



**FACULTAD  
DE INGENIERIA**

Universidad de Buenos Aires

# Sistema de monitoreo de redes de distribución de baja tensión utilizando sensores autónomos y LoRaWAN

Autor:

Milton Eduardo Sosa

Director:

Ing. Marcelo E. Romeo (Universidad Nacional de San Martín)

Jurados:

Nombre y Apellido (1) (pertenencia (1))

Nombre y Apellido (2) (pertenencia (2))

Nombre y Apellido (3) (pertenencia (3))

*Este trabajo fue realizado en el curso de Gestión de proyectos  
entre el 27 de junio de 2020 y el 22 de Julio de 2021.*

## Índice

Registros de cambios . . . . .	3
Acta de Constitución del Proyecto . . . . .	4
Descripción técnica-conceptual del Proyecto . . . . .	5
Diagrama de bloques del proyecto . . . . .	5
4.1 Hardware a desarrollar . . . . .	5
4.2 Servicios de Backend a desarrollar . . . . .	6
Identificación y análisis de los interesados . . . . .	7
1. Propósito del proyecto . . . . .	8
2. Alcance del proyecto . . . . .	8
3. Supuestos del proyecto . . . . .	8
4. Requerimientos . . . . .	9
5. Entregables principales del proyecto . . . . .	9
6. Desglose del trabajo en tareas . . . . .	10
7. Diagrama de Activity On Node . . . . .	11
8. Diagrama de Gantt . . . . .	12
9. Matriz de uso de recursos de materiales . . . . .	13
10. Presupuesto detallado del proyecto . . . . .	13
11. Matriz de asignación de responsabilidades . . . . .	13
12. Gestión de riesgos . . . . .	14
13. Gestión de la calidad . . . . .	15
14. Comunicación del proyecto . . . . .	16
15. Gestión de Compras . . . . .	16
16. Seguimiento y control . . . . .	16
17. Procesos de cierre . . . . .	16

## Registros de cambios

Revisión	Detalles de los cambios realizados	Fecha
1.0	Creación del documento	22/06/2020
1.1	Avances hasta el desglose de trabajo en tareas.	10/07/2020

## Acta de Constitución del Proyecto

Buenos Aires, 27 de junio de 2020

Por medio de la presente se acuerda con el Ing. Milton Eduardo Sosa que su Trabajo Final de la Carrera de Especialización en Sistemas Embebidos se titulará “Sistema de monitoreo de redes de distribución de baja tensión utilizando sensores autónomos y LoRaWAN”, consistirá esencialmente en el prototipo preliminar de un sistema embebido de tipo autónomo que sea capaz de manera no invasiva de determinar valores eficaces de corriente alterna en sistemas metropolitanos de distribución de energía eléctrica en baja tensión y reportar estados a un centro de operaciones a través de una red LoRaWAN. Tendrá un presupuesto preliminar estimado de 600 hs de trabajo y \$60.000, sesenta mil pesos argentinos, con fecha de inicio 27 de junio de 2020 y fecha de presentación pública 30 de Julio de 2020.

Se adjunta a esta acta la planificación inicial.

Ariel Lutenberg  
Director posgrado FIUBA

Ing. Milton Eduardo Sosa

Ing. Marcelo E. Romeo  
Director del Trabajo Final

Nombre y Apellido (1)  
Jurado del Trabajo Final

Nombre y Apellido (2)  
Jurado del Trabajo Final

Nombre y Apellido (3)  
Jurado del Trabajo Final

## Descripción técnica-conceptual del Proyecto

El presente trabajo surge como idea del autor en base a la necesidad de permitir a las redes distribución metropolitanas y megalopolitanas de integrar características de Ciudades Inteligentes y así permitir enmarcarlas dentro del concepto de Internet de las cosas (IoT). El mismo sigue las premisas de minimizar impactos y costos de implementación en las redes de distribución actual y a la vez procura lograr un aumento en la calidad de servicio de distribución de energía eléctrica haciendo uso de los datos relevados.

Es menester mencionar que este trabajo es parte de un proyecto de PyME de base tecnológica con el objeto de comercializar servicios a diferentes prestadoras del servicio de distribución de energía eléctrica en Sudamérica, como así también a personas que deseen monitorear el estado de una carga eléctrica en particular haciendo uso de una estructura de red de comunicación de largo alcance.

Dado el costo monetario y operativo que actualmente representa reemplazar actores clave en un sistema de distribución de energía eléctrica, como son los transformadores de media a baja tensión o bien los fusibles aéreos inmediatamente a la salida de los transformadores ya operativos en una red de distribución de energía eléctrica sin otra prestación técnica mas que bajar el nivel de tensión o proteger las líneas de una sobrecarga de corriente, surge la necesidad de proponer alternativas tecnológicas para aumentar la calidad del servicio de distribución de energía eléctrica.

El siguiente sistema ocuparía un mínimo espacio físico adicional en la red, pero de gran relevancia para realizar un relevamiento en tiempo semi real del estado de operación de la red de distribución de energía eléctrica.

Entre las características técnicas que sobresalen de este sistema, se encuentran la utilización tecnologías de redes de comunicación públicas de largo alcance y bajo consumo para reportar el estado de operación de un nodo en particular de la red. Tambien propone el uso de formas de conversión y acumulación de energía eléctrica de bajo impacto medioambiental con el objeto de lograr autonomía de operación aún en condiciones meteorológicas desfavorables y operando en régimen 24/7. Finalmente es la intención de que este prototipo se mantenga agnóstico a la frecuencia de operación de la red como así tambien a la tensión otorgando así, facilidad a la hora de realizar el comisionamiento en diferentes redes.

## Diagrama de bloques del proyecto

El sistema propuesto se compondrá por un Hardware (HW) a desarrollar para cada nodo y los servicios interconectados en la nube también llamados Backend services (BES).

### Hardware a desarrollar

El diagrama de bloques del HW a desarrollar es presentado en la Figura 1. Este posee cinco etapas:

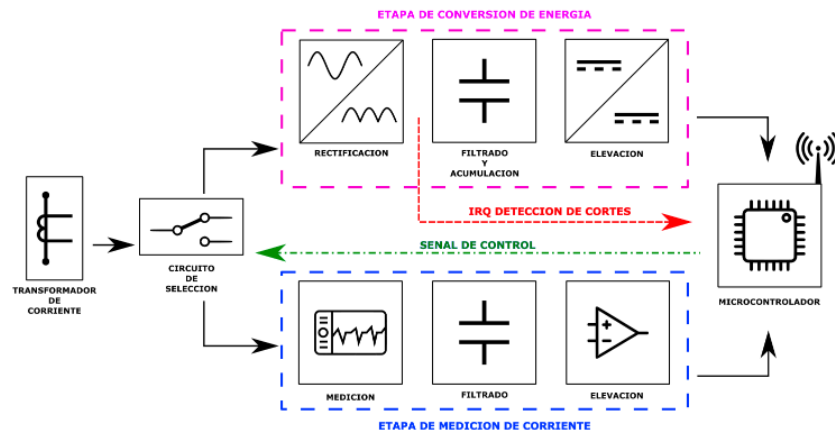


Figura 1: Diagrama en bloques del hardware asociado al sistema.

- Transformador de Corriente (TI): encargado de suplir de corriente eléctrica para la carga del acumulador, como así también actuar como transductor de corriente para la medición del valor eficaz de la misma.
- Etapa de conversión y acumulación de energía: compuesta por un rectificador de baja caída, un acumulador y un convertor DC/DC.
- Etapa de medición / detección de corriente: encargado de las mediciones de valor eficaz de corriente alterna junto a un circuito de acondicionamiento de señal.
- Circuito de selección de modo: compuesto por un relay (RL) acorde al TI y su circuito de excitación.
- Etapa de procesamiento, control y comunicaciones: compuesto por un microcontrolador (uC) y un módulo de comunicaciones (MC) LoRa.

## Servicios de Backend a desarrollar

Para lograr la recuperación de datos generados por el HW y enviados a la red LoRaWAN, es necesario contar con un conjunto de servicios privados de backend (BES). Estos deberán estar integrados de manera permanente con la red LoRaWAN la cual se considera ya existente cuya infraestructura es presentada en la Figura 2.

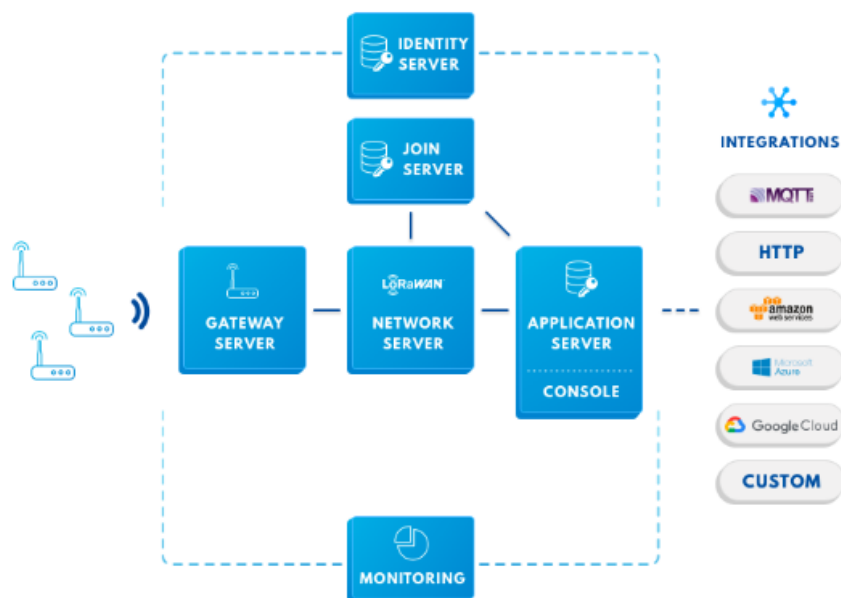


Figura 2: Diagrama en bloques de la red LoRaWAN a utilizar y sus posibles integraciones con terceras partes.

Esta integración se logrará a través de APIs HTTP o mediante suscripciones a tópicos de broker de mensajería.

Los BES privados a desarrollar en este proyecto serán 3:

1. Servicio de Recuperación de Datos: encargado de recuperar los datos enviados por los nodos a través de la API proporcionada por TTN y almacenarlos en una base de datos.
2. Base de Datos (DB): encargado de almacenar los valores históricos de los nodos sensores y generar diferentes métricas para los reportes de estado para luego desplegarlas en una interfaz gráfica de usuario.
3. Interfaz Gráfica de Usuario (GUI): encargada de presentar los últimos datos recuperados por cada nodo de manera amigable para el usuario final del sistema.

## Identificación y análisis de los interesados

Rol	Nombre y Apellido	Organización	Puesto
Auspiciante, Impulsor Responsable y Equipo	Ing. Milton E. Sosa	Universidad Nacional de Misiones	Egresado
Orientador	Ing. Marcelo E. Romeo	Universidad Nacional de San Martín	Director Trabajo final
Colaboradores	Dr. Ing. Eduardo O. Sosa	Universidad Nacional de Misiones	Docente Investigador

- Ing. Marcelo E. Romeo, de vasta experiencia profesional en el ámbito de la microelectrónica e investigación y desarrollo para diferentes entidades y universidades nacionales.

- Dr. Ing. Eduardo O. Sosa, cuenta con más de 20 años de experiencia en el área de las TELCO, ex miembro colaborador de la RIU, profesor titular de la cátedra de Física en la Universidad Nacional de Misiones y lidera proyectos bilaterales entre Argentina y Alemania en el ámbito de IoT.

## **1. Propósito del proyecto**

El propósito de este proyecto es el de desarrollar un sistema formado por un circuito electrónico autónomo y un conjunto de software dedicado a la recuperación y almacenamiento de datos generados y transmitidos por el circuito.

El mismo, debe ser capaz de permitir a las actuales redes de distribución de energía eléctrica reportar su estado actual de operación al centro de monitoreo.

## **2. Alcance del proyecto**

Se pretende desarrollar un prototipo de HW capaz de ser autosuficiente en cuanto a la conversión, acumulación y gestión de energía eléctrica con el objeto de alimentar y permitir su operación en estado autónomo y permanente. Para ello se desarrollará un circuito de micro energy harvesting basado en rectificadores de bajas pérdidas, acumuladores aptos para la aplicación final y un conversor DC/DC de alta eficiencia.

Se desarrollará una etapa de medición de valor eficaz de corriente alterna, con el objeto de medir la intensidad de corriente que actualmente circula por el conductor conectado a la salida de baja tensión e inmediatamente después del fusible aéreo de protección.

Agregado a los módulos mencionados anteriormente, un microcontrolador se encargará de la gestión de energía de todo el HW y de digitalizar todas las mediciones realizadas para finalmente enviarlas al centro de operaciones a través de un módulo de comunicación.

Los BES se albergarán en una computadora de bajo costo la cual proporcionará suficientes recursos para su operación y ensayo en la etapa de desarrollo.

No es parte del alcance del presente proyecto llegar a una etapa de lanzamiento del producto a clientes finales, sino la de lograr un demostrador tecnológico. Sin embargo, si los tiempos lo permiten y se logra contar con una infraestructura adecuada, se desean realizar ensayos end-to-end en laboratorio sobre el sistema, involucrando los prototipos de hardware que fueran desarrollados, y una integración mínima entre los BES y la red LoRaWAN ya existente.

## **3. Supuestos del proyecto**

Para el desarrollo del presente proyecto se supone que:

- El autor del trabajo no tendrá ningún problema para hacerse de los insumos necesarios para alcanzar los objetivos incurriendo a distribuidores de componentes en el mercado local.



- Al momento de ensayar el sistema, se debe contar con acceso a una red LoRaWAN operativa como por ejemplo The Things Network.
- El autor no tendrá en ningún momento limitaciones de movilidad.
- En caso de ser necesario realizar ensayos end-to-end, el autor deberá incurrir en la fabricación de un banco de ensayos apropiado para simular los casos de uso y probar el sistema en su conjunto como así disponer de instrumentos patrones para contrastar y verificar el correcto funcionamiento, pudiendo así impactar la fecha final de entrega de los items listados en el punto 5.

#### **4. Requerimientos**

##### **1. Grupo de requerimientos asociados con hardware**

- 1.1. Respetuoso con el medioambiente.
- 1.2. Compacto.
- 1.3. De fácil comisionamiento y puesta en funcionamiento.
- 1.4. Bajo consumo en modo ocioso.
- 1.5. Mínimo mantenimiento in-situ.
- 1.6. Agnóstico a la frecuencia de operación de la red 50/60 Hz.
- 1.7. Agnóstico a la tensión de fase del sistema de distribución 110/220 Voltios.

##### **2. Grupo de requerimientos asociados con software**

- 2.1. Tanto el software a desarrollar para el firmware del microcontrolador, como para los BES se deberán desarrollar haciendo uso de un lenguaje que permita celeridad en el desarrollo, fácil integración entre ambas partes, ensayos, verificaciones y futuro mantenimiento.

##### **3. Grupo de requerimientos asociados con ensayos de integración**

- 3.1. Red LoRaWAN disponible y operativa con buena cobertura.
- 3.2. Conectividad a internet para verificación de correcto funcionamiento del sistema.

#### **5. Entregables principales del proyecto**

- Diagrama esquemático
- Código fuente del firmware
- Diagrama de instalación
- Informe final

## 6. Desglose del trabajo en tareas

### 1. Grupo de tareas asociadas al hardware (Total: 472 hs)

#### 1.1. Transductor de corriente. (Total: 20 hs)

- 1) Análisis de transductores aptos para el hardware a desarrollar. (5 hs)
- 2) Selección de componentes. (5 hs)
- 3) Ensayo y evaluación del transductor de manera individual. (10 hs)

#### 1.2. Etapa de circuito de selección. (Total: 20 hs)

- 1) Análisis de alternativas técnicas. (10 hs)
- 2) Selección de componentes en base a los requerimientos de hardware presentados en el punto 9. (6 hs)
- 3) Ensayo del circuito de selección de manera individual. (4 hs)

#### 1.3. Etapa de rectificación y filtrado. (Total: 53 hs)

- 1) Análisis comparativo de alternativas para técnicas de rectificación. (30 hs)
- 2) Selección de componentes encargados de la etapa de rectificación. (10 hs)
- 3) Ensayo de la etapa de rectificación de manera individual. (5 hs)
- 4) Evaluación de resultados. (8 hs)

#### 1.4. Etapa de acumulación de energía. (Total: 60 hs)

- 1) Análisis de alternativas viables para acumulación de energía acorde a los requerimientos de hardware presentados en la etapa 9. (10 hs)
- 2) Selección de la etapa de acumulacion de energía. (15 hs)
- 3) Ensayo de la etapa de acumulación de energía de manera individual. (20 hs)
- 4) Evaluación de resultados y estimación de la autonomía de operación en función de diferentes perfiles de consumo. (15 hs)

#### 1.5. Etapa de elevación de tensión. (Total: 20 hs)

- 1) Análisis de alternativas técnicas para elevación de tensión aptas para el hardware a desarrollar. (15 hs)
- 2) Ensayo y evaluación de la etapa de elevación de tensión de manera individual. (5 hs)

#### 1.6. Etapa de medición de corriente. (Total: 45 hs)

- 1) Análisis de alternativas para realizar la medición del valor eficaz de corriente para el hardware a desarrollar. (20 hs)
- 2) Selección de alternativa acorde a los requerimientos de hardware presentados en la etapa 9. (15 hs)
- 3) Ensayo y evaluación de la etapa de medición de valor eficaz de manera individual. (10 hs)

#### 1.7. Etapa de elevación de tensión. (Total: 24 hs)

- 1) Análisis de alternativas técnicas para filtrado y amplificación. (10 hs)
- 2) Selección de componentes. (4 hs)
- 3) Ensayo y evaluación de la etapa de filtrado y amplificación de manera individual. (10 hs)

#### 1.8. Microcontrolador y módulo de comunicaciones-. (Total: 100 hs)

- 1) Análisis de microcontroladores y módulos de comunicación aptos para la aplicación. (40 hs)
- 2) Selección acorde al propósito y alcance del proyecto. (20 hs)
- 3) Pruebas de laboratorio del microcontrolador y modulo de comunicación de manera individual. (40 hs)
- 1.9. Circuito impreso. (Total: 130)
  - 1) Ruteo del circuito impreso. (60 hs)
  - 2) Inspección. (20 hs)
  - 3) Montaje y soldado de componentes. (40 hs)
  - 4) Depuración. (10 hs)
2. Grupo de tareas asociadas al software (Total: 220)
  - 2.1. Tareas asociadas al firmware del microcontrolador (Total: 110 hs)
    - 1) Definición de la "lógica de negocio" que regirá la operación del hardware a instalar in-situ. (10 hs)
    - 2) Prototipado del firmware. (60 hs)
    - 3) Depuración de errores. (20 hs)
    - 4) Pruebas unitarias. (20 hs)
  - 2.2. Tareas asociadas a los BES (Total: 110 hs)
    - 1) Definición de la lógica de operación de cada servicio. (20 hs)
    - 2) Desarrollo del software. (50 hs)
    - 3) Pruebas de integración. (20 hs)
    - 4) Depuración de errores. (20 hs)
3. Tareas asociadas a pruebas de integración. (Total: 105 hs)
  - 3.1. Definición de los casos de ensayo. (20 hs)
  - 3.2. Desarrollo del software. (50 hs)
  - 3.3. Ejecución de las pruebas. (15 hs)
  - 3.4. Depuración de errores. (20 hs)

Cantidad total de horas: (797 hs)

## 7. 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:

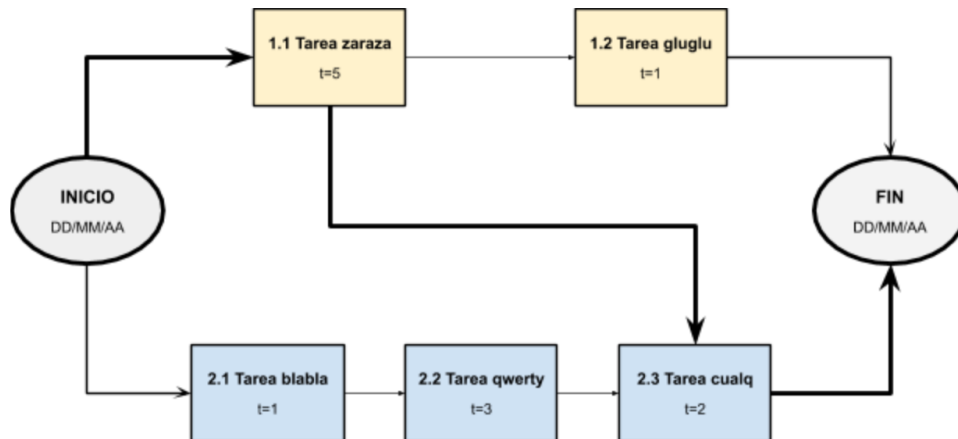


Figura 3: Diagrama en *Activity on Node*

## 8. Diagrama de Gantt

Utilizar el software Ganttter for Google Drive o alguno similar para dibujar el diagrama de Gantt.

Existen muchos programas y recursos *online* para hacer diagramas de gantt, entre las 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.

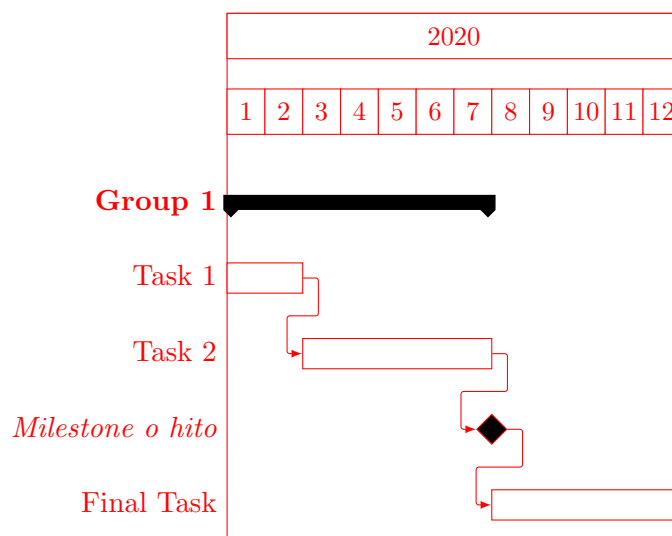


Figura 4: Diagrama de gantt de ejemplo

Código WBS	Nombre tarea	Recursos requeridos (horas)			
		Material 1	Material 2	Material 3	Material 4

## 9. Matriz de uso de recursos de materiales

## 10. 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**.

## 11. Matriz de asignación de responsabilidades

Establecer la matriz de asignación de responsabilidades y el manejo de la autoridad completando la siguiente tabla:

Referencias:

- P = Responsabilidad Primaria
- S = Responsabilidad Secundaria
- A = Aprobación
- I = Informado

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

Código WBS	Nombre de la tarea	Listar todos los nombres y roles del proyecto			
		Responsable Milton Eduardo Sosa	Orientador Ing. Marcelo E. Romeo	Equipo Nombre de alguien	Cliente Ing. Milton Eduardo Sosa

- C = Consultado

Una de las columnas debe ser para el Director, ya que se supone que participará en el proyecto. A su vez se debe cuidar que no queden muchas tareas seguidas sin “A” o “T”.

Importante: es redundante poner “I/A” o “I/C”, porque para aprobarlo o responder consultas primero la persona debe ser informada.

## 12. 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)

- 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)

### 13. Gestión de la calidad

Para cada uno de los requerimientos del proyecto indique:

- Req #1: Copiar acá el requerimiento.

Verificación y validación:

- 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, etc.

## 14. Comunicación del proyecto

El plan de comunicación del proyecto es el siguiente:

PLAN DE COMUNICACIÓN DEL PROYECTO					
¿Qué comunicar?	Audiencia	Propósito	Frecuencia	Método de comunicac.	Responsable

## 15. Gestión de Compras

En caso de tener que comprar elementos o contratar servicios: a) Explique con qué criterios elegiría a un proveedor. b) Redacte el Statement of Work correspondiente.

## 16. Seguimiento y control

Para cada tarea del proyecto establecer la frecuencia y los indicadores con los se seguirá su avance y quién será el responsable de hacer dicho seguimiento y a quién debe comunicarse la situación (en concordancia con el Plan de Comunicación del proyecto).

El indicador de avance tiene que ser algo medible, mejor incluso si se puede medir en % de avance. Por ejemplo, se pueden indicar en esta columna cosas como “cantidad de conexiones ruteadas” o “cantidad de funciones implementadas”, pero no algo genérico y ambiguo como “%”, porque el lector no sabe porcentaje de qué cosa.

SEGUIMIENTO DE AVANCE					
Tarea del WBS	Indicador de avance	Frecuencia de reporte	Resp. de seguimiento	Persona a ser informada	Método de comunic.

## 17. 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 utilizaron, 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.