



# Sistema de monitoreo de un equipo de extracción de petróleo

Autor:

Ing. Eduardo Agustín Sciutto

Director:

Mag. Ing. Adrián S. Nowik (UP/PAE)

*Esta planificación fue realizada en el curso de Gestión de proyectos entre el 21 de junio de 2022 y el 9 de agosto 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 . . . . .	10
9. Desglose del trabajo en tareas . . . . .	10
10. Diagrama de Activity On Node. . . . .	11
11. Diagrama de Gantt . . . . .	13
12. Presupuesto detallado del proyecto . . . . .	16
13. Gestión de riesgos . . . . .	16
14. Gestión de la calidad . . . . .	19
15. Procesos de cierre . . . . .	22

## Registros de cambios

Revisión	Detalles de los cambios realizados	Fecha
0	Creación del documento	21 de junio de 2022
1	Se completa hasta el punto 5 inclusive	2 de julio de 2022
2	Se completa hasta el punto 9 inclusive	9 de julio de 2022
3	Se completa hasta el punto 12 inclusive	17 de julio de 2022
4	Se completa hasta el punto 15 inclusive	29 de julio de 2022
5	Se completa el plan	4 de agosto de 2022

## Acta de constitución del proyecto

Buenos Aires, 21 de junio de 2022

Por medio de la presente se acuerda con el Ing. Eduardo Agustín Sciutto que su Trabajo Final de la Carrera de Especialización en Internet de las Cosas se titulará “Sistema de monitoreo de un equipo de extracción de petróleo”, consistirá esencialmente en la implementación de un prototipo de un sistema de monitoreo de un equipo de extracción de petróleo, y tendrá un presupuesto preliminar estimado de 614 hs de trabajo y ARS 2.162.300,00, con fecha de inicio 21 de junio de 2022 y fecha de presentación pública 21 de junio de 2023.

Se adjunta a esta acta la planificación inicial.

Dr. Ing. Ariel Lutenberg  
Director posgrado FIUBA

Ing. Nicolás D. Brunini  
PAE

Mag. Ing. Adrián S. Nowik  
Director del Trabajo Final

## 1. Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar

La gestión eficiente de un yacimiento productor de petróleo no electrificado y de periferia plantea grandes desafíos. El modelo de operación usualmente se basa en la presencia diaria de cuadrillas de operarios cuya principal función es recorrer cada instalación y realizar un relevamiento funcional. Excepcionalmente, ejecutan alguna tarea correctiva en función de lo identificado en la visita. En la actualidad, existen zonas donde los aparatos individuales de bombeo (AIB) no disponen de supervisión remota dado que originalmente la implementación de una solución tradicional de telemetría fue considerada económicamente inviable. La principal razón, es el costo de proveer un sistema alternativo de energía confiable para dicho equipamiento que generalmente está basado en paneles solares y baterías. Otra consideración es el riesgo de sabotaje y robo de equipamiento de medición costoso en zonas alejadas y con vigilancia deficiente.

El hecho de que un AIB deje de funcionar de manera imprevista, afecta directamente la producción de petróleo, por lo que resulta de valor disponer de una alerta inmediata ante dicha situación. Además, la información histórica de los períodos de tiempo de no funcionamiento facilita y hace más precisa la elaboración del informe de down-time por parte de los supervisores de producción.

Recientemente, la empresa operadora del yacimiento implementó una red LoRaWAN propia con extensa cobertura en el yacimiento. Sintéticamente, LoRaWAN es una tecnología de comunicación inalámbrica bidireccional, que hace posible administrar muchos nodos alimentados a baterías (con vida útil típica de varios años) conectados hasta varios kilómetros de distancia y transmitiendo a una muy baja tasa de datos (decenas de bytes pocas veces al día). Estas características hacen viable una implementación de internet de las cosas industrial (IIoT) para el caso mencionado, resaltando el aporte de mayor eficiencia y de reducción de costos operativos.

Otro aspecto para considerar es el de buscar una solución de rápida implementación y de mayor flexibilidad ante cambios, que aporte información relevante a los usuarios finales. Implementar un sistema de SCADA con tecnología tradicional es un trabajo complejo y demandante de tiempo, requiere la intervención de profesionales de distintos sectores dentro de la empresa ya que involucra tareas de configuración, calibración y enrutamiento en distintos sistemas on-premise. En muchos casos es justificada su utilización dada la criticidad e importancia de los procesos que se controlan y monitorean. Por otro lado, se ve una oportunidad en la utilización de distintos servicios en la nube, principalmente para procesar fuentes de datos no críticos que complementan o brindan nueva información de variables de campo y que se adaptan fácilmente a los cambios en las necesidades de visualización y notificación de los usuarios finales.

El objeto del presente proyecto es el desarrollo de una solución de monitoreo y alarmas de bajo costo para equipos AIB de un yacimiento de periferia. Se utilizarán una red LoRaWAN y componentes en la nube de Microsoft Azure. En particular, se implementará un prototipo que medirá el estado funcional del AIB. El servidor de red LoRaWAN canalizará la información generada por el sensor a un grupo de recursos creados en la nube de Microsoft Azure mediante el protocolo AMQP. En la nube se realizarán diferentes procesos, que contemplan la decodificación de la información, almacenamiento en base de datos y utilización de una aplicación back end que administrará el acceso a información estadística y la notificación de alertas a los usuarios autorizados. Los usuarios dispondrán de al menos un tipo de front end para el consumo de la información.

En la figura 1 se presenta el diagrama en bloques del sistema descripto.

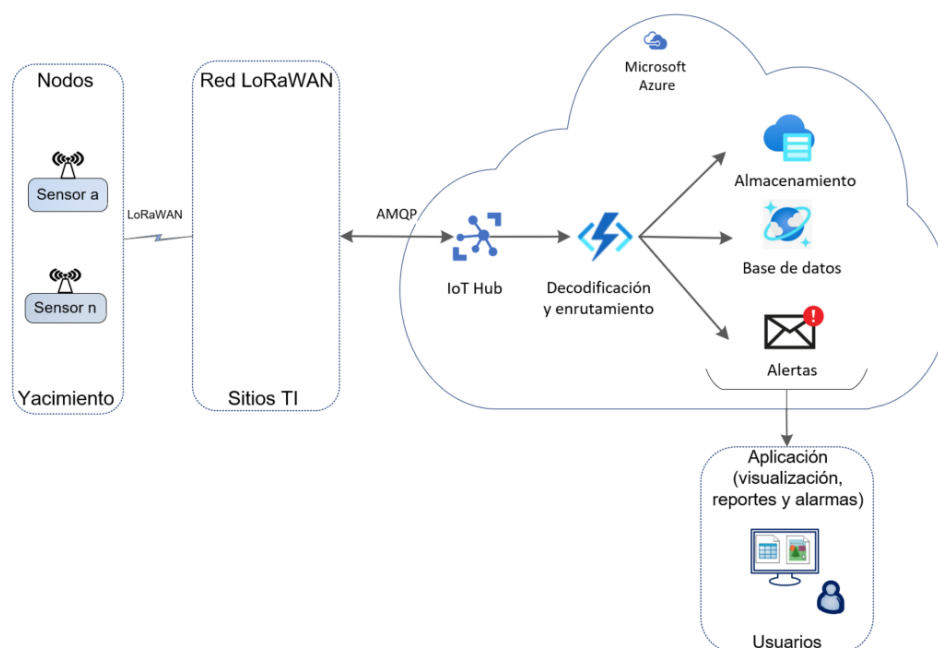


Figura 1. Diagrama en bloques del sistema.

## 2. Identificación y análisis de los interesados

Rol	Nombre y Apellido	Organización	Puesto
Auspiciante	Juan A. Aranguren	PAE	Exec. Manager TEC-IT
Cliente	Ing. Nicolás D. Brunini	PAE	Leader UPO-OP II D5
Impulsor	Eduardo O. Domínguez	PAE	Exec. Manager IT Regional
Responsable	Ing. Eduardo Agustín Sciutto	PAE	SR Specialist TEC-IT
Colaboradores	Gustavo G. Conrad Germán Gornatti	PAE	Specialist TEC-IT
Orientador	Mag. Ing. Adrián S. Nowik	UP/PAE	Director Trabajo final
Opositores	Sector de OT	PAE	USP-OP
Usuario final	Nestor O. Bochaty	PAE	Field Foreman UPO-OP II D5

A continuación se listan las principales características de cada interesado.

- Auspiciante: muy interesado en que la implementación resulte exitosa y sirva de modelo para nuevos desarrollos.
- Cliente: desea obtener resultados en corto tiempo. Se debe tener riguroso seguimiento del plan de trabajo acordado.
- Colaboradores: su dedicación a este proyecto es de tiempo parcial y no está reflejada en los objetivos de desempeño con sus gerencias funcionales. Se debe trabajar en sostener la motivación.
- Orientador: profesional de alta capacidad técnica y de gestión. Tener muy en cuenta sus observaciones.

- Usuario final: desde el inicio mantener un vínculo estrecho y capacitarlo adecuadamente en el uso de las nuevas herramientas. Buscar de convertirlo en un aliado.
- Opositores: el desarrollo del proyecto puede afectar intereses y actual metodología de trabajo del equipo de tecnología operacional (TO).

### 3. Propósito del proyecto

El propósito de este proyecto es impulsar la aplicación de nuevas tecnologías en la industria del petróleo y gas. Se busca implementar un sistema de monitoreo y alertas, utilizando una arquitectura típica de IIoT, para casos donde un sistema tradicional de telemetría no ha resultado económicamente viable.

### 4. Alcance del proyecto

El alcance del trabajo final incluye los siguientes aspectos.

- Adaptación de un nodo comercial LoRaWAN para detectar el estado de Marcha/Parada del motor de un AIB. Opcionalmente se evaluará incorporar otra variable física de tipo analógica, por ejemplo, vibración. Se busca realizar la selección, la integración y el ensayo del conjunto nodo más transductores.
- Conexión entre el servidor de red LoRaWAN y el componente IoT Hub de Microsoft Azure en la nube, utilizando el protocolo MQTT o AMQP.
- Decodificación de la carga útil de los mensajes enviados por los sensores. Filtrado y almacenamiento de información relevante en una base de datos.
- Creación de una aplicación de servidor y de una aplicación de interfaz de usuario para gestionar y entregar información de monitoreo y alarmas a los usuarios finales.

No se incluye en el alcance del proyecto lo siguiente.

- Estudios de confiabilidad y análisis de fallas relacionados al mantenimiento predictivo del prototipo a implementar.
- Arquitectura y configuración de la red LoRaWAN que da servicio de conexión de los sensores.

### 5. Supuestos del proyecto

Para el desarrollo del presente proyecto se asume lo siguiente.

- Se contará con el hardware y materiales necesarios para implementar los prototipos de medición. Además, se autorizará el alta de los mismos a la red LoRaWAN existente.

- Se tendrá acceso y apoyo de personal calificado para instalar y manipular los prototipos de medición en un grupo de AIB operativos del yacimiento.
- Se dispondrá de una suscripción activa a un grupo de recursos para implementar todos los componentes de la solución en la nube de Microsoft Azure.
- Existirán acuerdos y aprobaciones de los sectores de Seguridad Informática y Tecnología Operacional para establecer las conexiones de datos entre los componentes de la solución.

## 6. Requerimientos

Se presentan a continuación los requerimientos del proyecto.

1. Requerimientos asociados al dispositivo de medición.
  - 1.1. No debe requerir mano de obra calificada, tanto para la instalación como para la operación cotidiana.
  - 1.2. Debe ser robusto y soportar condiciones de clima extremo (grado de protección IP 67, soportar temperaturas entre -20°C y 50°C).
  - 1.3. Debe funcionar con baterías internas y poseer una autonomía de al menos 3 años.
  - 1.4. La batería debe ser comercialmente asequible y de fácil reemplazo.
  - 1.5. El estado e información de los sensores del dispositivo se deben poder consultar mediante una aplicación inalámbrica desde un celular y de forma sencilla.
  - 1.6. Debe permitir el traslado a una nueva ubicación sin requerir una reconfiguración local.
  - 1.7. Debe detectar y notificar de forma inmediata si un sensor tiene una falla de cableado.
2. Requerimientos asociados a la colecta e identificación de mensajes generados por los dispositivos.
  - 2.1. Se deberá definir un nomenclador de tópicos que sea flexible y escalable.
  - 2.2. La estructura de la carga útil del mensaje debe soportar futuras incorporaciones de sensores.
3. Requerimientos asociados al software en la nube.
  - 3.1. Se deberán utilizar componentes de la plataforma Azure de Microsoft.
  - 3.2. Los mensajes de los dispositivos se enviarán a un componente IoT Hub mediante protocolo AMQP.
  - 3.3. Se deberá decodificar y enrutar adecuadamente el flujo de datos proveniente de IoT Hub.
  - 3.4. Se debe establecer un flujo de datos hacia una base de datos de históricos.
  - 3.5. Se debe establecer un flujo de datos para procesar y enviar notificaciones de alarmas.
  - 3.6. Se deberá definir un mecanismo de notificación de alarmas y eventos a los usuarios registrados. Podrá ser por email y/o Telegram.
  - 3.7. La aplicación web dispondrá de un panel para visualizar información histórica de cada dispositivo.



- 3.8. La aplicación web permitirá la consulta de eventos y alarmas. Se debe recibir una notificación de forma inmediata ante un paro del motor.
- 3.9. Se deben recibir notificaciones de advertencia de nivel de batería bajo y algún otro parámetro que se identifique de utilidad, para realizar un correcto mantenimiento preventivo.
4. Requerimientos de integridad y seguridad.
  - 4.1. Se deberá establecer un mecanismo seguro de gestión y validación de usuarios de la aplicación web.
  - 4.2. El acceso a la configuración de los dispositivos de medición estará protegido por un usuario y contraseña. Será utilizado únicamente por personal autorizado del sector TI de la empresa.
5. Requerimientos de documentación.
  - 5.1. Se deberá elaborar el manual de configuración e instalación del dispositivo de medición.
  - 5.2. Se deberá documentar la configuración de todos los componentes desplegados en Microsoft Azure.
  - 5.3. Se deberá elaborar el manual de uso del software de usuario.
  - 5.4. Se deberá desarrollar el informe de avance del proyecto.
  - 5.5. Se deberá desarrollar la memoria final del proyecto.

## 7. Historias de usuarios (*Product backlog*)

Para la elaboración de historias de usuario se definió un índice de ponderación compuesto por la suma de tres propiedades: dificultad, complejidad e incertidumbre o riesgo. Cada propiedad es cuantificada mediante la serie de Fibonacci (0, 1, 2, 3, 5, 8, 13, ...) adoptándose el siguiente criterio que aplica a las tres propiedades por igual.

- Valores: 0, 1, 2 es una cuantificación baja.
- Valores: 3 y 5 es una cuantificación media.
- Valores: 8 o superior es una cuantificación alta.

A continuación, se detallan las historias de usuario recopiladas.

- Como supervisor de producción quiero ser notificado de la parada de un AIB de inmediato para poder enviar una cuadrilla y minimizar el downtime. Ponderación: 12 (dificultad: 5, complejidad: 5, riesgo: 2).
- Como supervisor de producción quiero tener acceso a una pantalla sencilla que me muestre el estado histórico de un AIB para poder calcular fácilmente el downtime. Ponderación: 10 (dificultad: 5, complejidad: 3, riesgo: 2).
- Como supervisor de producción deseo recibir las notificaciones importantes en mi celular para tener mejor tiempo de respuesta, ya que no siempre estoy en la oficina. Ponderación: 16 (dificultad: 8, complejidad: 5, riesgo: 3).

- Como encargado de mantenimiento quiero tener información frecuente del estado de carga de las baterías para programar eficientemente las tareas de las cuadrillas del sector. Ponderación: 6 (dificultad: 2, complejidad: 3, riesgo: 1).
- Como jefe de distrito quiero que mis colaboradores optimicen sus salidas al campo para poder dedicar más tiempo a tareas analíticas en la oficina. Ponderación: 12 (dificultad: 5, complejidad: 5, riesgo: 2).
- Como jefe de distrito quiero minimizar el uso de las horas de cuadrilla para poder reducir costos operativos. Ponderación: 12 (dificultad: 5, complejidad: 5, riesgo: 2).
- Como referente de TI quiero que la aplicación solo la puedan utilizar usuarios autorizados para preservar la confidencialidad e integridad de los datos. Ponderación: 11 (dificultad: 3, complejidad: 5, riesgo: 3).
- Como referente de TI quiero democratizar el acceso a la información para que nuevos usuarios puedan aportar más valor a sus tareas. Ponderación: 12 (dificultad: 5, complejidad: 2, riesgo: 5).
- Como desarrollador de la aplicación quiero armar un sistema flexible y escalable para incorporar nuevas funcionalidades en el futuro. Ponderación: 15 (dificultad: 5, complejidad: 5, riesgo: 5).

## 8. Entregables principales del proyecto

Los entregables del proyecto son:

- Diagrama esquemático del dispositivo de medición.
- Manual de configuración e instalación del dispositivo de medición.
- Documentación de configuración de componentes en Microsoft Azure.
- Código fuente del software de usuario.
- Manual de uso del software de usuario.
- Informe de avance del proyecto.
- Memoria final del proyecto.

## 9. Desglose del trabajo en tareas

1. Planificación de proyecto. (86 hs)
  - 1.1. Definición de la arquitectura de la solución. (8 hs)
  - 1.2. Investigación de componentes principales del sistema. (40 hs)
  - 1.3. Estimación de recursos necesarios y costos asociados. (8 hs)
  - 1.4. Definiciones de alcances, requerimientos y presupuestos. (30 hs)
2. Desarrollo del dispositivo de medición. (130 hs)

- 2.1. Análisis y definición de funcionalidades. (4 hs)
- 2.2. Selección de componentes. (18 hs)
- 2.3. Análisis y definición del procedimiento de montaje en el AIB. (20 hs)
- 2.4. Estudio, pruebas y definición de configuración del nodo LoRaWAN. (16 hs)
- 2.5. Análisis, pruebas y definición de transductores. (32 hs)
- 2.6. Integración y pruebas del conjunto nodo - transductores en AIB operativo. (40 hs)
3. Estructura de mensajes. (42 hs)
  - 3.1. Definición de jerarquía de tópicos. (18 hs)
  - 3.2. Decodificación y escalado de carga útil. (24 hs)
4. Desarrollo de componentes en la nube. (178 hs)
  - 4.1. Despliegue y configuración del componente IoT Hub. (12 hs)
  - 4.2. Despliegue y configuración de la base de datos. (24 hs)
  - 4.3. Despliegue y configuración de funciones y flujo de notificaciones. (32 hs)
  - 4.4. Despliegue y configuración de componentes para la aplicación del servidor. (40 hs)
  - 4.5. Desarrollo de la interfaz de la aplicación de usuario. (40 hs)
  - 4.6. Desarrollo de la interfaz para notificaciones por Telegram. (30 hs)
5. Pruebas de Integración del sistema. (30 hs)
  - 5.1. Diseño y despliegue de pruebas de funcionalidad integral. (30 hs)
6. Documentación. (148 hs)
  - 6.1. Elaboración del informe de avance del proyecto. (30 hs)
  - 6.2. Elaboración del manual de configuración e instalación del dispositivo de medición. (24 hs)
  - 6.3. Elaboración de la documentación de configuración de componentes en Microsoft Azure. (24 hs)
  - 6.4. Elaboración del manual de uso del software de usuario. (24 hs)
  - 6.5. Elaboración del informe final del proyecto. (40 hs)
  - 6.6. Cierre del proyecto. (6 hs)

Cantidad total de horas: (614 hs)

## 10. Diagrama de Activity On Node

El diagrama AON correspondiente a todas las etapas del proyecto se muestran en la figura 2. La unidad de tiempo se encuentra definida en horas. El proyecto se inicia el 21 de junio de 2022 y finaliza el 2 de junio de 2023. El camino crítico tiene una duración de 398 horas y se resalta en color rojo. En las referencias se identifican los colores de cada etapa del proyecto.

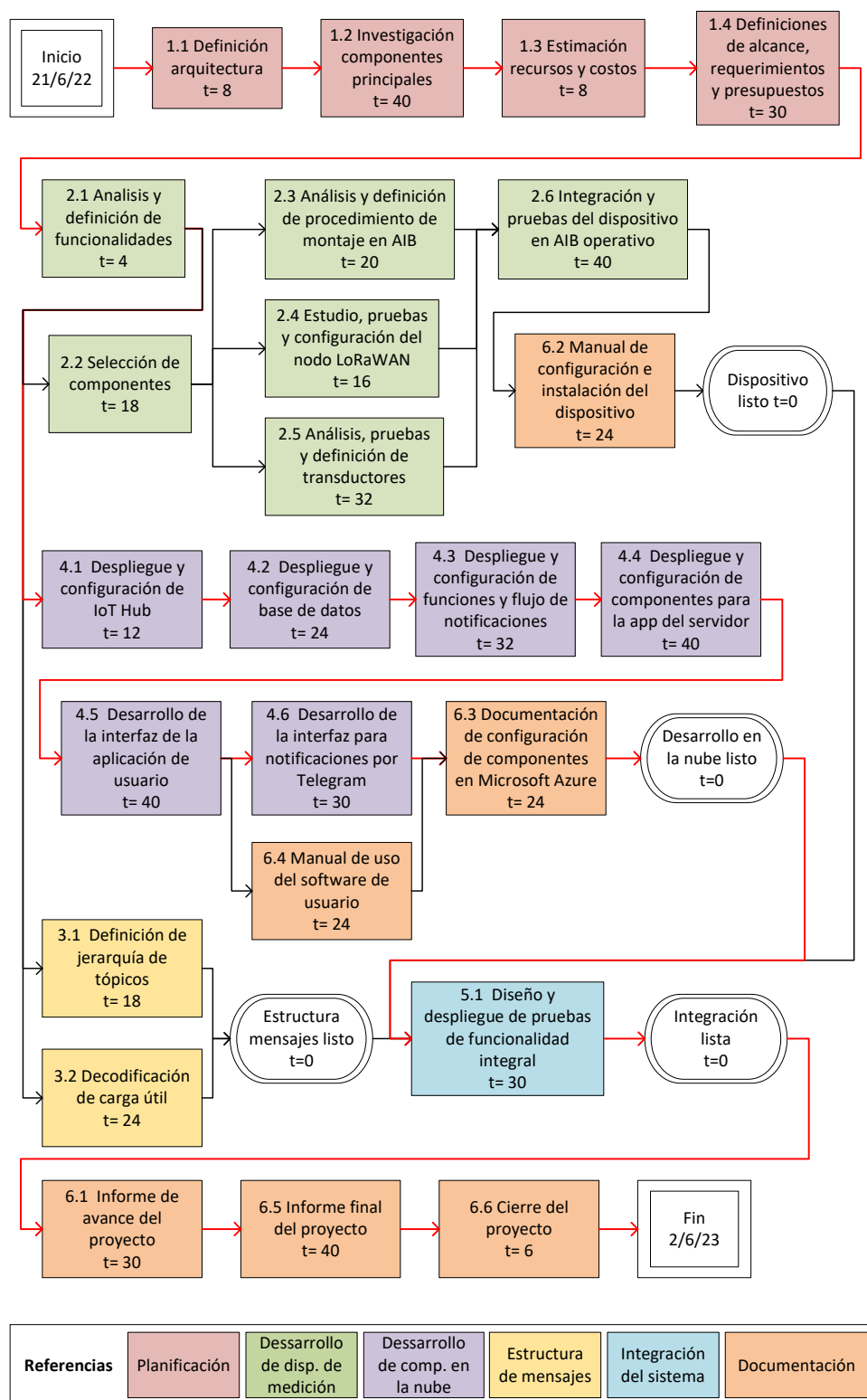


Figura 2. Diagrama en *Activity on Node*.

## 11. Diagrama de Gantt

En la figura 3 se aprecia la tabla del desglose de actividades con sus fechas de inicio y fin, duración y asignación de recursos. Se identifican solo 2 recursos, el principal es el ejecutor (e) y el secundario es el colaborador (c).

En la figura 4 se muestra el diagrama de Gantt. Para la elaboración del mismo, se tomó una jornada de trabajo de 2,5 horas diarias, lo cual distribuye las 614 horas del proyecto en 346 días corridos. Se asume un esfuerzo continuo desde el inicio hasta el fin del proyecto, dedicándole los últimos dos meses exclusivamente a la elaboración de la memoria final.

En la sección anterior se realizó un diagrama AON donde se identificaron tareas que podían realizarse de forma simultánea y se determinó un camino crítico. La realidad es que al ser el ejecutor un único recurso, las tareas debieron reacomodarse de forma secuencial para reflejar ésta situación más realista.

WBS	Nombre	Inicio	Fin	Duración	Asignado
1	▼ <b>Planificación de proyecto</b>	jun 21	ago 8	34d 1h	
1.1	Definición de arquitectura de la soluc	jun 21	jun 24	3d	e
1.2	Investigación de componentes princip	jun 24	jul 18	16d	e
1.3	Estimación de recursos necesarios y c	jul 18	jul 21	3d	e
1.4	Definiciones de alcances, requerimier	jul 21	ago 8	12d	e
2	▼ <b>Desarrollo del dispositivo de medición</b>	ago 8	oct 6	42d 2h	
2.1	Análisis y definición de funcionalidad	ago 8	ago 9	1d 1h	e
2.2	Selección de componentes	ago 10	ago 19	7d	e
2.3	Análisis y definición de procedimientos	ago 19	ago 25	4d	e, c
2.4	Estudio, pruebas y definición de confi	ago 29	sep 1	3d	e, c
2.5	Análisis, pruebas y definición de trans	sep 2	sep 12	6d 1h	e, c
2.6	Integración y pruebas del conjunto nc	sep 12	sep 22	8d	e, c
2.7	Dispositivo listo	oct 6	oct 6	N/D	
3	▼ <b>Estructura de mensajes</b>	oct 6	oct 28	16d 2h	
3.1	Definición de jerarquía de tópicos	oct 6	oct 17	7d	e
3.2	Decodificación y escalado de carga út	oct 17	oct 28	9d 1h	e
3.3	Estructua de msg. lista	oct 28	oct 28	N/D	
4	▼ <b>Desarrollo de componentes en la nub</b>	oct 31	ene 16	55d	
4.1	Despliegue y configuración de compo	oct 31	nov 4	4d 2h	e
4.2	Despliegue y configuración de base d	nov 4	nov 18	9d 1h	e
4.3	Despliegue y configuración de funcior	nov 18	dic 7	12d 2h	e
4.4	Despliegue y configuración de compo	dic 7	dic 19	8d	e, c
4.5	Desarrollo de la interfaz de la aplicac	dic 19	dic 29	8d	e, c
4.6	Desarrollo de la interfaz para notifica	dic 29	ene 16	12d	e
5	▼ <b>Pruebas de Integración del sistema</b>	feb 10	feb 20	6d	
5.1	Diseño y despliegue de pruebas de fu	feb 10	feb 20	6d	e, c
5.2	Integracion lista	feb 20	feb 20	N/D	
6	▼ <b>Documentación</b>	sep 22	jun 2	181d 1h	
6.1	Elaboración de informe de avance del	feb 20	mar 8	12d	e
6.2	Elaboración de manual de configuraci	sep 22	oct 6	9d 1h	e
6.3	Elaboración de documentación de co	ene 27	feb 10	9d 1h	e
6.4	Nube implementada	feb 10	feb 10	N/D	
6.5	Elaboración de manual de uso del sof	ene 16	ene 27	9d 1h	e
6.6	Elaboración de informe final del proy	mar 8	may 31	60d	e
6.7	Cierre del proyecto	may 31	jun 2	2d 1h	e

Figura 3. Desglose de actividades.

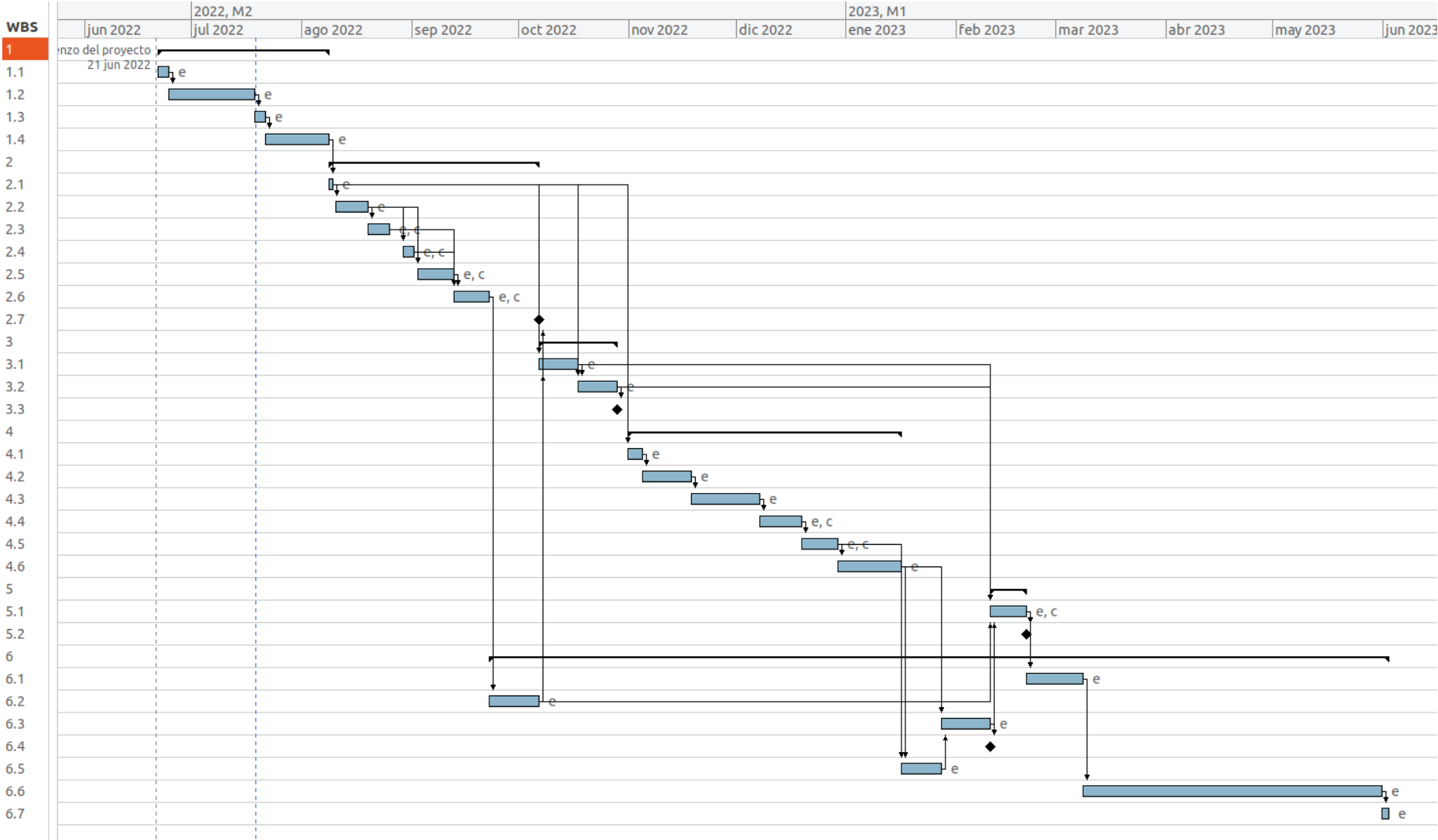


Figura 4. Diagrama de Gantt.

## 12. Presupuesto detallado del proyecto

El presupuesto se expresa en pesos argentinos, tomando como referencia la fecha de inicio del proyecto.

Los costos directos mayormente lo conforman el valor de las horas de ejecución de las tareas detalladas.

Como estimación de los costos indirectos se considera un 40 % del total de costos directos. Forman parte de éstos licencias de software utilizadas, costos de servicios de comunicaciones, acceso a recursos informáticos de uso compartido, servicios de mantenimiento mensual, gastos de transporte dentro del yacimiento y alquileres de oficinas y mobiliario.

COSTOS DIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Horas de desarrollo de ejecutor	614 h	\$ 1500	\$ 921.000
Horas de soporte de colaborador	109 h	\$ 1500	\$ 163.500
Cuadrilla de montaje en AIB	16 h	\$ 6.250	\$ 100.000
Materiales: nodo, transductores y mat. menores	1 u	\$ 300.000	\$ 300.000
Suscripción mensual de grupo recursos en Azure	12 m	\$ 5.000	\$ 60.000
SUBTOTAL			\$ 1.544.500
COSTOS INDIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
40 % de los costos directos	1 u	\$ 617.800	\$ 617.800
TOTAL			<b>\$ 2.162.300</b>

## 13. Gestión de riesgos

a) Identificación de los riesgos y estimación de sus consecuencias:

Riesgo 1: Pérdida o sabotaje del dispositivo de medición.

- Severidad (7): Generaría retrasos en el cronograma de implementación, ya que se deberían adquirir nuevamente los componentes y coordinar las tareas de montaje con cuadrillas operativas muy demandadas en el yacimiento.
- Probabilidad de ocurrencia (6): La pérdida por robo tiene una probabilidad cierta de ocurrencia, ya que el lugar seleccionado para la implementación del prototipo es un yacimiento de periferia con poca presencia de personas y bajo nivel de vigilancia.

Riesgo 2: Falla de funcionamiento del dispositivo de medición al no soportar condiciones ambientales de operación.

- Severidad (9): El dispositivo debe soportar condiciones climáticas extremas, altas vibraciones producidas por el sistema de bombeo mecánico y manipulación involuntaria en tareas de mantenimiento del equipamiento primario. Una falla de funcionamiento atribuida a estas causas, implicaría realizar un rediseño que pondría en riesgo la ejecución del proyecto.



- Ocurrencia (3): Los componentes seleccionados cumplen exigentes condiciones ambientales, de todas maneras se identifica una probabilidad de falla ante la frecuente manipulación a la que pudieran estar expuestos.

Riesgo 3: Retraso en la asignación de recursos para el montaje del dispositivo de medición.

- Severidad (4): Al igual que el riesgo 1, se generarían retrasos en el cronograma de implementación, comprometiendo los plazos acordados con el cliente.
- Ocurrencia (4): Existen situaciones imprevistas algo frecuentes que generan tareas de mayor prioridad para las cuadrillas de mantenimiento en el yacimiento.

Riesgo 4: No contar con el conocimiento necesario para desarrollar la aplicación de servidor e interfaz de usuario.

- Severidad (7): No se dispone del conocimiento total requerido para su desarrollo en esta instancia del proyecto. Adquirirlos tardíamente podría demorar la ejecución del proyecto.
- Ocurrencia (3): Se contará con apoyo de un colaborador con mayor experiencia y los contenidos requeridos se asume que serán vistos en las materias de la especialización, por lo cual su probabilidad de ocurrencia es baja.

Riesgo 5: Cambio de proveedor de plataforma en la nube.

- Severidad (8): Se debería adaptar la arquitectura y configuración de los componentes desarrollados para utilizarlos con las herramientas de otro proveedor. Tiene impacto en el costo de desarrollo y tiempo de implementación.
- Ocurrencia (1): Probabilidad baja, dado que existe relación comercial muy fuerte con el proveedor.

Riesgo 6: Cambio en la forma de facturación de los servicios consumidos en la nube.

- Severidad (5): Podrían incrementarse los costos mensuales asumidos, afectando el presupuesto establecido.
- Ocurrencia (2): Probabilidad baja. Se contempla tener alternativas de implementación de los componentes o integración con otros grupos de recursos a fin de mantener los costos dentro de los límites establecidos.

Riesgo 7: Pérdida o daño de material de documentación.

- Severidad (7): Afectaría los plazos de ejecución del proyecto, dado que se debería destinar tiempo adicional a su reelaboración.
- Ocurrencia (1): la notebook utilizada para su elaboración es de uso compartido para otras tareas laborales. Por ello, se utilizará un repositorio Git Hub y una rutina recurrente de actualización para minimizar el riesgo de ocurrencia.

Riesgo	S	O	RPN	S*	O*	RPN*
1. Pérdida o sabotaje del disp. de medición	7	6	42	4	3	12
2. Falla de funcionamiento del disp. de medición	9	3	27	7	1	7
3. Retraso en la asignación de recursos para el montaje	4	4	16	-	-	-
4. No contar con el conocimiento necesario	7	3	21	3	3	9
5. Cambio de proveedor de plataforma en la nube	8	1	8	-	-	-
6. Cambio en la forma de facturación de los servicios	5	2	10	-	-	-
7. Pérdida o daño de material de documentación	7	1	7	-	-	-

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

Criterio adoptado: Se tomarán medidas de mitigación en los riesgos cuyos números de RPN sean mayores a 20

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: Se dispondrá de un stock de al menos 3 unidades adicionales para contemplar reemplazos. Se notificará al sector de seguridad física de la empresa operadora de la realización del piloto, a fin de que se pueda instrumentar una rutina de vigilancia adicional.

Nueva asignación de S y O, con su respectiva justificación:

- Severidad (4): Se reduce a un valor que contempla solo el retraso por la tarea de reinstalar el dispositivo.
- Ocurrencia (3): Se reduce la probabilidad al aumentar la disuasión por el incremento en la vigilancia.

Riesgo 2: Se supervisará el montaje del dispositivo de medición, de modo de evitar vicios de instalación. Se brindarán charlas de capacitación a las cuadrillas de mantenimiento al momento de realizar el montaje para evitar la incorrecta manipulación del dispositivo. Se realizará al menos una visita mensual para evaluar el estado de la instalación.

Nueva asignación de S y O, con su respectiva justificación:

- Severidad (7): Con las medidas a adoptar, se tendrá un alerta temprana de alguna deficiencia en las prestaciones del dispositivo.
- Ocurrencia (1): Mitigando el factor humano de un mal uso o mala instalación, la probabilidad de falla se deberá únicamente a defectos de los componentes.

Riesgo 4: Al detectar el riesgo de desvío por demoras en la ejecución de tareas relacionadas a esta área de conocimiento, se solicitará asistencia de colaborador especialista. Se acordará previamente con la gerencia funcional del colaborador su afectación potencial al proyecto en un período específico de tiempo.

Nueva asignación de S y O, con su respectiva justificación:

- Severidad (3): Se reduce al contar con mayor respaldo para comenzar la tarea en el tiempo planificado.
- Ocurrencia (3): No se modifica.

## 14. Gestión de la calidad

Se presentan a continuación los requerimientos con sus verificaciones y validaciones.

### 1. Requerimientos asociados al dispositivo de medición.

1.1. No debe requerir mano de obra calificada, tanto para la instalación como para la operación cotidiana.

- Verificación: se comprobarán las instrucciones de montaje y operación.
- Validación: se supervisará la primera instalación del prototipo y la operación por un usuario designado.

1.2. Debe ser robusto y soportar condiciones de clima extremo (grado de protección IP 67, soportar temperaturas entre -20°C y 50°C).

- Verificación: se comprobarán los requisitos en las hojas de datos de los componentes.
- Validación: se inspeccionará la primera instalación del prototipo.

1.3. Debe funcionar con baterías internas y poseer una autonomía de al menos 3 años.

- Verificación: se comprobará la especificación de la batería del nodo y se realizará un cálculo de autonomía en función del caso de uso típico.
- Validación: se registrará un test de nivel de carga de batería en un intervalo de tiempo adecuado.

1.4. La batería debe ser comercialmente asequible y de fácil reemplazo.

- Verificación: se inspeccionará esta característica en función de lo relevado en el mercado.
- Validación: se ofrecerá evidencia al cliente de las posibilidades de asequibilidad en el mercado.

1.5. El estado e información de los sensores del dispositivo se deben poder consultar mediante una aplicación inalámbrica desde un celular y de forma sencilla.

- Verificación: se comprobará esta funcionalidad en las hojas de datos del nodo.
- Validación: se ofrecerá realizar una prueba funcional al cliente.

1.6. Debe permitir el traslado a una nueva ubicación sin requerir una reconfiguración local.

- Verificación: funcionalidad propia de la tecnología de conexión seleccionada. No requiere una verificación explícita.
- Validación: se ofrecerá realizar una prueba funcional al cliente.

1.7. Debe detectar y notificar de forma inmediata si un sensor tiene una falla de cableado.

- Verificación: se comprobará el comportamiento del nodo al presentarse una condición de lazo abierto.
- Validación: se ofrecerá realizar una prueba funcional al cliente.

### 2. Requerimientos asociados a la colecta e identificación de mensajes generados por los dispositivos.

2.1. Se deberá definir un nomenclador de tópicos que sea flexible y escalable.

- Verificación: se revisará la forma de asignación de tópicos, planteando situaciones extremas.

- Validación: se realizará una prueba de definición de tópicos para distintos casos reales.
- 2.2. La estructura de la carga útil del mensaje debe soportar futuras incorporaciones de sensores.
- Verificación: se comprobará la capacidad de incorporar nuevas variables a la carga útil del mensaje.
  - Validación: se realizará prueba de modificación de carga útil y su correspondiente representación.
3. Requerimientos asociados al software en la nube.
- 3.1. Se deberán utilizar componentes de la plataforma Azure de Microsoft.
- Verificación: Se documentarán las características de cada componente de nube utilizado.
  - Validación: no es requerida por el cliente.
- 3.2. Los mensajes de los dispositivos se enviarán a un componente IoT Hub mediante protocolo AMQP.
- Verificación: se tomarán muestras testigo de mensajes enviados.
  - Validación: no es requerida por el cliente.
- 3.3. Se deberá decodificar y enrutar adecuadamente el flujo de datos proveniente de IoT Hub.
- Verificación: se tomarán muestras testigo de mensajes enviados.
  - Validación: no es requerida por el cliente.
- 3.4. Se debe establecer un flujo de datos hacia una base de datos de históricos.
- Verificación: se harán consultas de prueba para verificar el correcto almacenamiento de información histórica.
  - Validación: se dará acceso al cliente para verificar el almacenamiento de la información.
- 3.5. Se debe establecer un flujo de datos para procesar y enviar notificaciones de alarmas.
- Verificación: se comprobará el establecimiento del flujo de datos.
  - Validación: se realizará una prueba de envío de notificaciones.
- 3.6. Se deberá definir un mecanismo de notificación de alarmas y eventos a los usuarios registrados. Podrá ser por email y/o Telegram.
- Verificación: se comprobará el establecimiento del flujo de datos.
  - Validación: se realizará una prueba de envío de notificaciones.
- 3.7. La aplicación web dispondrá de un panel para visualizar información histórica de cada dispositivo.
- Verificación: se inspeccionará el acceso a la funcionalidad.
  - Validación: se dará acceso al cliente para validar el panel de visualización de información histórica.
- 3.8. La aplicación web permitirá la consulta de eventos y alarmas. Se debe recibir una notificación de forma inmediata ante un paro del motor.
- Verificación: se verificará la correcta activación de la notificación ante el evento de disparo.
  - Validación: se realizará una prueba de funcionalidad simulada con el cliente.

3.9. Se deben recibir notificaciones de advertencia de nivel de batería bajo y algún otro parámetro que se identifique de utilidad, para realizar un correcto mantenimiento preventivo.

- Verificación: se inspeccionará la correcta notificación ante el evento de nivel de batería bajo.
- Validación: se realizará una prueba de funcionalidad simulada con el cliente.

#### 4. Requerimientos de integridad y seguridad.

4.1. Se deberá establecer un mecanismo seguro de gestión y validación de usuarios de la aplicación web.

- Verificación: se comprobará la funcionalidad de gestión y validación de usuarios de la aplicación web.
- Validación: se realizará una demostración de uso de la aplicación web al cliente.

4.2. El acceso a la configuración de los dispositivos de medición estará protegido por un usuario y contraseña. Será utilizado únicamente por personal autorizado del sector TI de la empresa.

- Verificación: se comprobará el proceso de alta del nodo en la red LoRaWAN.
- Validación: no es requerida por el cliente.

#### 5. Requerimientos de documentación.

5.1. Se deberá elaborar el manual de configuración e instalación del dispositivo de medición.

- Verificación: se comprobará que la estructura y contenido sea el requerido.
- Validación: se plantearán versiones preliminares a ser validadas por el cliente.

5.2. Se deberá documentar la configuración de todos los componentes desplegados en Microsoft Azure.

- Verificación: se comprobará que la estructura y contenido sea el requerido.
- Validación: se enviará al área de IT el entregable para su validación.

5.3. Se deberá elaborar el manual de uso del software de usuario.

- Verificación: se inspeccionará que la estructura y contenido sea el requerido.
- Validación: se plantearán versiones preliminares a ser validadas por el cliente.

5.4. Se deberá desarrollar el informe de avance del proyecto.

- Verificación: se generará progresivamente la documentación técnica de cada etapa del proyecto y se cumplirán los procesos requeridos para disponer del informe de avance conformado previo a la entrega.
- Validación: lectura, recepción de correcciones y sugerencias por parte del director del proyecto.

5.5. Se deberá desarrollar la memoria final del proyecto.

- Verificación: cierre de la documentación técnica de cada etapa del proyecto.
- Validación: lectura, recepción de correcciones y sugerencias por parte del director del proyecto. Aprobación del taller de trabajo final.

## 15. Procesos de cierre

Enmarcado en el proceso de cierre del proyecto se realizará una reunión formal de evaluación. La organización y conducción estará a cargo del responsable del proyecto. Deberán participar: el cliente, el impulsor y el orientador; quienes tendrán que registrar su evaluación a cada tema presentado. Podrán participar de forma opcional un representante de usuario final y los colaboradores.

A continuación, se detallan las actividades que se llevarán a cabo.

- Evaluación del cumplimiento de las expectativas.
  1. Se evaluará el grado de satisfacción del cliente con el resultado final del proyecto.
  2. Se evaluará el grado de cumplimiento de cada requerimiento.
  3. Se evaluará la ejecución del plan de trabajo, identificando si el mismo se cumplió dentro de los plazos establecidos. Si se identificaran desvíos, los mismos serán analizados en mayor detalle, para capturar oportunidades de mejora para nuevos proyectos.
  4. Se evaluará el grado de cumplimiento de la ejecución del presupuesto. De manera análoga al punto anterior, si hubiera desvíos respecto al plan los mismos serán analizados y registrados.
  5. Se evaluará el grado de satisfacción con el cual los riesgos identificados originalmente (o no) fueron tratados en el proyecto.
- Finalización de la prestación de servicios.
  1. Se dará cierre formal a las prestaciones de servicio y a la utilización de activos de la empresa que fueron reservados para la ejecución del proyecto.
- Archivo de la documentación del proyecto.
  1. Se aprobará la documentación del proyecto, incluyendo las lecciones aprendidas. Se archivará en el repositorio oficial de la oficina de proyectos.
- Agradecimientos.
  1. Se identificará y dará un reconocimiento a todos los participantes del proyecto, realizando una mención especial a quienes hayan tenido un rol protagónico o destacado. Se gestionará la publicación de un *flyer* (volante digital) en la página principal de la intranet de la empresa, dando lugar a éste reconocimiento.