



Sensor de Estacionamiento LoRaWAN

Autor:

Ing. Cristian Funes

Director:

Ing. Ernesto Chediack (CEGA Electrónica)

*Esta planificación fue realizada en el curso de Gestión de proyectos
entre el 20 de octubre de 2022 y el 8 de diciembre de 2022.*

Índice

1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar	5
2. Identificación y análisis de los interesados	6
3. Propósito del proyecto	7
4. Alcance del proyecto	7
5. Supuestos del proyecto.	7
6. Requerimientos	8
7. Historias de usuarios (<i>Product backlog</i>).	9
8. Entregables principales del proyecto	11
9. Desglose del trabajo en tareas	11
10. Diagrama de Activity On Node.	12
11. Diagrama de Gantt	13
12. Presupuesto detallado del proyecto	16
13. Gestión de riesgos	16
14. Gestión de la calidad	17
15. Procesos de cierre	18

Registros de cambios

Revisión	Detalles de los cambios realizados	Fecha
0	Creación del documento	20 de octubre de 2022
1	Se completa hasta el punto 5 inclusive	03/11/2022
2	Se completa hasta el punto 9 inclusive	10/11/2022

Acta de constitución del proyecto

Buenos Aires, 20 de octubre de 2022

Por medio de la presente se acuerda con el Ing. Ing. Cristian Funes que su Trabajo Final de la Carrera de Especialización en Sistemas Embebidos se titulará “Sensor de Estacionamiento LoRaWAN”, consistirá esencialmente en la implementación de un prototipo de un sensor de estacionamiento con conectividad LoRaWAN, y tendrá un presupuesto preliminar estimado de 600 hs de trabajo y \$500000, con fecha de inicio 20 de octubre de 2022 y fecha de presentación pública 20 de octubre de 2023.

Se adjunta a esta acta la planificación inicial.

Ariel Lutenberg
Director posgrado FIUBA

Ernesto Chediack
CEGA Electrónica

Ing. Ernesto Chediack
Director del Trabajo Final

1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar

El proyecto que aquí se describe consiste en la implementación de un sensor de estacionamiento con conectividad LoRaWAN. El sensor será del tipo "tacha", como puede verse en la Figura 1.



Figura 1. Sensor de estacionamiento.

El objetivo es poder aplicar este tipo de dispositivos a soluciones de Smart Parking. Cuando el sensor detecte que un vehículo se encuentra posicionado por encima, enviará un mensaje a un servidor LoRaWAN a través de un Gateway LoRa para dar aviso de dicho evento. Lo mismo ocurrirá cuando se detecte que el vehículo se ha retirado. Esta información permitirá conocer cuánto tiempo estuvo un vehículo estacionado. Además, sabiendo la ubicación de cada sensor de estacionamiento, será posible visualizar en tiempo real los espacios ocupados y disponibles para estacionar.

En la Figura 2 puede verse un diagrama en bloques del sistema propuesto:

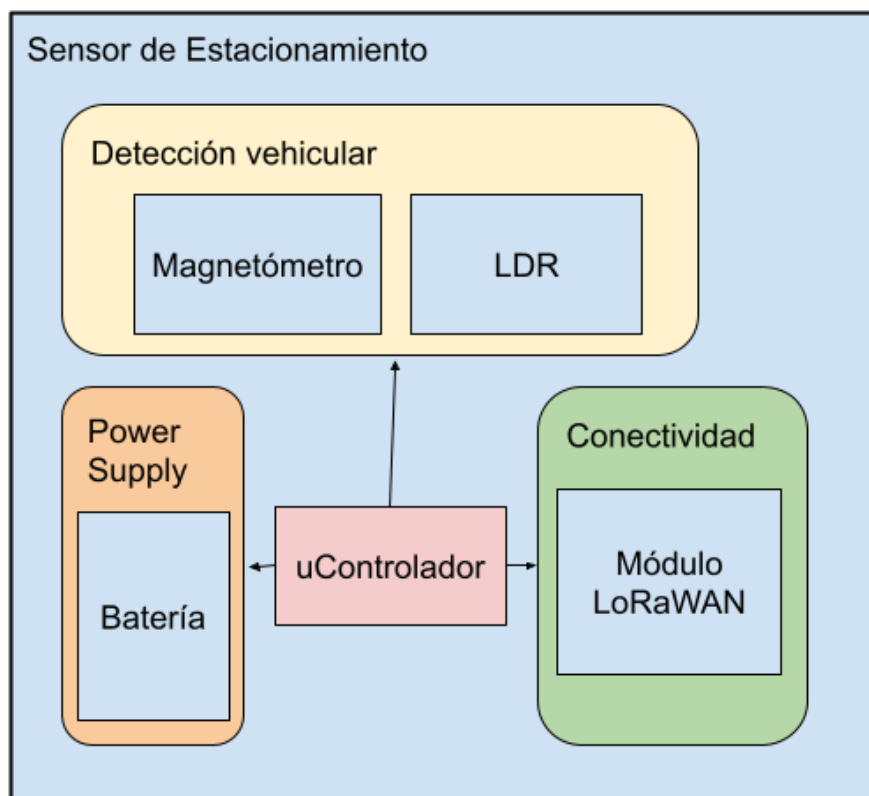


Figura 2. Diagrama en bloques del sensor de estacionamiento.

Se observa que el equipo se alimenta a baterías. Esto es un desafío ya que debe lograrse una autonomía de al menos un año para que el proyecto sea escalable.

Como método de detección se empleará un conjunto magnetómetro-LDR. La idea es poder evitar falsas detecciones usando ambos sensores. Cuando un vehículo se posicione arriba del sensor, se producirá una variación en la intensidad luminosa que será medida por el LDR. Esto, en junto con la variación de campo magnético producida por la masa vehicular, permitirá mejorar la exactitud de las detecciones, evitando falsos positivos y falsos negativos.

El microcontrolador será el encargado de realizar la lectura de los sensores, como también de controlar la comunicación LoRaWAN y el consumo de energía.

2. Identificación y análisis de los interesados

Rol	Nombre y Apellido	Organización	Puesto
Auspiciante	Ernesto Chediack	CEGA Electronica	Gerente de Ingenieria
Cliente	Ernesto Chediack	CEGA Electrónica	Gerente de Ingenieria
Responsable	Ing. Cristian Funes	FIUBA	Alumno
Colaboradores	Gabriel Caballero	CEGA Electrónica	Desarrollador
Orientador	Ing. Ernesto Chediack	CEGA Electrónica	Director Trabajo final
Equipo	José Bosdari	Supercanal	Gerente I+D
Usuario final	-	Municipalidad de Luján de Cuyo	-

3. Propósito del proyecto

El propósito de este proyecto es desarrollar un sensor de estacionamiento que pueda ser utilizado en aplicaciones de Smart Parking. Para ello debe ser fácilmente escalable y contar con suficiente autonomía energética.

4. Alcance del proyecto

El presente proyecto incluye:

- Diseño, implementación y montaje de una placa funcional para el sensor de estacionamiento.
- Desarrollo del firmware para el microcontrolador del sensor de estacionamiento.
- Desarrollo del entorno de testing.
- Puesta en marcha de una red de 10 sensores para la Municipalidad de Luján de Cuyo.

El presente proyecto no incluye:

- Despliegue de red de mas de 10 sensores.
- Configuración de Gateway LoRaWAN.
- Diseño de gabinete.
- Desarrollo de aplicación de parquímetro.

5. Supuestos del proyecto

Para el desarrollo del siguiente proyecto se supone que:

- Se conseguirán todos los componentes necesarios para la implementación del dispositivo.
- Se podrá acceder a una red LoRa.
- Se podrá utilizar la banda ISM 915MHz.
- Se podrán realizar las pruebas y mediciones necesarias para calcular la autonomía del dispositivo.
- El auspiciante mantendrá el interés en continuar con el desarrollo del proyecto durante toda la duración del mismo.

6. Requerimientos

A continuación se enumeran los requerimientos del proyecto. Se han agrupado de acuerdo a su afinidad en requerimientos funcionales, no funcionales, de la interfaz externa, de diseño del hardware, de testing, de documentación y opcionales. Se le asigna a cada requerimiento un nivel de prioridad del 1 al 5, siendo 1 la prioridad más alta y 5 la prioridad más baja.

1. Requerimientos funcionales

- 1.1. El equipo debe detectar vehículos utilizando un LDR y un magnetómetro [1].
- 1.2. El equipo debe conectarse a una red LoRaWAN [1].
- 1.3. El equipo debe enviar un mensaje cada vez que cambie el estado de detección de un vehículo [1].
- 1.4. El equipo debe auto calibrarse cuando se lo encienda por primera vez, para configurar un umbral de detección de vehículos [1].
- 1.5. El equipo debe reportar el nivel de batería cada vez que envía un mensaje por la red LoRaWAN [2].
- 1.6. El equipo debe salir configurado de fábrica con todas las claves necesarias para conectarse a un servidor LoRaWAN [2].
- 1.7. El equipo debe tener un modo de trabajo offline, donde se pueda guardar cada evento hasta que se recupere la conexión con la red LoRaWAN [3].
- 1.8. El equipo debe enviar un mensaje de keep alive cada 12 horas por la red LoRaWAN [3].
- 1.9. El equipo debe reportar que se detectó o se dejó de detectar un vehículo dentro de los 2 minutos de producido el evento [3].

2. Requerimientos no funcionales

- 2.1. El equipo debe operar en la banda de uso compartido sin autorización comprendida entre 915 MHz y 928 MHz [1].
- 2.2. Todo el firmware desarrollado para el proyecto deberá estar correctamente versionado usando una herramienta de control de versiones [1].
- 2.3. Se deberán realizar revisiones de código con los miembros del equipo de trabajo cuando se integren nuevas funcionalidades el firmware [2].
- 2.4. Cada equipo deberá contar con un número de serie que permita la trazabilidad y la localización geográfica del mismo [2].
- 2.5. Se deberán liberar releases de firmware intermedias al cliente para analizar el estado de avance del proyecto [3].
- 2.6. Se deberá programar reuniones mensuales con el cliente para analizar el estado del proyecto [3].

3. Requerimientos de la interfaz externa

- 3.1. El equipo debe montarse dentro de una tacha reductora de velocidad [1].

4. Requerimientos de diseño del hardware

- 4.1. El equipo debe alimentarse con baterías [1].
- 4.2. El desarrollo deberá realizarse utilizando un microcontrolador [1].

- 4.3. El equipo debe incluir un módulo de comunicaciones LoRa [1].
- 4.4. El equipo debe tener una autonomía de por lo menos 1 año [3].
- 5. Requerimientos de testing
 - 5.1. Cada módulo de software implementado debe contar con un coverage de código mayor al 80 % [2].
 - 5.2. El entorno de desarrollo de software debe contar con la posibilidad de ejecutar tests unitarios automáticamente cuando se suba código nuevo al repositorio [3].
 - 5.3. Deben realizarse tests de integración [5].
 - 5.4. Deben realizarse tests del tipo end to end [5].
- 6. Requerimientos de documentación
 - 6.1. Se deberá redactar una memoria técnica del proyecto según la fecha definida en este documento [1].
 - 6.2. Se deberá documentar el software desarrollado utilizando doxygen [2].
 - 6.3. Se deberá entregar un manual que detalle el correcto uso del equipo [3].
- 7. Requerimientos opcionales
 - 7.1. El equipo debe ser capaz de recibir mensajes de configuración a través de la red LoRaWAN [5].

7. Historias de usuarios (*Product backlog*)

En esta sección se detallan las historias de usuario. Las mismas se desarrollaron desde el punto de vista del cliente. Los story points se calcularon como la suma de cada uno de los distintos aspectos que se detallan a continuación:

- 1. La *prioridad* es el interés del cliente por incluir una característica. Se divide en distintos valores a los cuales se les asigna un peso numérico:
 - 1.1. Alta [5].
 - 1.2. Media [3].
 - 1.3. Baja [2].
 - 1.4. Muy baja [1].
- 2. La *cantidad de trabajo* es una medida del esfuerzo asociado para desarrollar la tarea:
 - 2.1. Alta [8].
 - 2.2. Media [5].
 - 2.3. Baja [3].
- 3. La *complejidad* es una medida de lo difícil que se espera que sea implementar la característica:
 - 3.1. Alta [13].
 - 3.2. Media [8].
 - 3.3. Baja [5].

4. El *riesgo e incertidumbre* es una medida del impacto que tiene implementar la característica:
 - 4.1. Alta [8].
 - 4.2. Media [3].
 - 4.3. Baja [1].
1. *Historia de usuario 1.* El cliente quiere instalar el equipo en la calle sin tener que realizar conexiones de ningún tipo, para poder reducir el tiempo de instalación y el costo de mantenimiento.
 - Prioridad: Alta.
 - Cantidad de trabajo: Media .
 - Complejidad: Media.
 - Riesgo e incertidumbre: Baja.
 - Story points: 19.
2. *Historia de usuario 2.* El cliente quiere conectar miles de sensores de estacionamiento dentro de la misma red para poder reducir los costos de mantenimiento.
 - Prioridad: Media.
 - Cantidad de trabajo: Baja.
 - Complejidad: Media.
 - Riesgo e incertidumbre: Alta.
 - Story points: 22.
3. *Historia de usuario 3.* El cliente quiere poder conocer en tiempo real el estado de cada uno de los sensores, para poder determinar el tiempo que un vehículo se encuentra estacionado.
 - Prioridad: Alta.
 - Cantidad de trabajo: Baja.
 - Complejidad: Baja.
 - Riesgo e incertidumbre: Baja.
 - Story points: 14.
4. *Historia de usuario 4.* El cliente quiere poder conocer la ubicación geográfica de cada uno de los sensores, para poder determinar qué espacios están disponibles para estacionar.
 - Prioridad: Alta.
 - Cantidad de trabajo: Baja.
 - Complejidad: Baja.
 - Riesgo e incertidumbre: Media.
 - Story points: 16.
5. *Historia de usuario 5.* El cliente quiere que la red de sensores use una banda de frecuencias del espectro de RF no licenciado, para reducir los costos de operación.
 - Prioridad: Muy baja.
 - Cantidad de trabajo: Baja.
 - Complejidad: Media.
 - Riesgo e incertidumbre: Alta.
 - Story points: 20.

8. Entregables principales del proyecto

Los entregables del proyecto son:

1. Manual de usuario.
2. Prototipo funcional.
3. Diagramas de circuitos.
4. Código fuente del firmware.
5. Informe final.

9. Desglose del trabajo en tareas

A continuación se detalla el desglose de tareas, con un detalle de las horas que se estima llevará finalizar cada una:

1. Organización del proyecto (50hs)
 - 1.1. Configuración de las herramientas para gestión (5hs).
 - 1.2. Elaboración del informe de planificación del proyecto (40hs).
 - 1.3. Ajuste y control de avance de las tareas (5hs).
2. Investigación preliminar (32hs)
 - 2.1. Investigación sobre productos similares en el mercado (8hs).
 - 2.2. Investigación sobre redes LoRaWAN (16hs).
 - 2.3. Investigación sobre sistemas de detección basados en magnetómetro (8hs).
3. Investigación de hardware (30hs)
 - 3.1. Investigación y selección de módulo LoRaWAN (6hs).
 - 3.2. Investigación y selección de magnetómetro (6hs).
 - 3.3. Investigación y selección de microcontrolador (4hs).
 - 3.4. Investigación y selección de baterías (8hs).
 - 3.5. Investigación y selección de reguladores de tensión para aplicaciones de bajo consumo energético (6hs).
4. Desarrollo de hardware (156hs)
 - 4.1. Desarrollo de circuito esquemático (40hs).
 - 4.2. Desarrollo de lista de materiales (4hs).
 - 4.3. Búsqueda y adquisición de componentes (6hs).
 - 4.4. Desarrollo de bibliotecas de componentes (16hs).
 - 4.5. Routeo del PCB (40hs).
 - 4.6. Enviar a fabricar PCB (2hs).

- 4.7. Montaje del PCB (8hs).
- 4.8. Pruebas de funcionamiento (16hs).
- 4.9. Rediseño del PCB ante fallas (24hs).
- 5. Investigación de firmware (16hs)
 - 5.1. Investigación y selección de RTOS (8hs).
 - 5.2. Investigación sobre metodologías de trabajo (8hs).
- 6. Desarrollo de firmware (368hs)
 - 6.1. Creación de repositorios de trabajo (8hs).
 - 6.2. Instalación de las herramientas de trabajo (8hs).
 - 6.3. Diseño de la arquitectura de software (24hs).
 - 6.4. Selección y configuración de framework de testing (8hs).
 - 6.5. Desarrollo de los drivers para el magnetómetro (40hs).
 - 6.6. Desarrollo de los drivers para el módulo LoRaWAN (40hs).
 - 6.7. Desarrollo de las tareas de aplicación (120hs).
 - 6.8. Integración de los componentes de software (120hs).
- 7. Integración (48hs)
 - 7.1. Montaje del hardware en gabinete (8hs).
 - 7.2. Pruebas de campo (40hs).
- 8. Documentación (72hs)
 - 8.1. Generar manual de usuario (8hs).
 - 8.2. Generar documentación del firmware (8hs).
 - 8.3. Elaboración del informe final (40hs).
 - 8.4. Elaboración de la presentación final (16hs).

Cantidad total de horas: 772hs.

10. Diagrama de Activity On Node

Armar el AoN a partir del WBS definido en la etapa anterior.

Indicar claramente en qué unidades están expresados los tiempos. De ser necesario indicar los caminos semicríticos y analizar sus tiempos mediante un cuadro. Es recomendable usar colores y un cuadro indicativo describiendo qué representa cada color, como se muestra en el siguiente ejemplo:

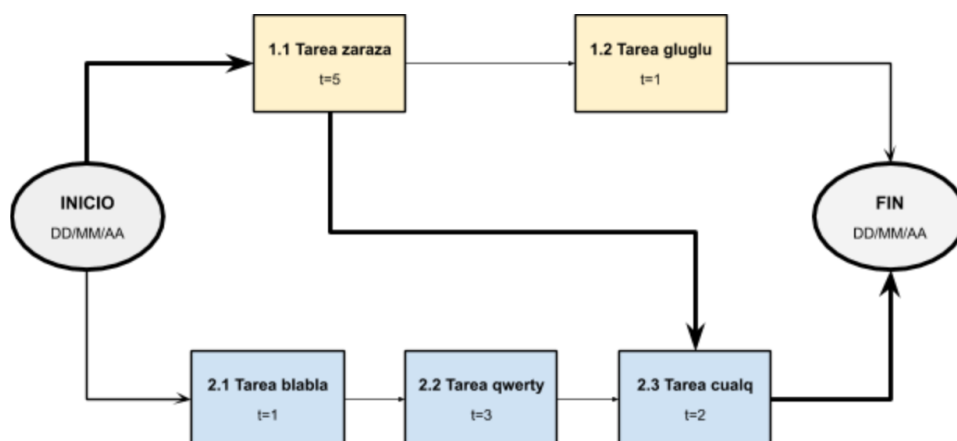


Figura 3. Diagrama en *Activity on Node*

11. Diagrama de Gantt

Existen muchos programas y recursos *online* para hacer diagramas de gantt, entre los cuales destacamos:

- Planner
- GanttProject
- Trello + *plugins*. En el siguiente link hay un tutorial oficial:
<https://blog.trello.com/es/diagrama-de-gantt-de-un-proyecto>
- Creately, herramienta online colaborativa.
<https://creately.com/diagram/example/ieb3p3ml/LaTeX>
- Se puede hacer en latex con el paquete *pgfgantt*
<http://ctan.dcc.uchile.cl/graphics/pgf/contrib/pgfgantt/pgfgantt.pdf>

Pegar acá una captura de pantalla del diagrama de Gantt, cuidando que la letra sea suficientemente grande como para ser legible. Si el diagrama queda demasiado ancho, se puede pegar primero la “tabla” del Gantt y luego pegar la parte del diagrama de barras del diagrama de Gantt.

Configurar el software para que en la parte de la tabla muestre los códigos del EDT (WBS).
Configurar el software para que al lado de cada barra muestre el nombre de cada tarea.
Revisar que la fecha de finalización coincida con lo indicado en el Acta Constitutiva.

En la figura 4, se muestra un ejemplo de diagrama de gantt realizado con el paquete de *pgfgantt*. En la plantilla pueden ver el código que lo genera y usarlo de base para construir el propio.

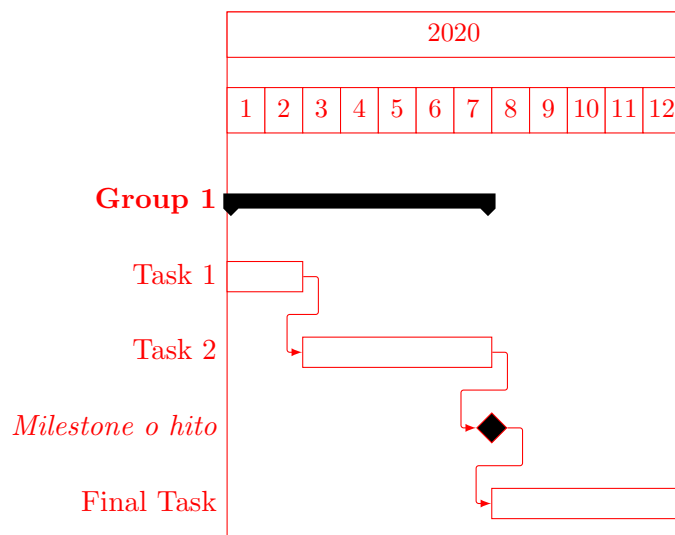


Figura 4. Diagrama de gantt de ejemplo



Figura 5. Ejemplo de diagrama de Gantt rotado

12. Presupuesto detallado del proyecto

Si el proyecto es complejo entonces separarlo en partes:

- Un total global, indicando el subtotal acumulado por cada una de las áreas.
- El desglose detallado del subtotal de cada una de las áreas.

IMPORTANTE: No olvidarse de considerar los **COSTOS INDIRECTOS**.

COSTOS DIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
SUBTOTAL			
COSTOS INDIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
SUBTOTAL			
TOTAL			

13. Gestión de riesgos

a) Identificación de los riesgos (al menos cinco) y estimación de sus consecuencias:

Riesgo 1: detallar el riesgo (riesgo es algo que si ocurre altera los planes previstos de forma negativa)

- Severidad (S): mientras más severo, más alto es el número (usar números del 1 al 10). Justificar el motivo por el cual se asigna determinado número de severidad (S).
- Probabilidad de ocurrencia (O): mientras más probable, más alto es el número (usar del 1 al 10). Justificar el motivo por el cual se asigna determinado número de (O).

Riesgo 2:

- Severidad (S):
- Ocurrencia (O):

Riesgo 3:

- Severidad (S):

■ Ocurrencia (O):

b) Tabla de gestión de riesgos: (El RPN se calcula como $RPN=S \times O$)

Riesgo	S	O	RPN	S*	O*	RPN*

Criterio adoptado: Se tomarán medidas de mitigación en los riesgos cuyos números de RPN sean mayores a...

Nota: los valores marcados con (*) en la tabla corresponden luego de haber aplicado la mitigación.

c) Plan de mitigación de los riesgos que originalmente excedían el RPN máximo establecido:

Riesgo 1: plan de mitigación (si por el RPN fuera necesario elaborar un plan de mitigación). Nueva asignación de S y O, con su respectiva justificación: - Severidad (S): mientras más severo, más alto es el número (usar números del 1 al 10). Justificar el motivo por el cual se asigna determinado número de severidad (S). - Probabilidad de ocurrencia (O): mientras más probable, más alto es el número (usar del 1 al 10). Justificar el motivo por el cual se asigna determinado número de (O).

Riesgo 2: plan de mitigación (si por el RPN fuera necesario elaborar un plan de mitigación).

Riesgo 3: plan de mitigación (si por el RPN fuera necesario elaborar un plan de mitigación).

14. Gestión de la calidad

Para cada uno de los requerimientos del proyecto indique:

- Req #1: copiar acá el requerimiento.
 - Verificación para confirmar si se cumplió con lo requerido antes de mostrar el sistema al cliente. Detallar
 - Validación con el cliente para confirmar que está de acuerdo en que se cumplió con lo requerido. Detallar

Tener en cuenta que en este contexto se pueden mencionar simulaciones, cálculos, revisión de hojas de datos, consulta con expertos, mediciones, etc. Las acciones de verificación suelen considerar al entregable como “caja blanca”, es decir se conoce en profundidad su funcionamiento interno. En cambio, las acciones de validación suelen considerar al entregable como “caja negra”, es decir, que no se conocen los detalles de su funcionamiento interno.

15. Procesos de cierre

Establecer las pautas de trabajo para realizar una reunión final de evaluación del proyecto, tal que contemple las siguientes actividades:

- Pautas de trabajo que se seguirán para analizar si se respetó el Plan de Proyecto original:
- Indicar quién se ocupará de hacer esto y cuál será el procedimiento a aplicar.
- Identificación de las técnicas y procedimientos útiles e inútiles que se emplearon, y los problemas que surgieron y cómo se solucionaron: - Indicar quién se ocupará de hacer esto y cuál será el procedimiento para dejar registro.
- Indicar quién organizará el acto de agradecimiento a todos los interesados, y en especial al equipo de trabajo y colaboradores: - Indicar esto y quién financiará los gastos correspondientes.