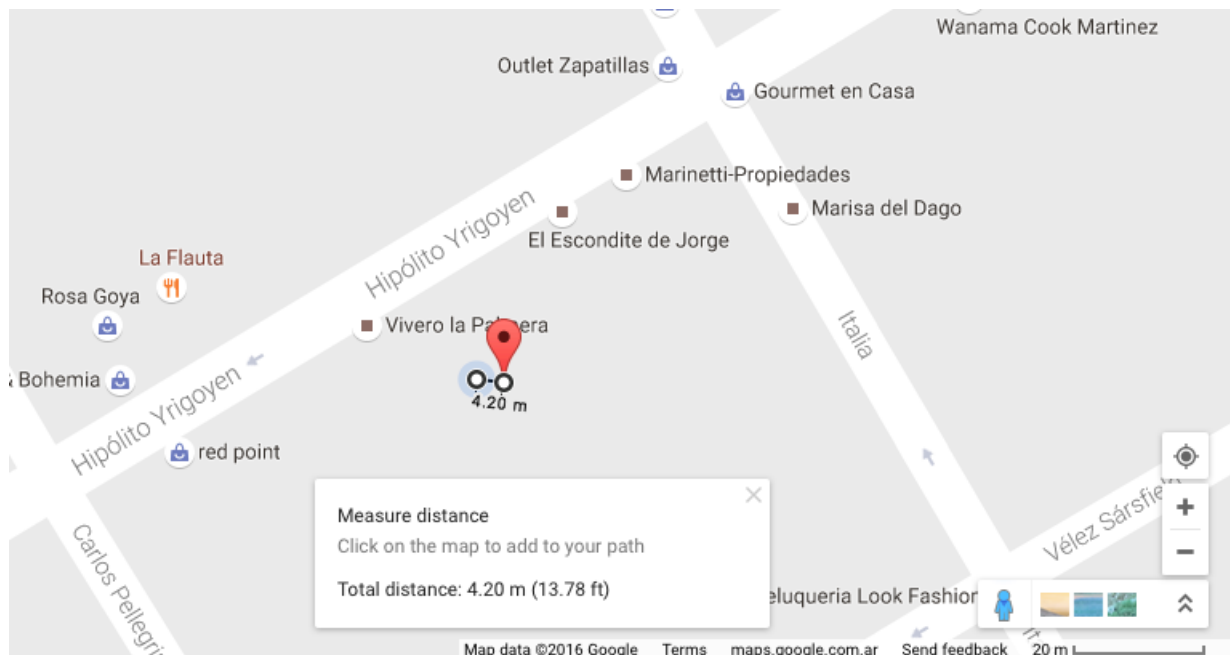


Figura 48: Ejemplo de error de geolocalización en las coordenadas -34.4911901, -058.5035101.

- Especificaciones validadas por diseño o que deben validarse cuando se disponga del producto final.

Requerimientos		Validación	Forma de validación
Temperatura de trabajo	de $-20^{\circ}C$ a $60^{\circ}C$	✓	Por diseño
Free fall test	desde 1,5m	-	Debe validarse en el producto final
Protecciones a conexión inversa de la batería	Si (a nivel mecánico o circuital)	✓	Por diseño
Comunicación	A través de mensajes de texto	✓	Por diseño
Geolocalización	Satelital	✓	Por diseño
Conexión con fuente externa	Puerto mini- o micro-USB	✓	Por diseño
Debe cumplir normas	Compatibilidad electromagnética	-	Debe validarse en el producto final
	Seguridad eléctrica	-	Debe validarse en el producto final
	Inmunidad a vibraciones (IEC 68-2-35)	-	Debe validarse en el producto final

Table 32: Especificaciones validadas por diseño o que deben validarse.

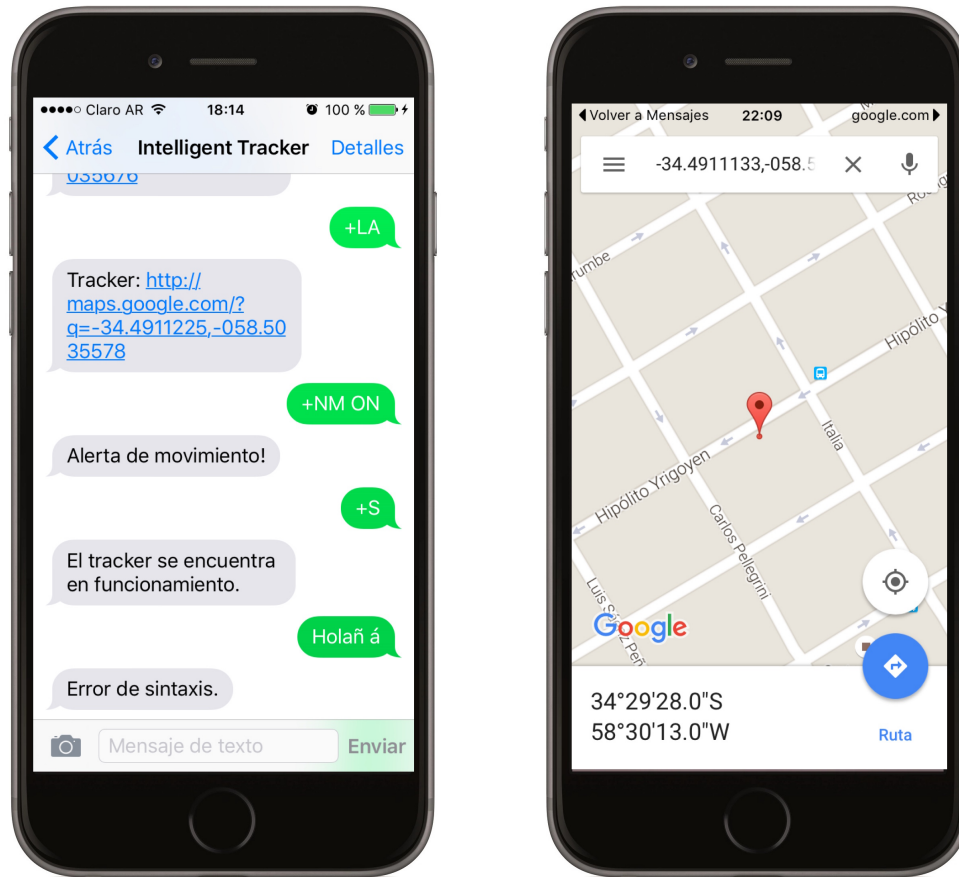
7.2. Validación de software

- Para validar el software se conectó el dispositivo a la computadora mediante UART y se observó en la terminal los resultados de las acciones, que recibe tanto del módulo GPS como del módulo SIM, y como decodifica los paquetes de información que contienen la localización y los comandos.
- Se validó la detección de movimientos colocando el dispositivo en un auto, el cual comenzó a acelerar hasta alcanzar los 8km/h de velocidad, y observándose como respuesta en el celular del usuario la alerta de movimiento.
- Se validó la geolocalización mediante el link de *Google Maps*, realizando un pedido de la misma y visualizando dicho link desde distintos celulares.

	Cumplimiento	Aclaraciones
UART	✓	-
Notifica movimientos	✓	Para velocidades $\geq 5,5km/h$
Localización mediante <i>Google Maps</i>	✓	-

Cuadro 33: Validaciones vinculadas al software.

En la figura 49 se presentan algunos resultados del dispositivo frente al envío de comandos.



(a) Respuesta del dispositivo ante los comandos.

(b) Presionando el link recibido.

Figura 49: Resultados obtenidos con los comandos.

7.3. Observaciones

- En cuanto a la detección de movimientos, se debió calibrar cuidadosamente, en base al piso de ruido, el umbral de detección ya que los datos del GPS en cuanto a la velocidad suelen ser ruidosos.
- La demora promedio entre el envío del comando al equipo y la respuesta del mismo, oscila entre los 15 y 25 segundos. Esto se debe principalmente al sistema de telefonía GSM.
- Cuando el dispositivo se mantiene apagado durante un período de tiempo prolongado, al encenderse, el GPS demora varios minutos en volver a geolocalizar. Esto se debe a que el clock interno se desfasa, al no tener una referencia, y luego demora en calibrarse. A su vez cuando la cantidad de satélites próximos a la región del dispositivo no son suficientes, el equipo presenta dificultades para geolocalizarse. Estos factores se consideran aceptables dado que en el mismo inconveniente con el que lidian en mayor o menor medida todos los dispositivos que poseen GPS. En la figura 50 se presentan ejemplos de como los satélites se distribuyen en un determinado instante al rededor del planeta.

8. Estudios de confiabilidad

En esta sección se estudia la confiabilidad del producto, expresada por la probabilidad de que el mismo cumpla con su función, bajo determinadas condiciones, para un intervalo de tiempo dado.

8.1. Hardware

En el caso de que el fabricante de un componente no brinde su tasa media entre fallas, la misma se puede calcular y/o estimar mediante la norma militar MIL-HDBK-217F [16]. A continuación se realiza el cálculo de la confiabilidad del hardware, utilizando dicha norma, para los componentes que se consideran mas propensos a fallar. Para dicho análisis se asume un modelo de falla catastrófica.

La ecuación 5 expresa como calcular la el tiempo medio entre fallas para cada componente en forma genérica, y la ecuación 6 expresa como calcular el tiempo medio entre fallas para todo un módulo compuesto de varios componentes.

$$MTBF_{componente}(1/FIT) = \left(1000 \cdot \lambda_{base} \cdot \prod_i \pi_i \right)^{-1} \quad (5)$$

$$MTBF_{módulo}(Hs) = \left(\sum_i \frac{1}{MTBF_{componente_i}} \right)^{-1} \cdot 10^9 \quad (6)$$

Resistencias

El cálculo de la tasa efectiva de fallas (λ) para las resistencias puede ser calculada como se expresa en la ecuación 7, donde λ_b es la tasa de fallas base, π_R es el factor multiplicador asociado al valor de la resistencia, π_Q es el factor asociado a la calidad del componente, y π_E es el factor asociado al ambiente de trabajo. Cada uno de los factores mencionados se calculan y/o se extraen de diversas tablas presentes en la norma en función del componente y su uso, dependiendo del estrés al cual se encuentra sometido, la temperatura, y otros factores de la aplicación.

$$\lambda = \lambda_b \cdot \pi_R \cdot \pi_Q \cdot \pi_E \cdot \frac{Fallas}{10^6} \quad (7)$$

Capacitores

En el caso de los capacitores se puede separar el cálculo para los capacitores electrolíticos y los no electrolíticos, donde π_{CV} es el factor multiplicador asociado al valor del capacitor, y π_{SR} es el factor asociado al valor de la resistencia en serie en el caso de los capacitores electrolíticos.

$$\lambda = \lambda_b \cdot \pi_{CV} \cdot \pi_Q \cdot \pi_E \cdot \frac{Fallas}{10^6} \quad ; No\ Electrolíticos \quad (8)$$

$$\lambda = \lambda_b \cdot \pi_{CV} \cdot \pi_{SR} \cdot \pi_Q \cdot \pi_E \cdot \frac{Fallas}{10^6} \quad ; Electrolíticos \quad (9)$$

Transistores

De manera similar en el caso de los transistores utilizados, el λ efectivo se puede calcular como se observa en la ecuación 10, donde π_T es el factor multiplicador asociado a la temperatura, π_A es el factor asociado a la aplicación (en este caso podría ser a modo de interruptor o como amplificador lineal), π_R es el factor asociado al valor de la potencia disipada, y π_S es el factor asociado al valor de la tensión entre el colector y emisor.

$$\lambda = \lambda_b \cdot \pi_T \cdot \pi_A \cdot \pi_R \cdot \pi_S \cdot \pi_Q \cdot \pi_E \cdot \frac{Fallas}{10^6} \quad (10)$$

Microcircuitos, arreglos lógicos y microprocesadores

En el caso del microcontrolador y los circuitos integrados, una de las formas de estimar su tasa efectiva de fallas es mediante la ecuación 11, donde C_1 es el factor multiplicador asociado a la complejidad del integrado dado por el número de transistores y/o cantidad de bits de procesamiento, C_2 es el factor asociado al tipo de encapsulado, y π_L es el *learning factor*, es decir, el factor asociado a la cantidad de años que el circuito integrado se encuentra en producción.

$$\lambda = (C_1 \cdot \pi_T + C_2 \cdot \pi_E) \cdot \pi_Q \cdot \pi_L \cdot \frac{Fallas}{10^6} \quad (11)$$

Resultados

Para determinar π_E , se asume un ambiente de trabajo G_M ⁷, dado que Intelligent Tracker se trata de un equipo que será colocado en vehículos y/o transportado manualmente. En el caso de π_Q se asume la mas baja calidad, considerando el caso pesimista. Para la determinación de λ_b , se asume una temperatura ambiente de 20°C y un *stress*⁸ menor al 30 % en todos los casos. π_A se determina para el uso de los transistores como interruptores. Finalmente, para el resto de los valores se ingresa en las tablas de la norma con las características del componente y se extrae su factor asociado.

Valor	Encapsulado	Cantidad	λ_b	π_R	π_Q	π_E	$\lambda_{efectiva}$ (FIT)
22 - 1 %	SMD 0805	3	0,00022	1	15	8	79,20
330 - 1 %	SMD 0805	3	0,00022	1	15	8	79,20
470 - 1 %	SMD 0805	1	0,00022	1	15	8	26,40
3K3 - 1 %	SMD 0805	1	0,00022	1	15	8	26,40
4K7 - 1 %	SMD 0805	4	0,00022	1	15	8	105,60
10K - 1 %	SMD 0805	2	0,00022	1	15	8	52,80
1M - 1 %	SMD 0805	1	0,00022	1,1	15	8	29,04
							398,64

Cuadro 34: Cálculo de la tasa de fallas para las resistencias.

Valor	Encapsulado	Cantidad	λ_b	π_{CV}	π_Q	π_E	π_{SR}	$\lambda_{efectiva}$ (FIT)
10pF - 1 %	SMD 0805	7	0,0014	0,53	10	9	-	465,86
22pF - 1 %	SMD 0805	2	0,0014	0,58	10	9	-	145,16
33nF - 1 %	SMD 0805	6	0,0014	0,60	10	9	-	455,35
22nF - 1 %	SMD 0805	1	0,0014	1,23	10	9	-	155,17
100nF - 1 %	SMD 0805	7	0,0014	1,45	10	9	-	1283,08
1uF - 1 %	SMD 0805	2	0,0014	1,87	10	9	-	472,26
10uF - 1 %	Through hole	2	0,0063	1,32	10	8	0,27	1328,80
47uF - 1 %	Through hole	2	0,0063	1,59	10	8	0,33	1599,97
100uF - 1 %	Through hole	1	0,0063	1,74	10	8	0,33	875,85
								6781,51

Cuadro 35: Cálculo de la tasa de fallas para los capacitores.

⁷Ground, Mobile: equipos instalados en vehículos y/o equipos transportado manualmente; incluye equipos tácticos de apoyo en tierra a misiles, equipo de comunicación móvil, sistemas de dirección de tiro, entre otros.

⁸Relación entre la potencia disipada y la potencia nominal del componente.

Componente	Cantidad	λ_b	π_R	π_Q	π_E	π_T	π_L	π_S	π_A	C_1	C_2	$\lambda_{efectiva}$ (FIT)
SIM5320	1	-	-	2	4	0,1	1	-	-	0,56	0,32	2544
MK20DX64	1	-	-	2	4	0,1	1	-	-	0,56	0,25	2000
MCP73831	1	-	-	10	4	0,1	1	-	-	0,02	0,16	6360
TC1262	1	-	-	10	4	0,1	1	-	-	0,01	0,13	5000
BC847	2	0,018	0,77	5	5	-	-	0,29	1,3	-	-	261,26
												16165,26

Cuadro 36: Cálculo de la tasa de fallas para otros componentes.

Con los cálculos realizados y mediante las ecuaciones 5 y 6, se obtiene que el dispositivo tiene un MTBF igual a 42835hs, que es equivalente a 4,9 años aproximadamente. Por otro lado se debe tener en cuenta que el se pueden originar fallas en el montaje de los PCBs, las soldaduras y los conectores, pero dichas fallas se detectarán en el sector de calidad antes de que el equipo llegue al usuario.

8.2. Software

La confiabilidad del software se define como la probabilidad de que el software no causará ninguna falla en el sistema, en un intervalo de tiempo, bajo condiciones especificadas. Esta probabilidad es función de las entradas en uso del sistema, como así también de las fallas latentes del software.

Para conocer la confiabilidad del software suelen utilizarse dos modelos, el de predicción y el de estimación.

Predicción

El modelo de predicción se utiliza en las etapas previas del desarrollo, antes de las pruebas, incluso antes en la fase conceptual. Este modelo utiliza datos históricos para predecir la fiabilidad en algún momento futuro.

Para la predicción se puede hacer uso del modelo de Musa o del tiempo de ejecución. Este modelo predice la intensidad inicial de las fallas. Estas fallas por unidad de tiempo inicial, es una función de las no conocidas pero estimadas fallas esperadas.

La ecuación 12 se utiliza para efectuar la predicción, donde k es una constante cuantizada para la estructura dinámica del programa y de las máquinas, se adopta el valor de $4,2 \cdot 10^{-7}$ si no se conoce expresamente, p estima el número de ejecuciones por unidad de tiempo, y w_0 estima del número inicial de fallas en el programa.

$$\lambda_0 = k.p.w_0 \quad (12)$$

$$p = \frac{r}{I} = \frac{r}{n.ER} \quad (13)$$

En la ecuación 13, r es el promedio de la velocidad de ejecución de instrucciones, I es la cantidad de instrucciones del código fuente en lenguaje máquina, n es la cantidad de líneas del código fuente, su unidad es el SLOC (Source Line Of Code), y el ER es el Expantion Ratio que depende del lenguaje utilizado y establece una relación entre la cantidad de líneas de código del lenguaje ensamblador y el lenguaje utilizado.

$$w_0 = N.B \quad (14)$$

Finalmente, en la ecuación 14, N representa el número total de defectos inherentes y B la proporción de defectos que se convierten en fallas, el cual puede asumirse del 95 %. Por default se puede asumir $w_0 = \frac{6 \text{ fallas}}{1000 \text{ SLOC}}$.

k	r	$\frac{\text{instrucciones}}{\text{segundo}}$	n	$ER_{\text{lenguaje } C} \left[\frac{\text{instrucciones}}{SLOC} \right]$	w_0	$\frac{\text{fallas}}{SLOC}$
$4, 2, 10^{-7}$		$50, 10^6$	1500	$2, 5$		$\frac{6 \text{ fallas}}{1000 SLOC}$

Cuadro 37: Valores determinados para el software del proyecto.

En el cuadro 37 se presentan los valores definidos para el cálculo de la predicción. Mediante la ecuación 12 se obtiene que $\lambda_0 = 3, 36, 10^{-5} \frac{\text{fallas}}{\text{segundo}}$, es decir que el MTBF resulta de $29761, 9 Hs$.

Estimación

El modelo de estimación se utiliza en las etapas avanzadas del ciclo de vida del programa, cuando ya se obtuvieron datos, no en la fase conceptual. Este modelo utiliza datos provenientes del actual desarrollo de software con el fin de estimar la fiabilidad tanto presente como futura.

El modelo de Shooman es similar al modelo exponencial, excepto que cada falla está normalizada por el número de líneas de código. Una ventaja de este método es que al normaliar los errores por línea de código, el resultado se ajusta a cambios en el tamaño de la longitud del software.

Shooman plantea a la fiabilidad como se expresa en la ecuación 15, en función de la ecuación 16.

$$R(t) = e^{-t \cdot \lambda} = e^{-t \cdot k \cdot \varepsilon_r(\zeta)} \quad (15)$$

$$\varepsilon_r(\zeta) = \varepsilon_T - \varepsilon_c(\zeta) = \frac{E_T}{I_T} - \varepsilon_c(\zeta) \quad (16)$$

Donde ε_T es la tasa de errores totales, $\varepsilon_c(\zeta)$ es la tasa de corrección de errores que depende de la cantidad de errores corregidos al cabo del tiempo ζ , es decir el tiempo de depuración, E_T es la cantidad inicial de errores, e I_T es la cantidad de instrucciones de máquina en el programa.

En la ecuación 17 se presenta el cálculo del MTBF para el modelo de Shooman, donde la dificultad se encuentra en estimar el valor de k , la constante de proporcionalidad, y el valor de E_T , es decir, la cantidad de errores iniciales.

$$MTBF = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{k \cdot \left(\frac{E_T}{I_T} - \varepsilon_c(\zeta) \right)} \quad (17)$$

Para estimar los datos que restan conocer, se realizan iteraciones sucesivas sobre el software, en las cuales se prueba el funcionamiento del mismo hasta encontrar un error y corregirlo, a fin de determinar la tasa de errores en varias iteraciones y así poder aproximar las variables mediante un sistema de ecuaciones.

Si se despeja el sistema de ecuaciones se obtiene la ecuación 18, a partir de la cual se puede obtener el valor de \hat{k} mediante la ecuación 19.

$$\hat{E}_T = - \frac{\frac{\lambda_1}{\lambda_2} \cdot E_c(\zeta_2) - E_c(\zeta_1)}{\frac{\lambda_1}{\lambda_2} - 1} \quad (18)$$

$$\hat{k} = \lambda_1 \cdot \frac{I_T}{\hat{E}_T - E_c(\zeta_1)} \quad (19)$$

En el transcurso de dos semanas se realizaron pruebas con el prototipo y se obtuvieron los siguientes resultados, definiendo $\lambda_i = \frac{f_i}{T_i}$, donde f_i es el número de fallas catastróficas en el período T_i . Además, se aclara que el gran número de correcciones se debieron a que el software del prototipo se encontraba en la etapa final del desarrollo.

$$\begin{cases} T_1 = 5 \text{ días} = 120hs \\ f_1 = 2 \text{ fallas catastróficas} \\ E_c(\zeta_1) = 19 \text{ correcciones} \end{cases}$$

$$\begin{cases} T_2 = 5 \text{ días} = 120hs \\ f_2 = 1 \text{ falla catastrófica} \\ E_c(\zeta_2) = 40 \text{ correcciones} \end{cases}$$

Dado $I_T = 1500 \cdot 2,5 = 3750$, y los valores medidos en las iteraciones sucesivas presentados en la tabla 38, las cuales se realizaron en períodos de 120hs, se obtiene $\hat{E}_T = 61$ y $\hat{k} = 0,78$.

λ_1	λ_2	E_{c_1}	E_{c_2}
0,017	0,0083	19	40

Cuadro 38: Tasas de errores catastróficos y tasas de corrección de errores medidas.

Finalmente, con los datos presentes y la ecuación 17, se estima el MTBF en 2400hs. De esta forma a modo de evitar las fallas por software, el mismo debe reiniciarse mediante un *soft reset* dentro del intervalo de tiempo mencionado.

9. Conclusiones

9.1. Objetivos alcanzados

Este trabajo presenta el desarrollo de un dispositivo de rastreo como producto comercial. Se lograron alcanzar diferentes funcionalidades como son el envío de la localización por mensaje de texto, la conexión automática de llamadas telefónicas y la notificación de movimientos indeseados. Se lograron cumplir con las especificaciones propuestas a partir de los requerimientos.

Se analizó la factibilidad del proyecto desde un punto de vista técnico, dando como resultado que existen diversas formas de llevar a cabo y mejorar la propuesta. Se estudio el proyecto desde un punto de vista legal, y finalmente se analizó la factibilidad económica.

En el análisis financiero se destacó la intención de celebrar un contrato de suministros con una empresa corredora de seguros, la cual cubriría con el mínimo de ventas necesarias por mes para que el proyecto sea rentable, pudiendo además comercializar el producto por cuenta propia o a través de otros intermediarios, obteniendo resultados aún mas alentadores. Desde el punto de vista financiero y considerando únicamente las ventas del contrato de suministros, se obtuvo al cabo de dos años una VAN de $U\$D 1955,4$ con una TREMA nominal anual del $31,25\%$ (valor que ofrecen algunos bancos en plazos fijos), una TIR del 9% mensual, y un período de repago actualizado de 12,7 meses.

Para concluir, se destaca que el dispositivo puede presentar mejoras en versiones posteriores simplemente actualizando el software sin necesidad de rediseñar el hardware ya que el mismo se diseñó pensando en las mejoras y futuras versiones del dispositivo.

9.2. Fallas

A continuación se detallan algunos inconvenientes o fallas.

Estimación de los tiempos

Si bien los requerimientos se cumplieron, los plazos previstos para el proyecto, no. Esto se debió a la falta de experiencia en la estimación de tiempos para la cantidad de integrantes. El error en la estimación se debió a cuestiones personales, laborales y de estudio. Además no se consideraron las vacaciones propias y las de los proveedores de componentes necesarios para llevar a cabo el prototipo.

A fin de definir con mayor exactitud los plazos de futuros proyectos, se propone dedicar especial atención a la estimación de los mismos, en base a la consideración de factores personales, externos que puedan influir en el proyecto, y la factibilidad de cumplir los tiempos con la cantidad de personas disponibles.

9.3. Recomendaciones para futuros diseños

Existen cambios o mejoras que podrían aplicarse a versiones futuras del dispositivo, con el fin de persistir en el mercado y mejorar prestaciones para ser más competitivo y/o ingresar a otros segmentos del mercado.

A continuación se detallan algunas recomendaciones para futuros diseños.

Inicializar el GPS

Como se ha mencionado, cuando el dispositivo se deja apagado durante un período de tiempo prolongado, al encenderse el GPS demora varios minutos en volver a geolocalizar. Esto se debe a que el clock interno se desfaza, al perder la referencia, y luego demora en calibrarse.

Una propuesta es evaluar alternativas para inicializar el módulo GPS y verificar si el tiempo de calibración se reduce; por ejemplo, indicándole al módulo donde se encontraba la última vez, eso le podría dar una mejor aproximación frente a desconocer su posición en el planeta.

Detección del movimiento

Dado que la estimación de la velocidad a partir del GPS utilizado presenta ruido, el umbral de detección debe ser elevado, por encima de los 5km/h, y por ende no es posible detectar velocidades bajas. Si se quisiera detectar pequeños movimientos se recomendaría hacer uso de otra herramienta como un acelerómetro o hacer uso de un GPS mas preciso.

Incorporación de tecnología 3G

El diseño del hardware fué originalmente pensado para que el dispositivo pueda aumentar en gran escala sus prestaciones, e incluir la tecnología 3G, simplemente actualizando el software. Este tipo de tecnología requerirá tiempo para el estudio y dominio de la misma. Esta incorporación es a lo que se debería apuntar en la próximas versiones del tracker.

Diseño de una aplicación móvil

En caso de incorporar la tecnología 3G, se podrían aumentar considerablemente las prestaciones mediante el diseño de una aplicación móvil y/o una aplicación web. Dicha aplicación podría permitirle al usuario interactuar con el dispositivo e incluso realizar un seguimiento en tiempo real sin necesidad de mandar mensajes de texto y esperar la respuesta.

Medición de la batería

Con el fin de completar las prestaciones del dispositivo, en modelos sucesivos se recomendaría implementar un indicador del nivel de batería, para que el usuario sepa con facilidad cuando debe cargarla.

Miniaturización

La escala de integración, en el caso de los dispositivos de rastreo aplicados para el cuidado de objetos personales, resulta de gran importancia ya que los mismos deberían ser difíciles de encontrar en el caso de un robo. Actualmente el modelo diseñado resulta de utilidad para los vehículos, pero el mercado se podría ampliar aún más si se lograra integrar y miniaturizar.

Anexo: Manual de Usuario

Manual de Usuario

Descripción

Intelligent Tracker es un dispositivo que permite conocer su localización por medio de mensajes de texto, realizar escuchas, y notificar un movimiento indeseado.

El usuario puede regular su uso sin depender de un tercero. De esta manera, si el dispositivo se coloca en un vehículo, el usuario podría enterarse al instante dónde y cuándo el mismo comienza a moverse sin su presencia, ya sea porque la grúa lo esté remolcando o porque se encuentra siendo robado, pudiendo en este último caso realizar escuchas.

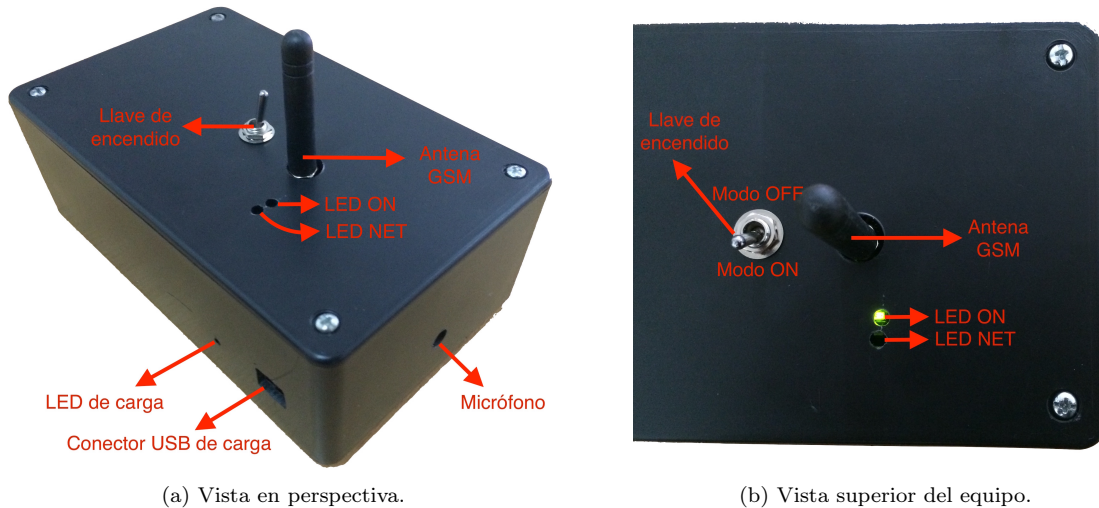


Figura 51: Interfaz del equipo.

- Llave de encendido: para prender (modo 'ON') y apagar (modo 'OFF') el equipo.
- LED ON: luz que indica que el equipo se encuentra encendido.
- LED NET: luz que indica que el equipo se encuentra conectado a la red GSM, es decir, habilitado para recibir y enviar mensajes de texto. Cuando el periodo del parpadeo es menor al segundo (200ms ON, 200ms OFF) el módulo se encuentra conectándose, y cuando es mayor (800ms ON, 800ms OFF) se encuentra conectado.
- LED de carga: indica si la batería se está cargando (LED encendido) o si se terminó de cargar (LED apagado).
- Conector USB (mini B) de carga: se utiliza para cargar la batería del dispositivo con una fuente externa capaz de entregar una tensión DC de $5 \pm 0,1V$ y una corriente máxima de $500mA$.
- Micrófono: por él ingresa el sonido que será transmitido al momento de realizar las escuchas.
- Antena GSM: permite obtener una mejor señal del sistema GSM.

Uso de Intelligent Tracker

Primeros pasos

A continuación se enumeran los pasos par configurar el equipo.

1. Apagar el equipo, colocando la llave en el modo 'OFF'.
2. Colocar la tarjeta SIM en la ranura correspondiente del dispositivo.

Encendido

A continuación se enumeran los pasos par encender el equipo.

1. Encender el equipo en un lugar abierto, colocando la llave en el modo 'ON'. Verificar que el LED de encendido se encuentre prendido, de lo contrario cargue el equipo.
2. Esperar, en un lugar abierto, cinco minutos aproximadamente hasta que el dispositivo se conecte con los satélites y la red GSM.
3. Verificar si el dispositivo se encuentra en funcionamiento enviando el comando '+S' al numero de la tarjeta SIM introducida.
4. Si el dispositivo responde que se encuentra en funcionamiento ya puede comenzar a utilizarse, de lo contrario verifique la correcta ejecución de los pasos anteriores y si habiendo cumplido lo anterior el dispositivo demora más de 15 minutos en conectarse, contacte al proveedor.

Apagado

1. Apagar el equipo, colocando la llave en el modo 'OFF'.

Carga del equipo

A continuación se enumeran los pasos par cargar el equipo.

1. Colocar la llave de encendido en modo 'ON'.
2. Conectar mediante un cable USB el dispositivo a una fuente de alimentación externa. Si la batería esta descargada, deberá ver el LED de carga encendido.
3. Esperar a que el LED de carga se apague. Luego puede desconectar el cable y usar el equipo.

Comunicación con el equipo

La comunicación con el dispositivo es a través de comandos vía SMS. Éstos comienzan y se reconocen con el prefijo '+', a fin de formalizar el formato. Dichos comandos pueden ser uno de tres, '+S' para conocer el estado de funcionamiento del sistema, dado por la conexión con el sistema satelital, '+LA' para conocer la localización del dispositivo, o '+NM' para configurar la notificación de movimientos, teniendo en este último caso los argumentos, separados por un caracter de espacio (' '), 'ON' para activar la notificación y 'OFF' para desactivar la notificación.

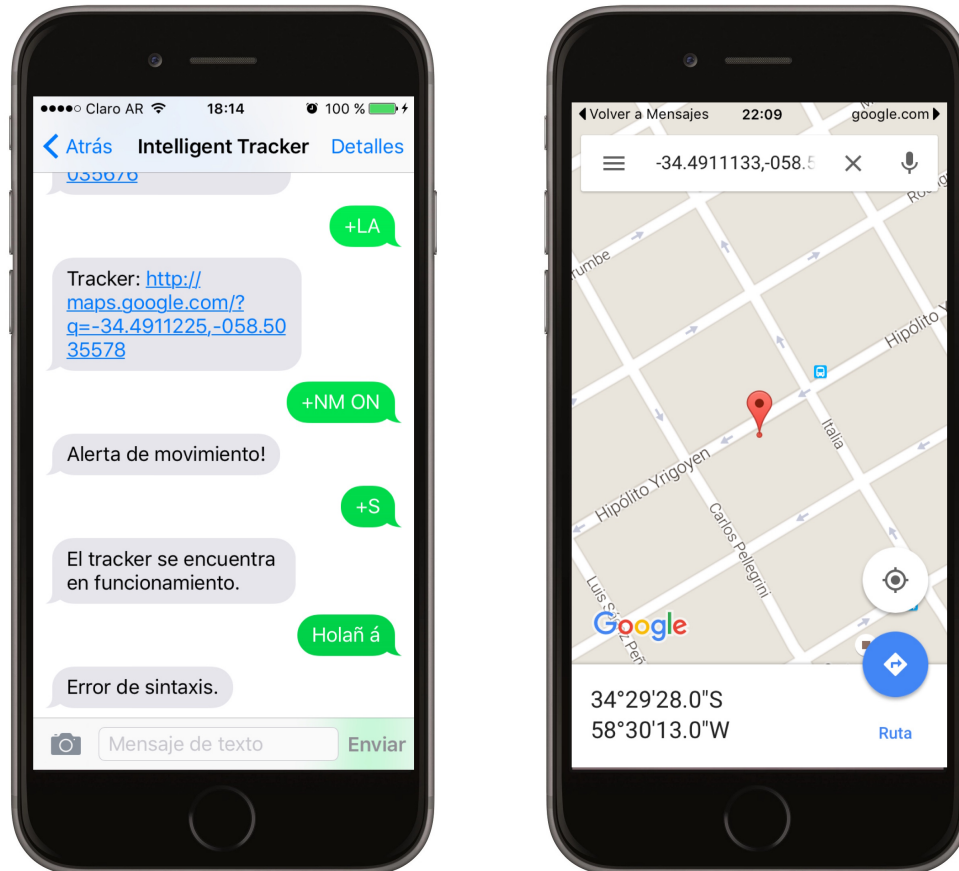
Comandos	Operandos	Significado
+S		Status: para conocer si se encuentra en funcionamiento el equipo
+LA		Localización Actual: petición de la misma
+NM	ON	Notificar Movimiento: Encendido
	OFF	Notificar movimiento: Apagado

Cuadro 39: Comandos y sus significados.

Todos los comandos presentan respuesta, ya sea con la información requerida o con un 'OK', en confirmación a la configuración de notificaciones. En el caso de que el comando sea erróneo, se notificará dicho error.

Los comandos pueden ser enviados tanto en mayúsculas como en minúsculas.

En la figura 52 se presentan algunos resultados del dispositivo frente al envío de comandos.



(a) Respuesta del dispositivo ante diferentes comandos.

(b) Presionando el link recibido.

Figura 52: Ejemplo de uso.

Recomendaciones de seguridad y uso

Es importante que el usuario lleve a cabo las siguientes recomendaciones a fin de evitar accidentes.

- Evitar temperaturas extremas: no exponer al dispositivo a temperaturas fuera del rango $-20^{\circ}\text{C} \sim 70^{\circ}\text{C}$.
- Evitar cualquier tipo de contacto con agua u otros líquidos.
- No hacer uso del equipo mientras se encuentra siendo cargado.
- Evitar golpes y movimientos bruscos que puedan dañar al equipo.
- No alterar los circuitos del equipo.
- Usar el dispositivo en espacios abiertos, no ubicarlo en lugares que formen un blindaje electromagnético.

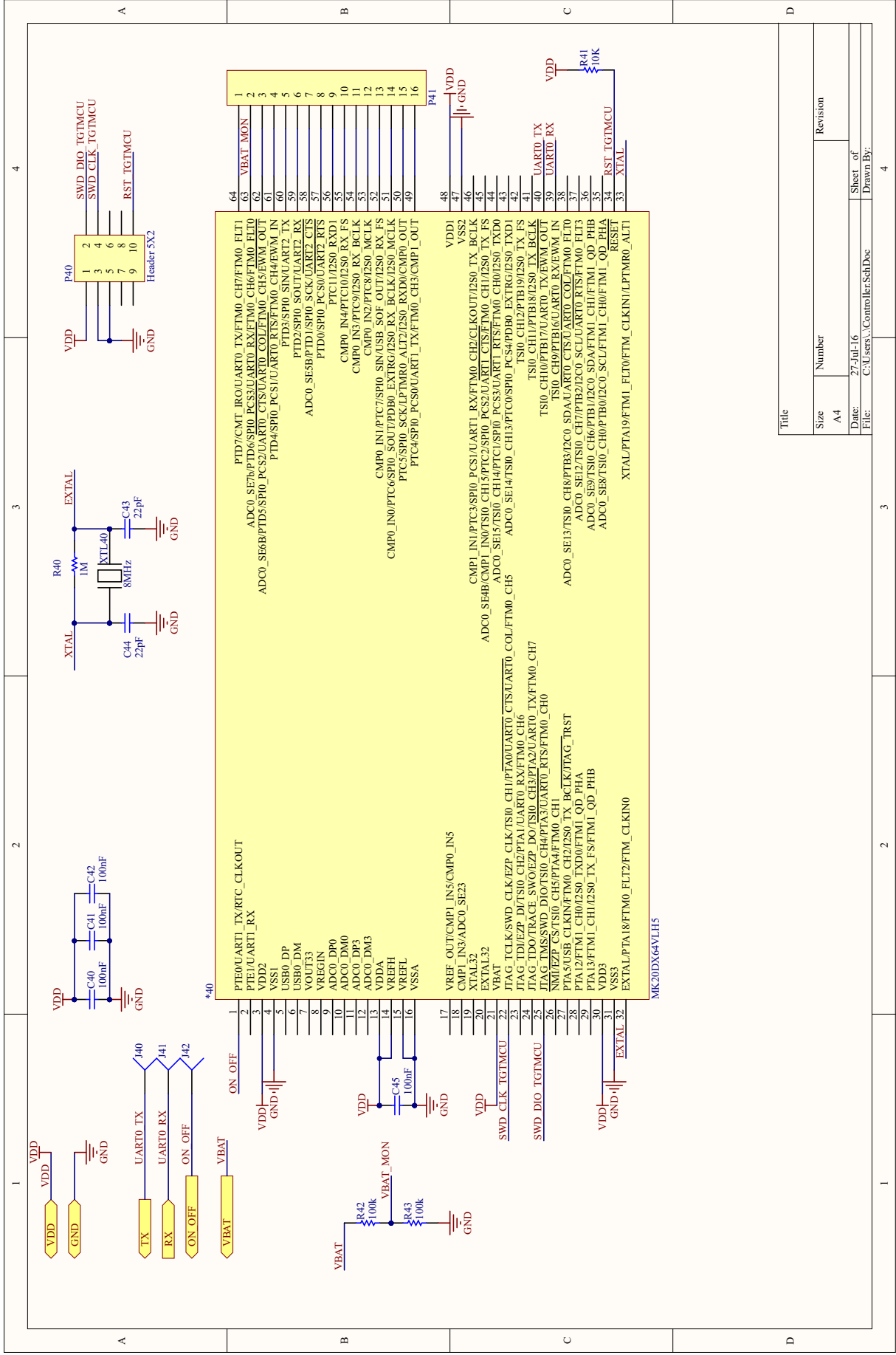
- No aproximar el equipo a elevados campos magnéticos o eléctricos.
- El mantenimiento que requiere el equipo consiste principalmente es el cambio de la baterías cada dos o tres años. La batería debe ser descartada según las normas locales para evitar la contaminación del medio ambiente. No deben mezclarse con residuos hogareños y ante cualquier duda acérquese al centro de reciclaje mas cercano a su domicilio.

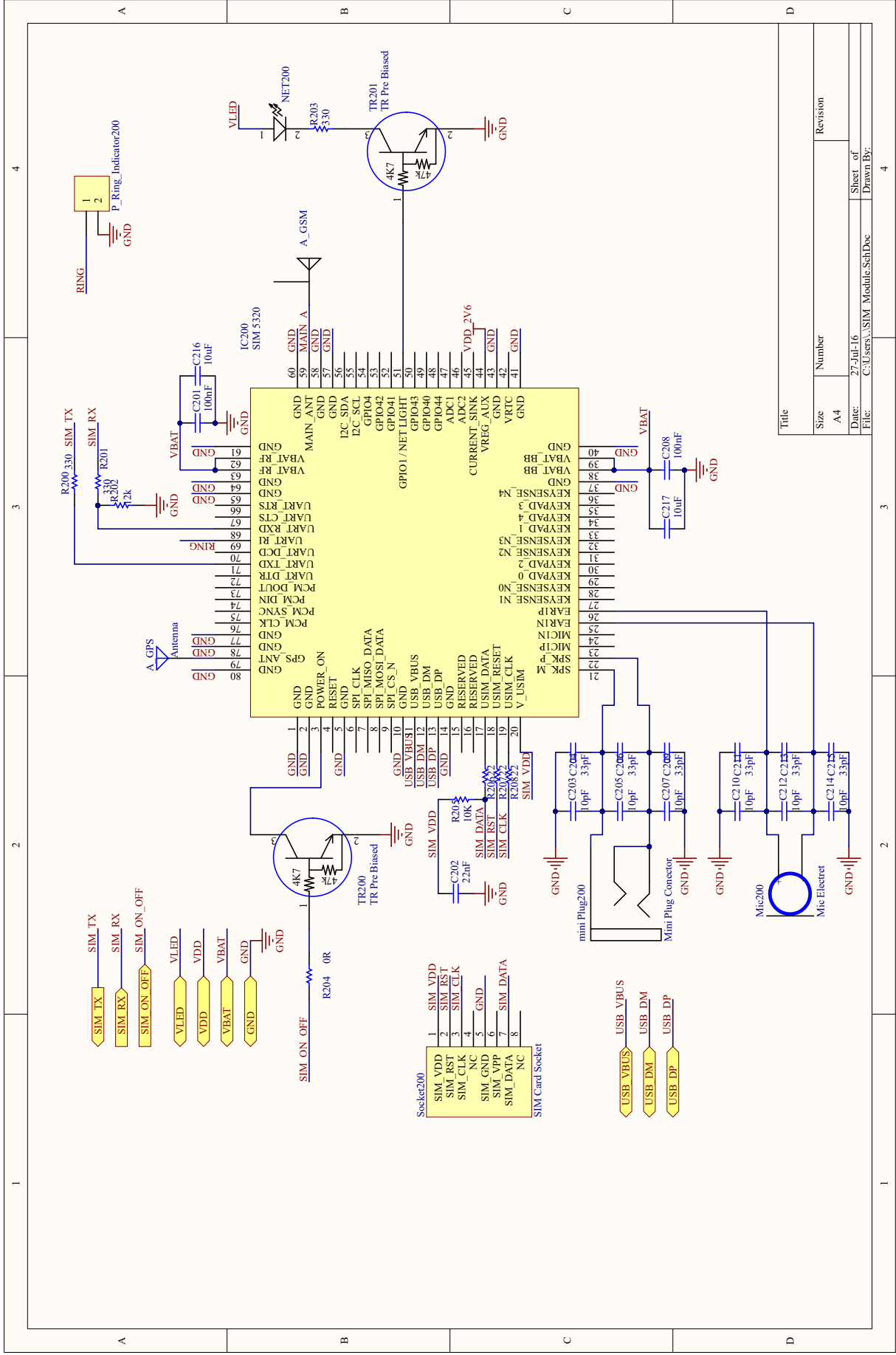
Limitaciones y recomendaciones

A continuación se mencionan las limitaciones que presenta el equipo y se brindan algunas recomendaciones.

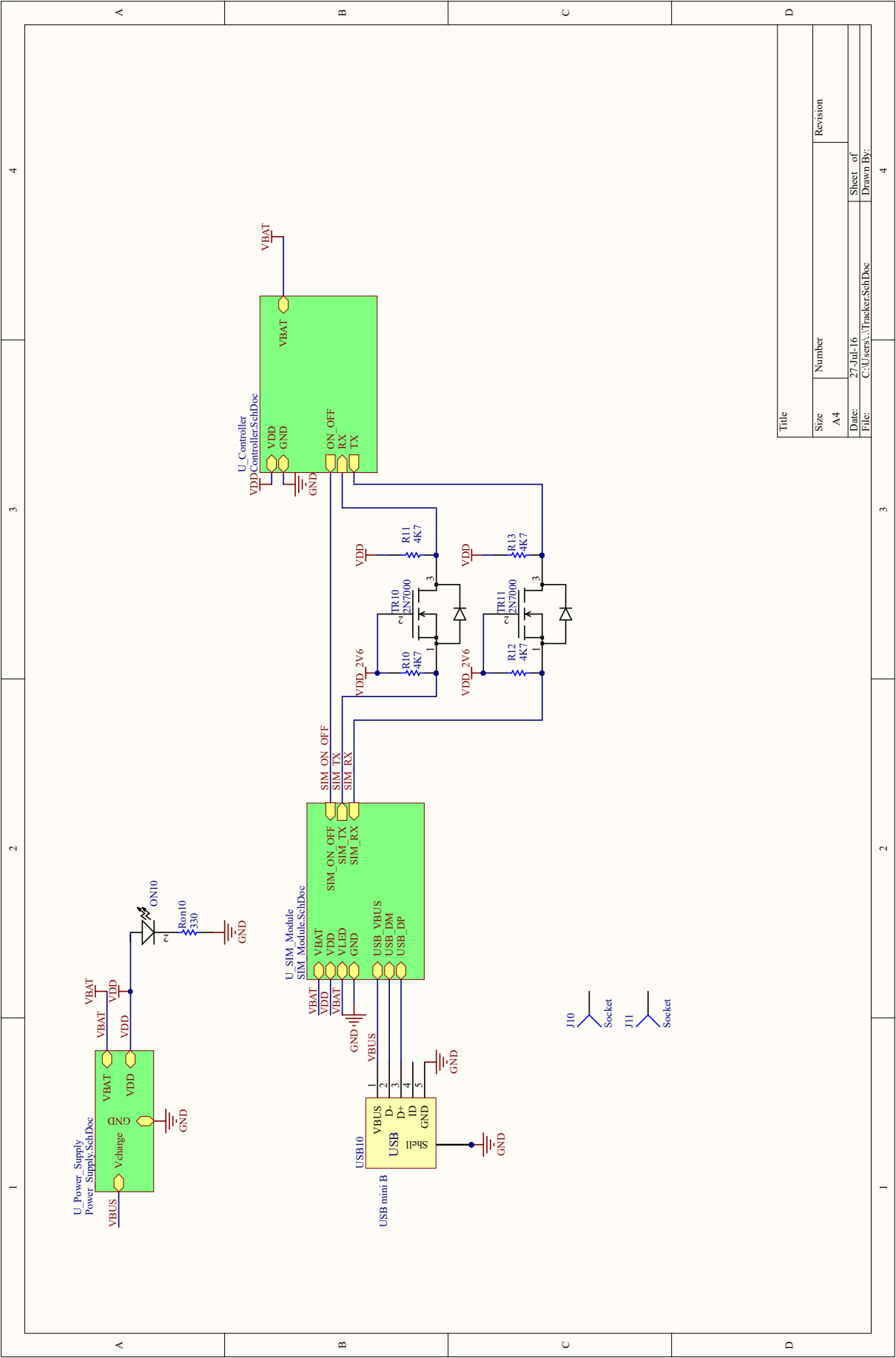
- El equipo no funcionará fuera del área de cobertura GSM. Dicho área estará determinada por el proveedor de servicios que el usuario elija mediante la tarjeta SIM.
- El dispositivo no brinda información acerca del saldo o servicio asociado a la tarjeta SIM. Para ello se recomienda controlar y gestionar dicho servicio desde la página web del proveedor de la tarjeta.
- La demora promedio entre el envío del comando al equipo y la respuesta del mismo, oscila entre los 15 y 25 segundos. Este tiempo se encuentra dado por el sistema GSM del proveedor de la tarjeta SIM.
- Se considera movimiento a un desplazamiento con una velocidad mayor o igual a los $5,5\text{km/h}$. Valores de velocidad por debajo de este umbral no son detectables.
- Cuando el dispositivo se mantiene apagado durante un período de tiempo prolongado, al encenderse, el GPS demora varios minutos en volver a geolocalizar. Esta demora se debe a una auto-calibración del equipo. A su vez cuando la cantidad de satélites próximos a la región del dispositivo no son suficientes, el equipo presenta dificultades para geolocalizarse.

Anexo Técnico





Title		Revision	
Size	Number		
A4			
Date:	27-Jul-16	Sheet of	
File:	C:\Users\...SIM Module.SchDoc	Drawn By:	



Title		Revision	
Size	Number		
A4			
Date:	27-Jul-16	Sheet of	
File:	C:\Users\...\Tracker\SchDoe	Drawn By:	
		4	

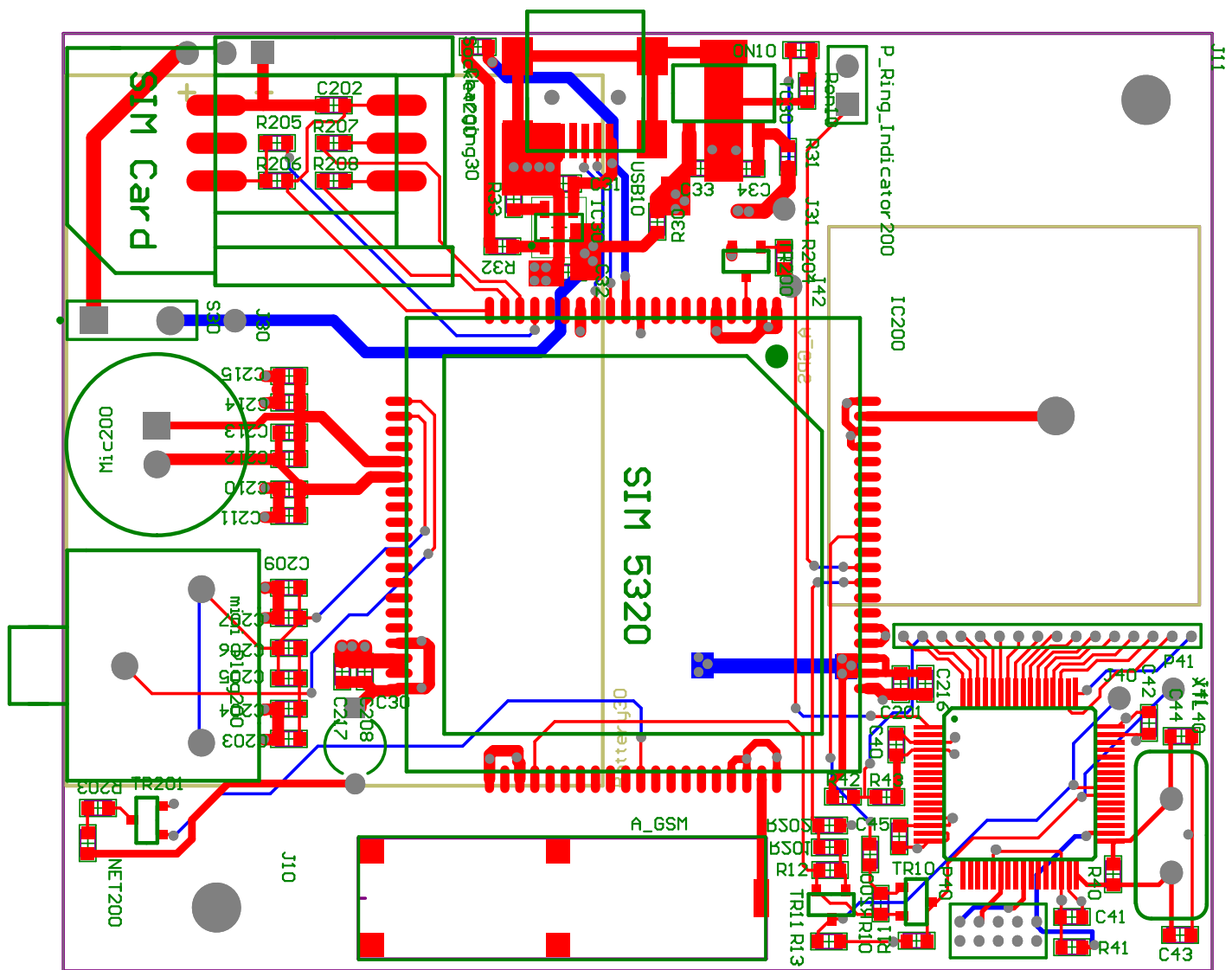



Table of Contents	
1	Title
2	Block Diagram
3	K20D MCU
4	OpenSDA INTERFACE
5	I/O Headers and Power Supply

Revisions			
Rev	Description	Date	Approved
X1	Initial Draft	08/20/12	L. PUEBLA
A	Prototype Release	08/28/12	L. PUEBLA
B	Production Release	11/21/12	L. PUEBLA
C	Respin Release	01/21/13	L. PUEBLA
C1	D9 pop fix	01/29/13	L. PUEBLA

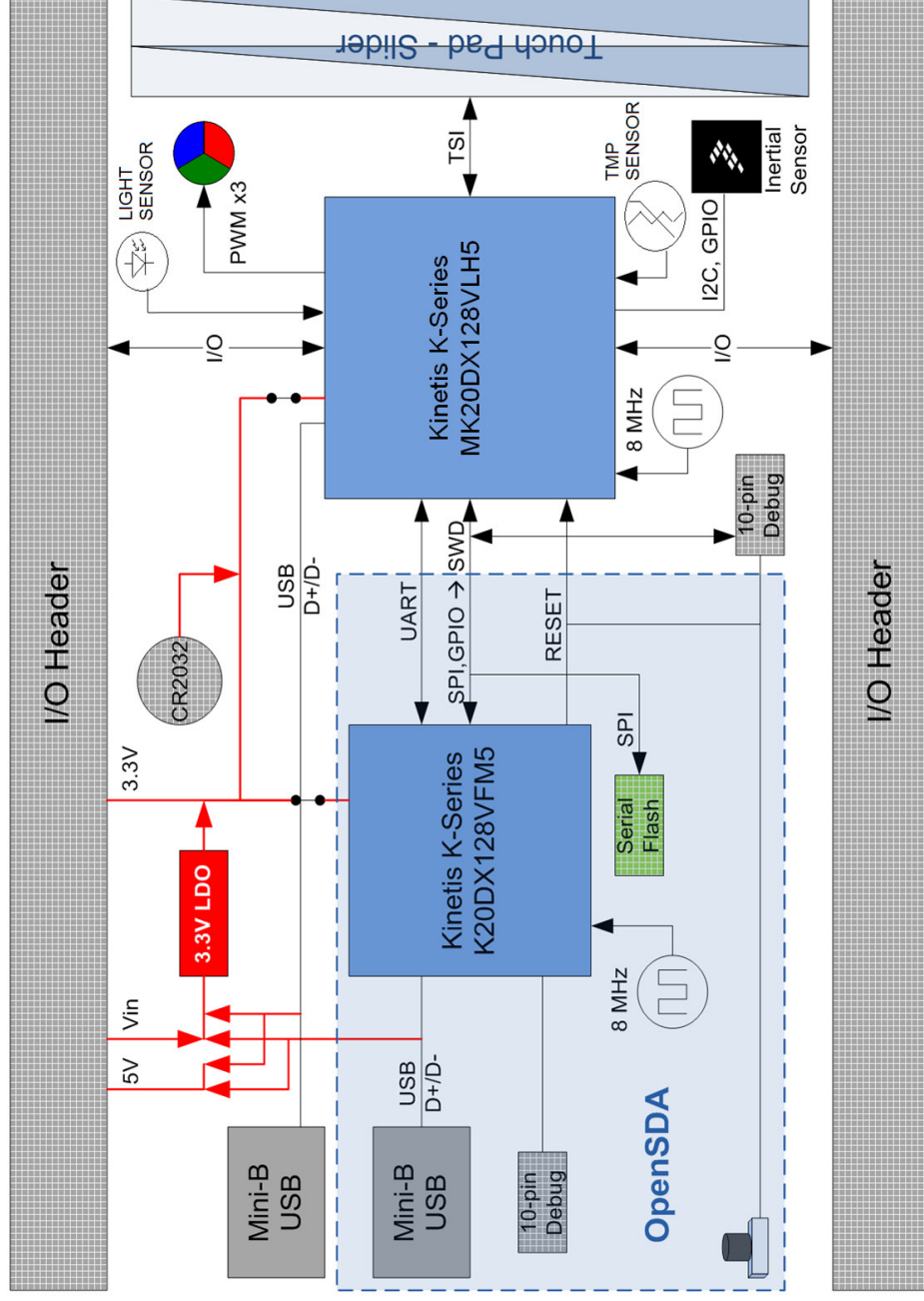
FRDM-K20D50M



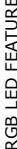
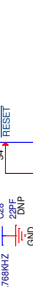
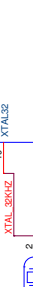
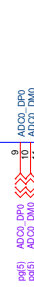
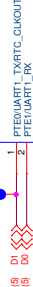
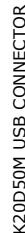
Automotive, Industrial & Multi-Market Solutions Group
6501 William Cannon Drive West Austin, TX 78735-8588

ICAP Classification: ECP:		EUG: EBL: X	
Drawing Title: FRDM-K20D50M			
Page Title: TITLE PAGE			
Designer: RAFAEL DEL REY	Drawn by: RAFAEL DEL REY	Size: C	Document Number: SCH-2770 PDF: SPH-2770
Approved: LUIS PUEBLA		Rev: C1	
DATE: Tuesday, March 26, 2013		Sheet: 1	of 5

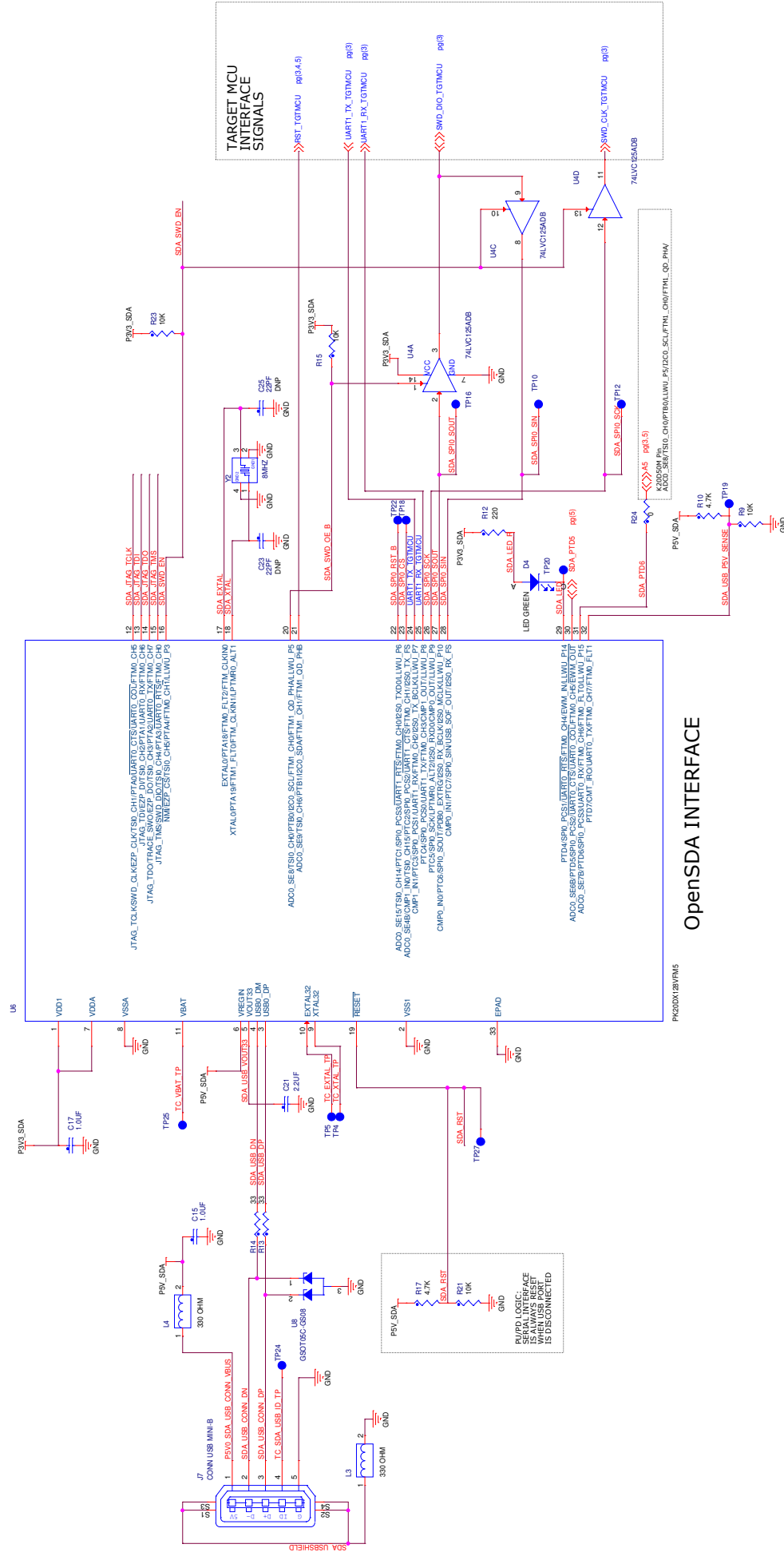
1. Unless Otherwise Specified:
 - All resistors are in ohms, 5%, .18 Watt
 - All capacitors are in μF , .20%, 50V
 - All voltages are DC
 - All polarized capacitors are aluminum electrolytic
2. Interrupted lines coded with the same letter or letter combinations are electrically connected.
3. Device type number is for reference only. The number varies with the manufacturer.
4. Special signal usage:
 - _B Denotes - Active-Low Signal
 - <> or [] Denotes - Vectored Signals
5. Interpret diagram in accordance with American National Standards Institute specifications, current revision, with the exception of logic block symbology.



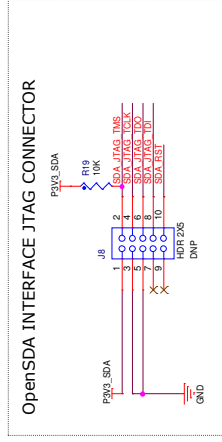
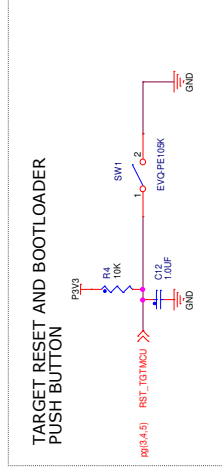
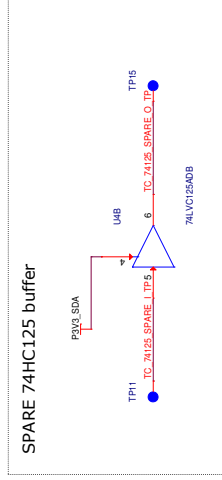
Hashed blocks indicate optional items that will not be populated by default

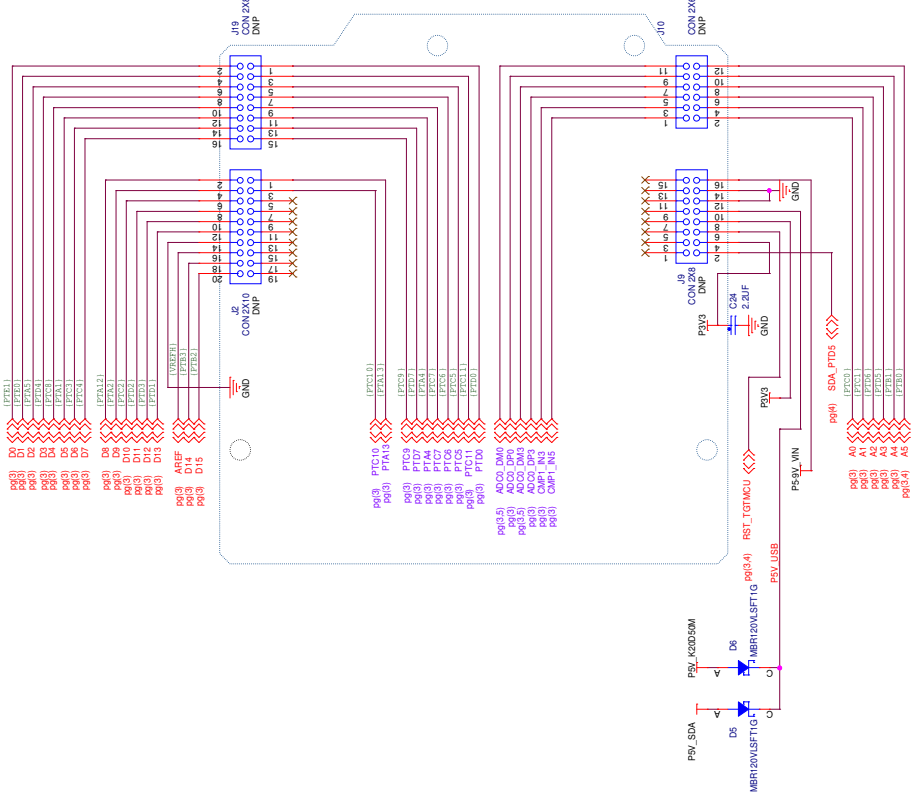
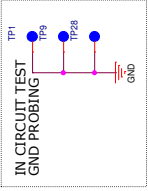
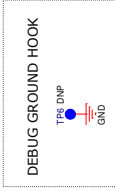
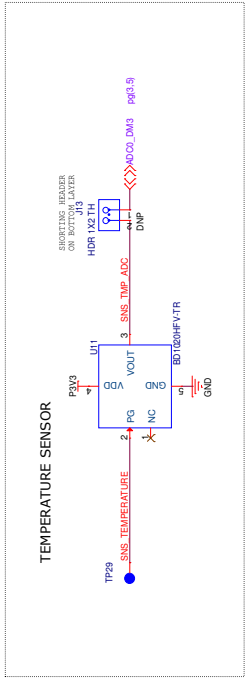
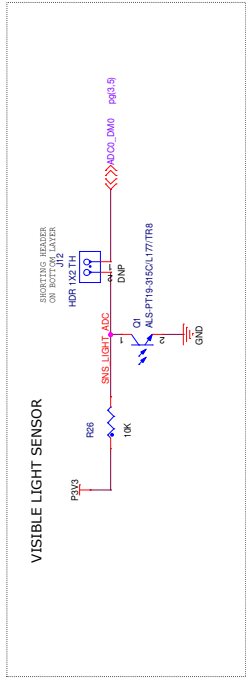
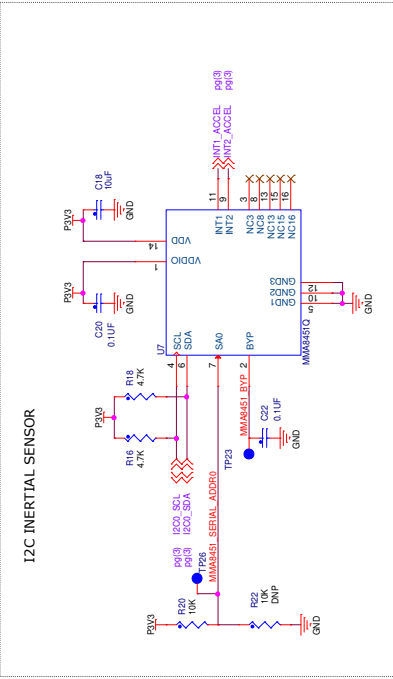
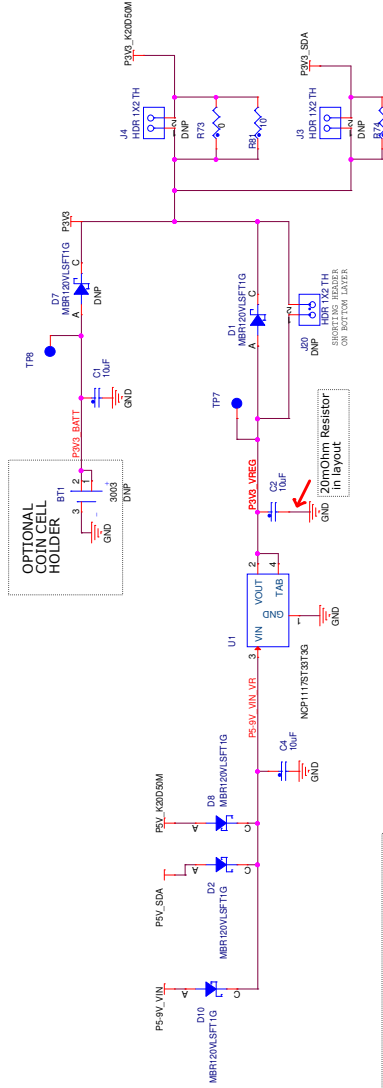


ICAS Classification:		ECP: _____		FIUC: _____		PUBI: X	
Drawing Title		FRDM-K20D50M					
Page Title:		K20D MCU					
Size	C	Document Number	SCH-27720		PDF: SPF-27720		Rev C1
Date:	Tuesday, March 26, 2013	Sheet	3	of	5		



OpenSDA INTERFACE





This is an updated GPS module that can be used with Ardupilot Mega v2. This GPS module uses the latest technology to give the best possible position information, allowing for better performance with your Ardupilot or other Multirotor control platform.

You may require to configure this module for use with your flight controller (MultiWii Copter I2C GPS board requires 115200 baud). You will require a USB to FTDI adaptor board to do this.

Please note that this module ships with default settings and a baud rate of 38400.

Features:

- Standalone GPS receiver
- U-blox NEO-6M GPS module
- Under 1 second time-to-first-fix for hot and aided starts
- SuperSense ® Indoor GPS: -162 dBm tracking sensitivity
- Anti-jamming technology
- Support SBAS (WAAS, EGNOS, MSAS, GAGAN)
- u-blox 6 50 channel positioning engine with over 2 million effective correlators
- Timepulse
- 5Hz position update rate
- Operating temperature range: -40 TO 85°C
- UART TTL socket
- EEPROM to store settings
- Rechargeable battery for Backup
- Build in 18X18mm GPS antenna
- RoHS compliant

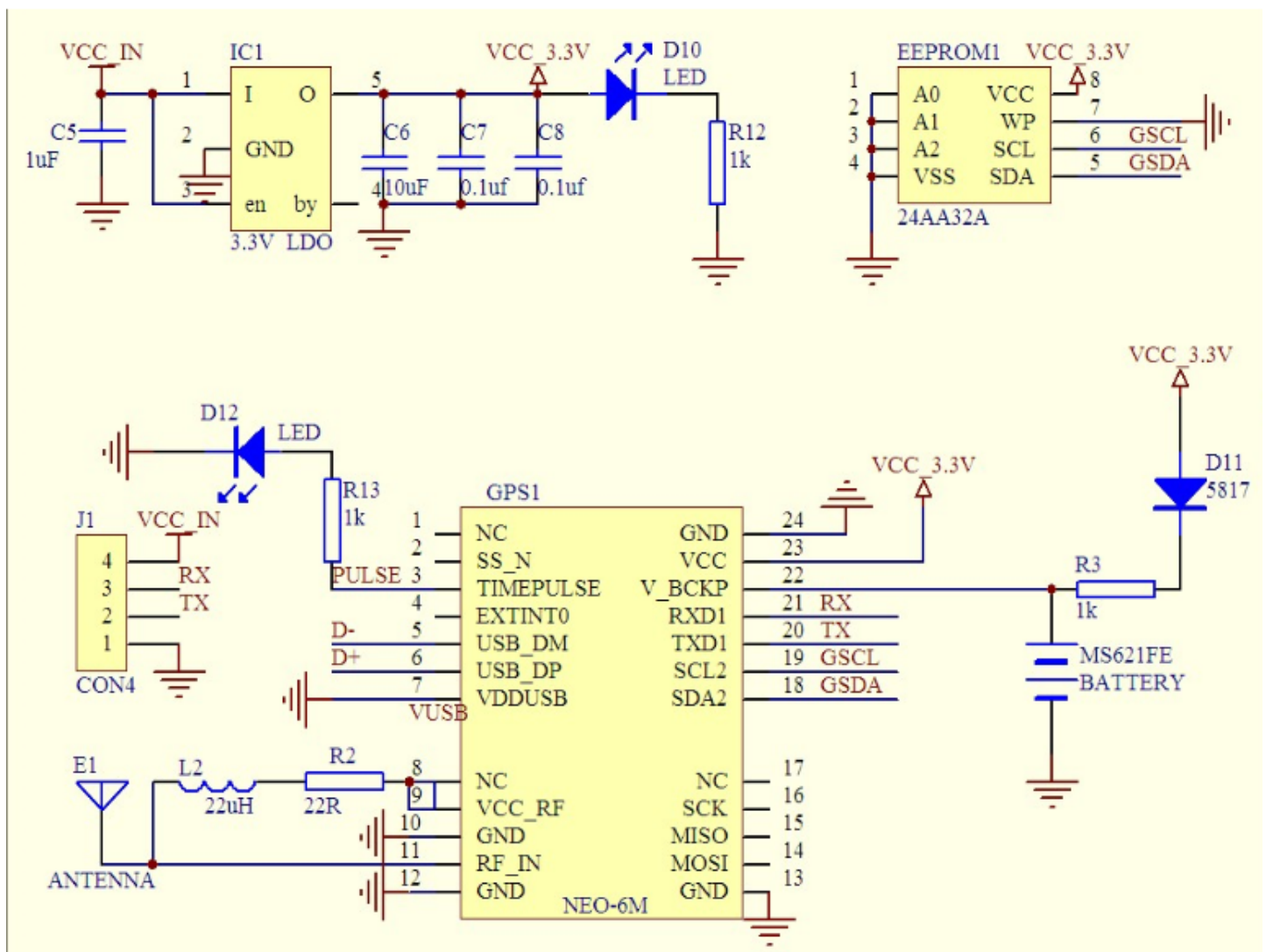
Specs:

Dimension: 22mmX30mm

Height: 13mm

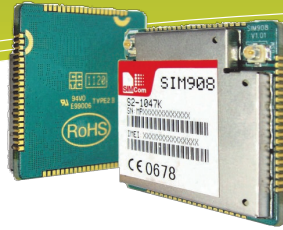
Hole dia.: 3mm

Weight: 12g



SIM908

Combination GSM/GPRS+GPS Module in an SMT package



Specifications for data transfer

- GPRS Class 8/10: max 85.6 kbps downlink
- PBCCH support
- Coding Schemes CS 1, 2, 3, 4
- CSD up to 14.4 kbps
- USSD
- Non Transparent Mode
- PPP-stack
- Integrated TCP/IP stack

Specification for GPS

- Receiver type
 - 42-channel
 - GPS L1 C/A code
 - High-performance STE engine
- Sensitivity
 - Tracking: -160 dBm
 - Cold starts: -143 dBm
- Time-To-First-Fix
 - Cold starts: 30s (typ.)
 - Hot starts: 1s (typ.)
- Accuracy
 - Horizontal position: <2.5m CEP
- Power consumption (GSM engine in idle mode)
 - Acquisition 77mA
 - Tracking 76mA

Interface

- 80-pad with SMT type
- Interface to external SIM 3V/1.8V
- Dual analog audio interface
- SPI interface
- RTC backup
- Charge interface
- A serial interface and a debug Interface for GSM/GPRS
- Debug interface for GPS NMEA Information output
- Two separate antenna connectors for GSM /GPRS & GPS

GENERAL FEATURES

- Quad Band 850 / 900 / 1800 / 1900 MHz
- GPRS Multi-slot class 10
- GPRS Mobile Station class B
- Compliant to GSM phase 2 / 2+
 - Class 4 (2W @ 850 / 900 MHz)
 - Class 1 (1W @ 1800 / 1900 MHz)
- Dimensions: 30 x 30 x 3.2mm
- Weight: 5.2g
 - SIM908-C:11.1g
- Control via AT Commands (GSM 07.07, 07.05 and SIMCOM enhanced AT Commands)
- SIM Application Toolkit
- Supply Voltage Range
 - GPRS: 3.2V ~ 4.8V
 - GPS: 3.0V ~ 4.5V
- Low Power Consumption
- Normal Operating temperature: -40°C to +85°C

Specifications for SMS via GSM/GPRS

- Point-to-point MO and MT
- SMS cell Broadcast
- Text and PDU mode

Specifications For Audio

- Tricodex
 - Half rate (HR)
 - Full rate (FR)
 - Enhanced Full rate (EFR)
- Hand-free operation
- Echo cancelation

Compatibility

- AT cellular command interface

Certifications

- CE
- ROHS



OVERVIEW

The SIM908 is the first member of a new family of ARM926EJ-S based modules doubling the core performance frequency versus traditional ARM7 based solutions. At the same time, with advanced, innovative design, the SIM908 can reduce sleep mode power consumption, providing a power saving of up to 40% compared to current industry averages.

It is delivered in an SMT package size of 30x30x3.2mm.

The product features an integrated internal GPS.

Considering the high performance, low power, and small size, SIM908 is an ideal module for many M2M applications where positioning is required at an affordable price.





WCDMA/HSDPA Module



SIM5320

The SIM5320 series is Dual-Band HSDPA/WCDMA and Quad-Band GSM/GPRS/EDGE module in a SMT package which supports HSDPA up to 3.6Mbps for downlink data transfer.

It has strong extension capability with rich interfaces including UART, USB2.0, SPI, I2C, Keypad, PCM, etc. With abundant application capability like embedded LUA script, TCP/UDP/FTP/FTPS/HTTP/HTTPS/SMTP/POP3 and MMS, the module provides much flexibility and ease of integration for customer's application. It is ideal for a wide range of products like PDA, MID, PND, POS, Tracker, AML, Health Care etc.

Smart Machine Smart Decision

General features

- SIM5320A: Dual-Band UMTS/HSDPA 850/1900MHz
Quad-Band GSM/GPRS/EDGE 850/900/1800/1900MHz
- SIM5320E: Dual-Band UMTS/HSDPA 900/2100MHz
Quad-Band GSM/GPRS/EDGE 850/900/1800/1900MHz
- SIM5320J: Dual-Band UMTS/HSDPA 850(800)/2100MHz
Quad-Band GSM/GPRS/EDGE 850/900/1800/1900MHz
- GPRS multi-slot class 12
- EDGE multi-slot class 12
- Output power
 - UMTS 850/1900: 0.25W
 - UMTS 900/2100: 0.25W
 - GSM850/GSM900: 2W
 - DCS1800/PCS1900: 1W
- Control Via AT Commands
- Supply voltage range: 3.4~ 4.2V
- Operation temperature: -30℃ to +80℃
- Extended operation temperature: -40℃ to +85℃
- Dimension: 30 * 30 * 2.9 mm
- Weight: 5.6g

Support embedded Script Language

- LUA Script Language

Specifications for GPS/Location

- CELL assistant Location (No GPS)
- A-GPS: MS-Based, MS-Assisted
- Stand-alone GPS
- QUALCOMM XTRA GPS mode

Specifications for Data transfer

- HSDPA
 - Max. 3.6Mbps(DL)
- WCDMA
 - Max.384Kbps(DL), Max.384Kbps(UL)
- EDGE Class:
 - Max. 236.8Kbps(DL),Max.118Kbps(UL)
- GPRS
 - Max. 85.6Kbps(DL), Max.42.8Kbps(UL)
- CSD
 - GSM data rate 14.4Kbps
 - WCDMA data rate 57.6Kbps
 - WCDMA 64kbps CSD for Video call
- Multi-PDP connect application

Specifications for SMS

- Point to point MO and MT
- Text and PDU mode

Specifications for Network Identity and Time zone (NITZ)

- Support in GSM and WCDMA

Other features

- USB Driver for Microsoft Windows 2000/XP/Vista
- USB Driver for Windows CE/Mobile
- USB Driver for Linux 2.6/Android
- Firmware update via USB
- MMS
- TCP/IP
- MUX protocol over UART
- FTP/FTPS/HTTP/HTTPS/SMTP/POP3/DNS
- FOTA
- eCall Ready
- Jamming detection support

Interfaces

- USB2.0
- UART
- SIM card
- SPI
- I2C
- Keypad
- Constant current sink
- GPIO
- RTC
- ADC
- PCM

Certifications

- | | | |
|----------------|--|---------------|
| SIM5320A • FCC | | SIM5320E • CE |
| • PTCRB | | • GCF |
| • IC | | • ROHS |
| • ROHS, | | • REACH |
| • REACH | | • NCC |

Carrier Approvals

- | | |
|-------------------------|------------------|
| SIM5320A • AT&T, Rogers | SIM5320J • Telec |
| SIM5320E • TIM | • JATE |

More about SIMCom SIM5320 Please contact:

Tel: 86-21-32523300
Fax: 86-21-32523301
Email: simcom@sim.com
Website: www.sim.com/wm

Bibliografía

Referencias

- [1] "Altium"
<http://techdocs.altium.com> - 2016
- [2] "AT Command Set"
https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/SIMCOM_SIM5320_ATC_EN_V2.02.pdf - 2016
- [3] "C Plus Plus Reference"
<http://www.cplusplus.com> - 2016
- [4] "Digi-key"
<http://www.digikey.com.ar> - 2016
- [5] "Estadísticas Vehículos"
<http://www.telam.com.ar/notas/201504/101205-informe-afac-promotive-parque-automotor-argentina.html> - 2016
- [6] "Estadísticas Robos"
<http://www.infobae.com/2014/04/12/1556839-roban-136-vehiculos-dia-la-ciudad-buenos-aires-y-el-conurbano-bonaerense/> - 2016
- [7] "Galileo"
<http://www.gsa.europa.eu/european-gnss/galileo/galileo-european-global-satellite-based-navigation-system>
- [8] "GPS"
<http://www.gps.gov/>
- [9] "GLONASS"
<https://www.glonass-iac.ru/en/GLONASS/>
- [10] "INTI Electronicae Informatica"
http://www.inti.gov.ar/electronicaeinformatica/emc/pdf/CharlaExpoMedical2012_LB.pdf - 2016
- [11] "TC1262 datasheet"
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21373b.pdf> - 2016
- [12] "MTBF calculator"
<http://www.vishay.com/capacitors/tantalum-reliability-calculator-list/> -2016
- [13] "FRDM-K20D50M User's Manual"
http://cache.nxp.com/files/microcontrollers/doc/user_guide/FRDM-K20D50MUM.pdf - 2016
- [14] "K20 Sub-Family Reference Manual"
https://cache.freescale.com/files/32bit/doc/ref_manual/K20P64M50SF0RM.pdf - 2016
- [15] "Microstrip and Stripline Design"
<http://www.analog.com/media/en/training-seminars/tutorials/MT-094.pdf> - 2016
- [16] "MIL-HDBK-217"
<http://www.sre.org/pubs/Mil-Hdbk-217F.pdf> - 2016
- [17] "NMEA Reference"
[https://www.sparkfun.com/datasheets/GPS/NMEA %20Reference %20Manual-Rev2.1-Dec07.pdf](https://www.sparkfun.com/datasheets/GPS/NMEA%20Reference%20Manual-Rev2.1-Dec07.pdf)
- [18] "Orbitron"
<http://www.stoff.pl> - 2016
- [19] "Robo de vehículos"
http://www.clarin.com/policiales/dia-hora-zonas-roban-autos_0_1528047404.html -2016

- [20] "Satellite Position"
http://www.nstb.tc.faa.gov/rt_waassatellitestatus.htm - 2016
- [21] "SIM5320 Hardware Design"
https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/SIM5320_Hardware+Design_V1.07.pdf -2016
- [22] "SIM900 Hardware Design"
http://www.amuroboclub.in/downloads/ebooks/GSM_MANUAL_SIM900_Hardware%20Design_V2.00.pdf
-2016
- [23] "Stack Overflow"
<http://stackoverflow.com> - 2016
- [24] "U-blox 6 GPS Modules"
[https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6_DataSheet_\(GPS.G6-HW-09005\).pdf](https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6_DataSheet_(GPS.G6-HW-09005).pdf) - 2016
- [25] "World Taobao"
<https://world.taobao.com> - 2016