



**FACULTAD  
DE INGENIERIA**

---

Universidad de Buenos Aires

# Desarrollo de sensor de corriente

Autor:

Ing. Santiago Esteva

Director:

Esp. Ing. Bucafusco Franco (FIUBA)

*Esta planificación fue realizada en el curso de Gestión de proyectos  
entre el 23 de Octubre de 2020 y el 18 de Diciembre de 2020.*

## Índice

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

## Registros de cambios

Revisión	Detalles de los cambios realizados	Fecha
1.0	Creación del documento	23/10/2020
1.1	Desarrollo hasta sección 6 inclusive	05/11/2020
1.2	Correcciones e historias de usuario	15/11/2020

## Acta de constitución del proyecto

Buenos Aires, 23 de Octubre de 2020

Por medio de la presente se acuerda con el Ing. Ing. Santiago Esteva que su Trabajo Final de la Carrera de Especialización en Sistemas Embebidos se titulará “Desarrollo de sensor de corriente”, consistirá esencialmente en el prototipo preliminar de un desarrollo de un sensor de corriente de tres fases capaz de medir, procesar e informar diversos parámetros necesarios para el mantenimiento predictivo en la industria, y tendrá un presupuesto preliminar estimado de 600 hs de trabajo y \$XXX, con fecha de inicio 23 de Octubre de 2020 y fecha de presentación pública 19 de Octubre de 2021.

Se adjunta a esta acta la planificación inicial.

Ariel Lutenberg  
Director posgrado FIUBA

Cristian Muzzio  
Hitec S.R.L.

Esp. Ing. Bucafusco Franco  
Director del Trabajo Final

## Descripción técnica-conceptual del proyecto a realizar

En la industria química existen procesos continuos de fabricación que deben ser controlados de forma permanente para asegurar una calidad constante entre lotes de un mismo producto. Sumado a los controles en tiempo de ejecución, existen técnicas de mantenimiento predictivo que permiten prever posibles fallas en los actuadores del proceso que implican paros de emergencia o tiempos muertos, que concluyen en pérdidas parciales o totales del lote. Dado que en la mayoría de estos procesos se utilizan motores eléctricos como actuadores, se abre una gran posibilidad de desarrollar diversos tipos de sensores para aplicar mantenimiento predictivo. En la bibliografía se pueden encontrar diversos métodos relacionados a evaluar el desgaste de un motor mediante el análisis de su corriente de consumo. Es por ello que la empresa Hitec S.R.L. necesita un sensor de corriente capaz de medir, procesar y comparar datos estadísticos en dominio del tiempo y frecuencia.

Actualmente la empresa presta un servicio de mantenimiento predictivo mediante la plataforma comercial *teBox* de la firma Terative, con análisis y reportes de datos en la nube y se encuentra en la búsqueda de un sensor de corriente que se adecúe a su plataforma. El presente proyecto busca cubrir esta necesidad y propone desarrollar un sensor de corriente trifásico capaz de medir, procesar, almacenar y comunicar parámetros específicos a través de la plataforma *teBox*.

En la figura 1 se presenta un diagrama en bloques del sensor que se propone desarrollar con el nombre comercial de *teSensor-TC* (*Trifasic Current Sensor*). Se observa la unidad central de procesamiento con sus periféricos, los circuitos necesarios para la adaptación de señales, alimentación y comunicación y los cuatro sensores externos.

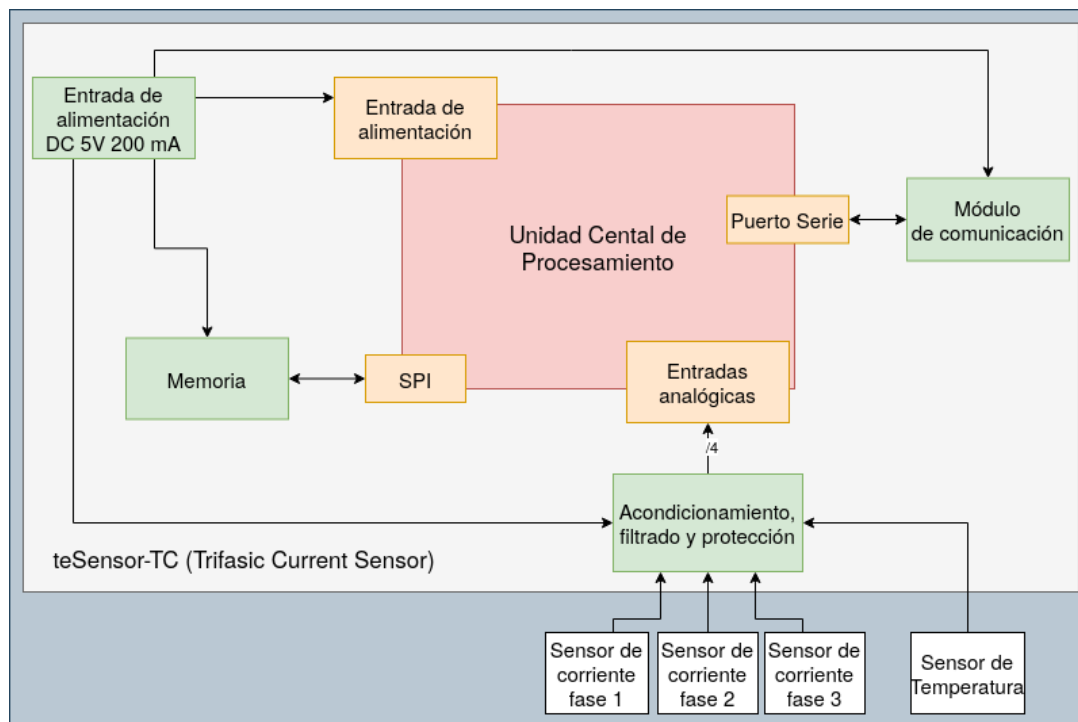


Figura 1. Diagrama en bloques del sistema

El sensor debe medir los siguiente parámetros:

- Desplazamiento entre las tres fases
- Valor estadístico (por fase) de corriente RMS AC
- Valor estadístico (por fase) de corriente DC
- Valor estadístico (por fase) de factor de cresta
- Valor pico de la corriente

Adicionalmente deberá procesar cada señal en frecuencia con la capacidad de extraer la frecuencia de máxima energía y energía de bandas predefinidas, contener una memoria externa para almacenar datos relacionados a valores de calibración de fábrica, valores de última calibración, máximos históricos de algunas variables de interés, fecha de cada dato almacenado, etc.

## Identificación y análisis de los interesados

Rol	Nombre y Apellido	Organización	Puesto
Auspiciante y Cliente	Cristian Muzzio	Hitec S.R.L.	
Responsable	Ing. Santiago Esteva	FIUBA	Alumno
Colaboradores	Martin Mello Teggia	FIUBA	Alumno
Orientador	Esp. Ing. Bucafusco Franco	FIUBA	Director Trabajo final
Usuario final	Personal técnico del sector de instalaciones	Hitec S.R.L.	Técnico

- Colaborador: Martín Mello Teggia, empleado de la empresa Hitec S.R.L.y estudiante de la especialización con gran experiencia en diseño de hardware y software.

## 1. Propósito del proyecto

El propósito de este proyecto es desarrollar un sensor de corriente de tres fases capaz de medir, procesar e informar diversos parámetros necesarios para el mantenimiento predictivo en la industria química.

## 2. Alcance del proyecto

El proyecto incluye los siguientes puntos:

- El diseño e implementación del hardware.
- El desarrollo del firmware capaz de recolectar los datos, procesarlos y enviarlos mediante el protocolo de comunicación específico de *teBox* en modelo maestro-esclavo.

- Sensado de temperatura ambiental para conocer el modo de operación.
- Desarrollo de una memoria técnica del proyecto.

El proyecto no incluye los siguientes puntos:

- El diseño y construcción de packaging asociado para la distribución del producto.
- El análisis de los datos recolectados y procesados.

### **3. Supuestos del proyecto**

Para el desarrollo del presente proyecto se supone que:

- Todos los materiales necesarios para la implementación serán suministrados por Hitec S.R.L..
- La importación de componentes no estará restringida y tomará un tiempo menor a 3 meses.
- Se contará con asistencia por parte de Hitec S.R.L. para el montaje de los componentes en el PCB.
- Hitec S.R.L. cuenta con todos los equipos para la medición y validación del prototipo.

### **4. Requerimientos**

A continuación se listan los requerimientos en prioridad descendente:

1. Grupo de requerimientos asociados al sistema
  - 1.1. La alimentación por cable debe ser de 5 V con un consumo máximo de 200 mA.
  - 1.2. El sistema utilizará sensores disponibles comercialmente para la adquisición de la corriente y temperatura.
  - 1.3. El sistema deberá ser capaz de tomar muestras de los tres sensores de corriente en simultaneo al período de muestreo fijo.
  - 1.4. El sistema deberá poseer una memoria no volátil para registrar datos como valores máximos, parámetros de calibración, etc.
  - 1.5. El sistema debe medir la temperatura ambiental de operación, rango de medición 0 - 50 centígrados.
  - 1.6. El sistema incorporará diseño y elementos que aseguren bajo consumo de energía (requerimiento 11.1.).
  - 1.7. Los indicadores de situación serán enviados mediante el protocolo de comunicación.
  - 1.8. El sistema deberá tomar muestras de los sensores externos con una tasa de muestreo de 1 kHz de frecuencia.
  - 1.9. El sistema deberá contar con una resolución de 16 bits (15 bits + signo).

- 1.10.
2. Grupo de requerimientos asociados a la comunicación de datos
  - 2.1. El protocolo de comunicación está definido por la plataforma *teBox*.
  - 2.2. El sensor se comporta como esclavo y la plataforma *teBox* como maestro.
3. Grupo de requerimientos asociados con el sensor de corriente
  - 3.1. El sensor debe ser de efecto Hall.
  - 3.2. El sensor debe detectar corriente continua, alterna y de pulsos.
  - 3.3. El sensor debe ser de núcleo partido.
  - 3.4. El sensor debe ser de bajo consumo (máximo 20 mA).
4. Grupo de requerimientos asociados a testing
  - 4.1. Se deberá testear cada módulo del hardware en forma individual y luego en conjunto.
  - 4.2. Se deberán validar los requerimientos detallados en el informe especificación de requerimientos de software CORRIENTE-ER-0001.
  - 4.3. Luego de la integración de hardware y software se deben realizar pruebas de funcionamiento. Lectura de dato sensado, almacenamiento en memoria, comunicación con plataforma, etc.
  - 4.4. Realizar la prueba integral del sistema en el caso de uso principal.
5. Grupo de requerimientos asociados con la documentación
  - 5.1. Se deberá generar una planificación completa del proyecto con los diferentes puntos a seguir durante el desarrollo del sensor.
  - 5.2. Se utilizarán informes de avance dirigidos al cliente y director con la finalidad de controlar los puntos planificados.
  - 5.3. Se deberá confeccionar una memoria técnica para el proyecto.
  - 5.4. Se deberá confeccionar un manual de uso en lenguaje sencillo dirigido a un lector que podrá no contar con conocimiento técnico.
  - 5.5. Se deberá confeccionar un manual de instalación.

## Historias de usuarios (*Product backlog*)

A continuación se detallan las historias de usuarios para el sistema con su respectiva puntuación. El criterio se toma de 1 (baja dificultad) - 4 (alta dificultad).

- Como usuario quiero que el sistema sea capaz de adquirir los datos de tres sensores de corriente con el objetivo de calcular el desgaste de un motor. (4)
- Como cliente quiero que el sensado no sea invasivo ya que puede interferir en el proceso principal. (1)
- Como usuario quiero recibir los datos en la plataforma con el objetivo de aplicar técnicas de mantenimiento preventivo. (2)
- Como usuario quiero conocer la temperatura ambiente de trabajo del sensor para prevenir fallas por alta temperatura de operación. (1)



- Como cliente quiero que el sistema sea capaz de comunicarse mediante el protocolo de *teBox* con el objetivo de sumar un sensor a la plataforma. (4)
- Como usuario quiero almacenar datos de interés en una memoria con el objetivo de independizar la adquisición de la comunicación. (3)
- Como usuario quiero tener la capacidad de modificar parámetros de medición del sistema con el objetivo de calibrarlo. (2)

## 5. Entregables principales del proyecto

- Prototipo funcional
- Manual de uso
- Diagrama esquemático electrónico del hardware
- Código fuente
- Manual de instalación
- Informe final

## 6. Desglose del trabajo en tareas

1. Análisis preliminar (48 hs)
  - 1.1. Estudio sobre mantenimiento predictivo (10 hs)
  - 1.2. Investigación sobre posibles sensores de corriente (10 hs)
  - 1.3. Realizar el plan del proyecto (28 hs)
2. Hardware (140 hs)
  - 2.1. Selección de componentes (12 hs)
  - 2.2. Diseño del circuito esquemático (28 hs)
  - 2.3. Diseño del PCB (30 hs)
  - 2.4. Fabricación y ensamblado del PCB (30 hs)
  - 2.5. Pruebas y validación del hardware (40 hs)
3. Firmware (154 hs)
  - 3.1. Desarrollo de arquitectura del firmware (16 hs)
  - 3.2. Diseño de firmware (32 hs)
  - 3.3. Análisis de riesgos de firmware (10 hs)
  - 3.4. Desarrollo de pruebas para firmware (32 hs)
  - 3.5. Programación del firmware (40 hs)
  - 3.6. Verificación y validación del firmware (24 hs)
4. Integración (157 hs)

- 4.1. Integración de los módulos constitutivos (32 hs)
- 4.2. Pruebas de sensado (30 hs)
- 4.3. Pruebas de almacenamiento de datos(30 hs)
- 4.4. Pruebas de comunicación(30 hs)
- 4.5. Corrección de errores (35 hs)
- 5. Procesos finales (104 hs)
  - 5.1. Elaboración del informe de avance (15 hs)
  - 5.2. Evaluación de requerimientos (25 hs)
  - 5.3. Elaboración de la memoria del proyecto (30 hs)
  - 5.4. Preparación de la presentación final (34 hs)

Cantidad total de horas: 603 hs

## 7. Diagrama de Activity On Node

En la Figura 2 se observa el diagrama de *Activity on Node* con los tiempos en horas de trabajo. El camino critico señalado en negro tanto en las flechas como los recuadros de actividades da un total de 345 horas de trabajo.

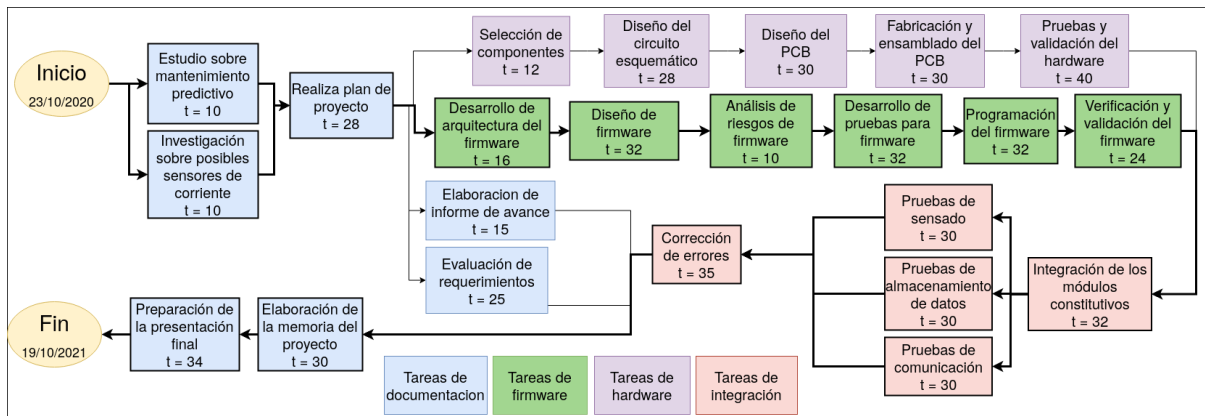


Figura 2. Diagrama en *Activity on Node*

## 8. Diagrama de Gantt

En la figura 3 se muestra el diagrama de gantt correspondiente a las tareas detalladas en el cuadro 1. Se toma un calendario con 5 días laborales por semana y se estima un trabajo de 20 horas semanales dividido en 4s horas diarias.

Tarea	Nombre	Duración	Inicio	Final	Predecesor
1	Análisis preliminar	11 días	10/23/2020	10/30/2020	
2	Estudio sobre mantenimiento predictivo	10 hs	10/23/2020	10/26/2020	
3	Investigación sobre posibles sensores de corriente	10 hs	10/23/2020	10/26/2020	
4	Realizar el plan del proyecto	28 hs	10/27/2020	10/30/2020	2, 3
5	Hardware	45.4 días	11/04/2020	12/04/2020	1
6	Selección de componentes	12 hs	11/04/2020	11/05/2020	4
7	Diseño del circuito esquemático	28 hs	11/06/2020	11/11/2020	6
8	Diseño del PCB	30 hs	11/16/2020	11/19/2020	7
9	Fabricación y ensamblado del PCB	30 hs	11/24/2020	11/27/2020	8
10	Pruebas y validación del hardware	40 hs	11/27/2020	12/04/2020	9
11	Firmware	38.5 días	11/05/2020	12/02/2020	1
12	Desarrollo de arquitectura del firmware	16 hs	11/05/2020	11/06/2020	4
13	Diseño de firmware	32 hs	11/09/2020	11/12/2020	12
14	Análisis de riesgos de firmware	10 hs	11/13/2020	11/16/2020	13
15	Desarrollo de pruebas para firmware	32 hs	11/16/2020	11/20/2020	14
16	Programación del firmware	40 hs	11/20/2020	11/27/2020	15
17	Verificación y validación del firmware	24 hs	11/27/2020	12/02/2020	16
18	Integración	24.25 días	12/04/2020	12/22/2020	5, 11
19	Integración de los módulos constitutivos	32 hs	12/04/2020	12/10/2020	10, 17
20	Pruebas de sensado	30 hs	12/10/2020	12/16/2020	19
21	Pruebas de almacenamiento de datos	30 hs	12/10/2020	12/16/2020	19
22	Pruebas de comunicación	30 hs	12/10/2020	12/16/2020	19
23	Corrección de errores	35 hs	12/16/2020	12/22/2020	20, 21, 22
24	Procesos finales	77.75 días	11/10/2020	01/01/2021	
25	Elaboración del informe de avance	15 hs	11/10/2020	11/11/2020	4
26	Evaluación de requerimientos	25 hs	11/11/2020	11/16/2020	4
27	Elaboración de la memoria del proyecto	30 hs	12/22/2020	12/28/2020	23, 25, 26
28	Preparación de la presentación final	34 hs	12/28/2020	01/01/2021	27

Cuadro 1. Tareas del diagrama de gantt

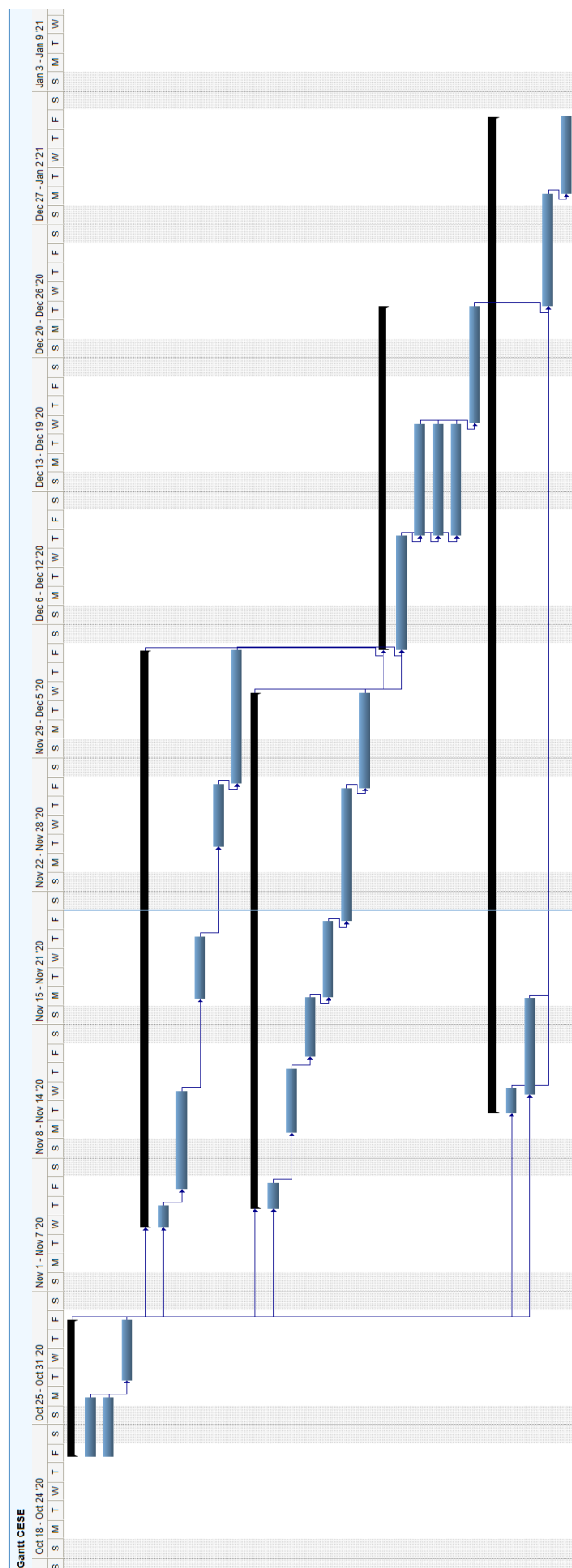


Figura 3. Diagrama de gantt

## 9. Matriz de uso de recursos de materiales

Código WBS	Nombre tarea	Recursos requeridos (horas)			
		Computadora	Soldador	Laboratorio	Prototipo
1.1	Estudio sobre mantenimiento predictivo	10			
1.2	Investigación sobre posibles sensores de corriente	10			
1.3	Realizar el plan del proyecto	28			
2.1	Selección de componentes	12			
2.2	Diseño del circuito esquemático	28			
2.3	Diseño del PCB	30			
2.4	Fabricación y ensamblado del PCB		30		
2.5	Pruebas y validación del hardware			40	
3.1	Desarrollo de arquitectura del firmware	16			
3.2	Diseño de firmware	32			
3.3	Análisis de riesgos de firmware	10			
3.4	Desarrollo de pruebas para firmware	32			
3.5	Programación del firmware				40
3.6	Verificación y validación del firmware				24
4.1	Integración de los módulos constitutivos				32
4.2	Pruebas de sensado			20	10
4.3	Pruebas de almacenamiento de datos				30
4.4	Pruebas de comunicación				30
4.5	Corrección de errores	10		10	10
5.1	Elaboración del informe de avance	15			
5.2	Evaluación de requerimientos	25			
5.3	Elaboración de la memoria del proyecto	30			
5.4	Preparación de la presentación final	34			

## 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**.

COSTOS DIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Salario ingeniero junior	573	\$ 475	\$ 272.175
Salario técnico	30	\$ 250	\$ 7.500
Materiales del prototipo	2	\$ 50.000	\$ 100.000
Fabricación de PCB	2	\$ 20.000	\$ 80.000
SUBTOTAL			\$ XX.000
COSTOS INDIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
45 % del costo directo	1	\$ XXX.000	\$ XXX.000
		\$	\$
		\$	\$
SUBTOTAL			\$ XX.000
TOTAL			\$ XX.000

## 11. Matriz de asignación de responsabilidades

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

Código WBS	Nombre de la tarea	Listar todos los nombres y roles del proyecto			
		Responsable	Orientador	Equipo	Cliente
		Ing. Santiago Esteva	Esp. Ing. Bucafusco Franco	Martín Mello Teggia	Cristian Muzzio
1.1	Estudio sobre mantenimiento predictivo	10			
1.2	Investigación sobre posibles sensores de corriente	10			
1.3	Realizar el plan del proyecto	28			
2.1	Selección de componentes	12			
2.2	Diseño del circuito esquemático	28			
2.3	Diseño del PCB	30			
2.4	Fabricación y ensamblado del PCB		30		
2.5	Pruebas y validación del hardware			40	
3.1	Desarrollo de arquitectura del firmware	16			
3.2	Diseño de firmware	32			
3.3	Análisis de riesgos de firmware	10			
3.4	Desarrollo de pruebas para firmware	32			
3.5	Programación del firmware				40
3.6	Verificación y validación del firmware				24
4.1	Integración de los módulos constitutivos				32
4.2	Pruebas de sensado			20	10
4.3	Pruebas de almacenamiento de datos				30
4.4	Pruebas de comunicación				30
4.5	Corrección de errores	10		10	10
5.1	Elaboración del informe de avance	15			
5.2	Evaluación de requerimientos	25			
5.3	Elaboración de la memoria del proyecto	30			
5.4	Preparación de la presentación final	34			

Referencias:

- P = Responsabilidad Primaria
- S = Responsabilidad Secundaria
- A = Aprobación
- I = Informado
- 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 “I”.

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, mediciones, 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.
1.1	Fecha de inicio	Única vez al comienzo	Ing. Santiago Esteva	Cristian Muzzio, Esp. Ing. Bucafusco Franco	email
2.1	Avance de las sub-tareas	Mensual mientras dure la tarea	Ing. Santiago Esteva	Cristian Muzzio, Esp. Ing. Bucafusco Franco	email

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.