



# Controlador CAN de Servomotores

Autor:

Alejandro Virgilio

Director:

Gabriel Gavinowich (FIUBA)

*Esta planificación fue realizada en el curso de Gestión de proyectos  
entre el 21 de octubre de 2021 y el 9 de diciembre de 2021.*

## 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 . . . . .	7
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 . . . . .	14
12. Presupuesto detallado del proyecto . . . . .	16
13. Gestión de riesgos . . . . .	16
14. Gestión de la calidad . . . . .	18
15. Procesos de cierre . . . . .	21

## Registros de cambios

Revisión	Detalles de los cambios realizados	Fecha
0	Creación del documento	21 de octubre de 2021
1	Se completa hasta el punto 5 inclusive	30 de octubre de 2021
2	Se completa hasta el punto 9 inclusive	7 de noviembre de 2021
3	Se completa hasta el punto 12 inclusive	16 de noviembre de 2021
4	Se completa el plan	23 de noviembre de 2021

## Acta de constitución del proyecto

Buenos Aires, 21 de octubre de 2021

Por medio de la presente se acuerda con el Ing. Alejandro Virgillo que su Trabajo Final de la Carrera de Especialización en Sistemas Embebidos se titulará “Controlador CAN de Servomotores”, consistirá esencialmente en la implementación de una interfaz que permita configurar y relevar información de servomotores conectados a través de una red CAN, y tendrá un presupuesto preliminar estimado de 600 hs de trabajo y U\$D 6890, con fecha de inicio 21 de octubre de 2021 y fecha de presentación pública 9 de octubre de 2022.

Se adjunta a esta acta la planificación inicial.

Ariel Lutenberg  
Director posgrado FIUBA

Alejandro Virgillo  
A3 Engineering

Gabriel Gavinowich  
Director del Trabajo Final

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

El proyecto busca obtener un dispositivo que permita programar y supervisar servomotores conectados dentro de una red CAN (*Controller Area Network*), así como relevar información de estos. El resultado debe ser de carácter industrial, por lo que se prioriza su robustez para poder operar en planta y debe contar con una interfaz de usuario.

La organización A3 Engineering desarrolló un sistema embebido, llamado SN-17, capaz de controlar la posición, velocidad, aceleración y torque a motores del tipo paso a paso, también conocidos como *steppers*. Actualmente, varios de estos motores, junto con las placas controladoras mencionadas, se encuentran en funcionamiento en la planta de la empresa Cambre, realizando diversos tipos de actuaciones mecánicas en líneas de manufactura.

El sistema SN-17 cuenta con un problema, que es la dificultad para alterar, de forma cómoda, el funcionamiento de los motores. El firmware debe ser modificado cada vez que se quiera realizar un cambio de este estilo, lo cual limita la operabilidad.

Dentro de este contexto es que se propone el actual proyecto. Se buscará lograr una interfaz que permita a un usuario con poco entrenamiento conectarse con los motores y modificar los parámetros de funcionamiento. Para ello, se establecerá comunicación a través de una red CAN, aprovechando que el sistema SN-17 cuenta con un puerto para este protocolo. Es necesario, entonces, diseñar un sistema de mensajería que haga que los dispositivos puedan enviar información dentro de la red, y una interfaz gráfica que permita a usuarios realizar cambios.

También se propone que el dispositivo actúe como supervisor, una vez que los motores estén en funcionamiento. Como en la mayoría de procesos industriales suelen emplearse controladores PLC (*Programmable Logic Controller*), es necesario que la solución buscada pueda interactuar con estos.

En la Figura 1 se muestra, a modo de ejemplo, un diagrama en bloques del sistema. El proyecto abarca el diseño y fabricación de la parte que aparece denominada como controlador y su interacción con los demás bloques. También notar que en el bus CAN pueden haber conectados más de 1 servomotor. Cada uno de estos tendrá una de las placas controladoras descriptas previamente.

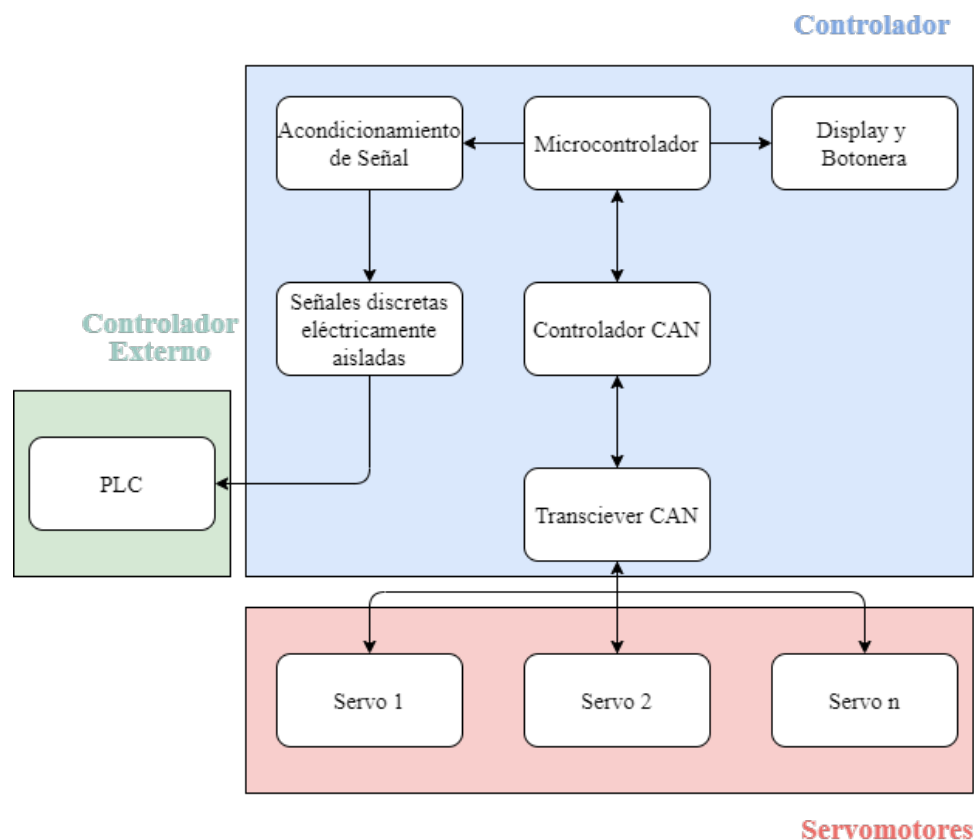


Figura 1. Diagrama en bloques del sistema

## 2. Identificación y análisis de los interesados

Rol	Nombre y Apellido	Organización	Puesto
Auspiciante	Alejandro Virgillo	A3 Engineering	Líder de proyecto
Cliente	Alejandro Virgillo	A3 Engineering	Líder de proyecto
Impulsor	Sector de automatización	Cambre	-
Responsable	Alejandro Virgillo	FIUBA	Alumno
Colaboradores	Andres Battisti	Cambre	Jefe de Automatización
Orientador	Gabriel Gavinowich	FIUBA	Director Trabajo final
Usuario final	Sector de automatización	Cambre	Técnicos
Usuario final	Sector de armado	Cambre	Operarios

Por ejemplo:

- Orientador: Gabriel Gavinowich, es especialista en sistemas embebidos y trabaja en protocolo CAN, será de gran ayuda en materias de este aspecto.
- Colaborador: Andrés Battisti, es hábil en la coordinación de proyectos. Puede colaborar con la implementación en planta.
- Usuario final: Sería de ayuda consultar a los operarios del sector de automatización para determinar temas de uso y de calidad que puedan considerar deseable. Pueden dar pautas para requerimientos que pueden ser de utilidad.

### 3. Propósito del proyecto

El propósito de este proyecto es desarrollar un sistema embebido que actúe de interfaz para configurar y supervisar servomotores conectados a una red CAN.

### 4. Alcance del proyecto

El proyecto incluye:

- Una interfaz de usuario que permite configurar y supervisar los servomotores conectados.
- La estructura de mensajes que ha de transmitirse a través del bus CAN.
- La inclusión de entradas y salidas eléctricamente aisladas para comunicación con un PLC.
- La configuración de la red CAN.
- El desarrollo y fabricación de una plaqueta que abarque al sistema.

El proyecto no incluye:

- El acceso a los datos de funcionamiento de los servomotores de forma remota o el almacenamiento de estos en una memoria.
- La asignación de IDs a los motores.
- El desarrollo de las placas controladoras de los servomotores.
- La implementación final en planta.

### 5. Supuestos del proyecto

Para el desarrollo del presente proyecto se supone que:

- El dinero disponible será suficiente para la adquisición de los materiales requeridos.
- Habrá stock de los componentes del sistema y no habrá problemas de importación.
- Las demoras para obtener los componentes no serán excesivas.
- La relación con la empresa Cambre se mantendrá durante el transcurso del proyecto.

### 6. Requerimientos

#### 1. Requerimientos de la red CAN:

- 1.1. El sistema debe comunicarse empleando el protocolo CAN. [SCI-CAN-REQ001]

- 1.2. El sistema debe poder comunicarse con todos los motores conectados a la red CAN que posean la placa controladora SN-17. [**SCI-CAN-REQ002**]
- 1.3. El sistema debe poder comunicarse con hasta 5 motores conectados a la red CAN. [**SCI-CAN-REQ003**]
- 1.4. El sistema debe enviar y recibir información a través del puerto CAN a una tasa de al menos 300 kbps. [**SCI-CAN-REQ004**]

## 2. Requerimientos de comunicación:

- 2.1. El sistema debe poder enviar programas a los servomotores de hasta 15 instrucciones de largo. [**SCI-CAN-REQ005**]
- 2.2. El sistema debe tener la capacidad de enviar cada una de las instrucciones de programa disponibles en los servomotores. Estas son: Seteo de tipo de control, verificación de señal de control, pausa de la señal de control, apagado de control, comunicación, reseteo de programa. [**SCI-CAN-REQ006**]
- 2.3. El sistema debe enviar, para cada instrucción, todos los atributos de configuración necesarios. Estos son: Selección de variable de control, seteo de variable de control, tiempo de cumplimiento de instrucción, tiempo de timeout, error permisible de la variable de control, torque máximo de motor, tipo de comunicación y mensaje. [**SCI-CAN-REQ007**]
- 2.4. El sistema debe poder modificar los parámetros de los lazos de control PID de los servomotores para los distintos tipos de control. [**SCI-CAN-REQ008**]
- 2.5. El sistema debe poder configurar el seteo de funcionalidades especiales de los motores, estas son: selección de tipo de cerado (*homing*), proceso de cerado, calibración del encoder, calibración de posiciones, forma de operatividad de las salidas discretas de los motores, verificación de detención de eje. [**SCI-CAN-REQ009**]
- 2.6. El sistema debe permitir operar los motores en forma manual, simulando las entradas y forzando las salidas discretas que cada uno de los motores conectados. [**SCI-CAN-REQ010**]
- 2.7. El sistema deberá poder activar o desactivar a cada uno de los motores conectados. [**SCI-CAN-REQ011**]
- 2.8. El sistema deberá recibir de cada motor conectado el número de programa e instrucción en que se encuentra. [**SCI-CAN-REQ012**]
- 2.9. El sistema deberá recibir de cada motor conectado un reporte de error en caso de falla. [**SCI-CAN-REQ013**]

## 3. Requerimientos de comunicación con PLC:

- 3.1. El sistema debe poder comunicarse con un controlador externo (PLC) a través de señales discretas. [**SCI-CAN-REQ014**]
- 3.2. Las señales al controlador externo deben estar eléctricamente aisladas, por lo menos a 1 kV, usando optoacopladores. [**SCI-CAN-REQ015**]
- 3.3. Las señales al controlador externo deben ser del tipo NPN. [**SCI-CAN-REQ016**]
- 3.4. Las señales al controlador externo deben poder ser a distinta tensión que la empleada por el microcontrolador, hasta 24V. [**SCI-CAN-REQ017**]
- 3.5. El sistema deberá enviar señales discretas en caso de que alguno de los motores conectados reporte un error. [**SCI-CAN-REQ018**]

## 4. Requerimientos de interfaz de usuario:



- 4.1. El sistema debe tener una pantalla LCD y una botonera. [SCI-CAN-REQ019]
- 4.2. La pantalla LCD debe permitir acceder a las variables de los motores a través de un menú y debe recorrerse usando la botonera. [SCI-CAN-REQ020]
- 4.3. El sistema debe tener un switch que permita cambiar su forma de funcionamiento, entre configurador de motores y relevador de información. [SCI-CAN-REQ021]

#### 5. Requerimientos de diseño:

- 5.1. El sistema debe emplear el microcontrolador ATSAMC21. [SCI-CAN-REQ022]
- 5.2. El sistema debe alimentarse con 24V de tensión. [SCI-CAN-REQ023]
- 5.3. El sistema debe estar encapsulado dentro de una caja plástica. [SCI-CAN-REQ024]

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

En esta sección se enuncian las historias de usuario, cada una de ellas llevará un puntaje según 3 aspectos:

- Dificultad: Cantidad de trabajo a realizar.
- Complejidad: Complejidad de trabajo a realizar.
- Riesgo: Incertidumbre del trabajo a realizar.

Se utilizará una escala siguiendo la serie de Fibonacci, donde un número mayor implica mayor costo. Si la suma de los 3 componentes no da un número de la serie, se elegirá el próximo más cercano.

1. Como operario quiero detectar la presencia de errores para reportarlo a mi supervisor.
  - D: 8.
  - C: 5.
  - R: 3.
  - Total: 21.
2. Como operario quiero una interfaz de usuario simple para evitar cometer errores.
  - D: 3.
  - C: 1.
  - R: 1.
  - Total: 5.
3. Como trabajador de mantenimiento quiero conocer los problemas de los actuadores para repararlos rápidamente.
  - D: 5.
  - C: 5.
  - R: 3.

- Total: 13.
- 4. Como desarrollador quiero controlar los actuadores para facilitar la programación.
  - D: 3.
  - C: 5.
  - R: 3.
  - Total: 13.
- 5. Como desarrollador quiero saber el estado de funcionamiento para facilitar la programación.
  - D: 8.
  - C: 5.
  - R: 3.
  - Total: 21.
- 6. Como programador de PLC quiero recibir señales del estado de actuadores para facilitar la programación.
  - D: 3.
  - C: 3.
  - R: 1.
  - Total: 8.
- 7. Como gerente de planta, quiero minimizar la cantidad de sensores para disminuir los costos.
  - D: 3.
  - C: 3.
  - R: 3.
  - Total: 13.
- 8. Como gerente de planta, quiero que los componentes de las líneas de producción sean robustos para minimizar los tiempos de parada.
  - D: 3.
  - C: 5.
  - R: 5.
  - Total: 13.
- 9. Como gerente de planta, quiero que los actuadores de las líneas reporten errores para minimizar mantenimiento.
  - D: 5.
  - C: 5.
  - R: 3.
  - Total: 13.

## 8. Entregables principales del proyecto

Los entregables del proyecto son:

- Prototipo del sistema
- Manual de uso
- Diagrama de circuitos esquemáticos
- Diagrama de PCB
- Archivos de fabricación de PCB
- Diagrama de instalación
- Planos de caja
- Informe final

## 9. Desglose del trabajo en tareas

A continuación se enumeran las tareas del proyecto y se detalla su carga horaria:

### 1. Planificación y gestión del proyecto (80 hs):

- 1.1. Realizar el plan de trabajo (20 hs).
- 1.2. Determinación de componentes (10 hs)
- 1.3. Realizar informes de avance (10 hs)
- 1.4. Confección de memoria de trabajo (30 hs)
- 1.5. Presentación y defensa de trabajo (10 hs)

### 2. Tareas de investigación (60 hs):

- 2.1. Búsqueda de soluciones similares (20 hs)
- 2.2. Estudiar protocolo CAN (20 hs)
- 2.3. Examinar prestaciones del microcontrolador (10 hs)
- 2.4. Recopilar hojas de datos de componentes y búsqueda de bibliotecas (10 hs)

### 3. Desarrollo de software (185 hs):

- 3.1. Integración de drivers y bibliotecas (15 hs)
- 3.2. Elaboración de estructura de mensajes (30 hs)
- 3.3. Programación de red CAN (20 hs)
- 3.4. Implementación de estructura de mensajes (20 hs)
- 3.5. Programación de menús (20 hs)
- 3.6. Desarrollo de aplicación (40 hs)
- 3.7. Integración de software de servomotores (40 hs)

**4. Desarrollo de Hardware (95 hs):**

- 4.1. Diseño de circuitos eléctricos (30 hs)
- 4.2. Diseño de PCB (30 hs)
- 4.3. Diseño de red CAN (20 hs)
- 4.4. Elaboración de archivos de fabricación (15 hs)

**5. Fabricación (65 hs):**

- 5.1. Compra de componentes (20 hs)
- 5.2. Fabricación de PCB (5 hs)
- 5.3. Ensamble de PCB (20 hs)
- 5.4. Diseño y fabricación de caja (20 hs)

**6. Ensayos e implementación(145 hs):**

- 6.1. Pruebas eléctricas (15 hs)
- 6.2. Ensayo de comunicación (40 hs)
- 6.3. Ensayo de interfaz de usuario (20 hs)
- 6.4. Prueba de aplicación (30 hs)
- 6.5. Optimización y búsqueda de errores (20 hs)
- 6.6. Pruebas de implementación en planta (20 hs)

**Cantidad total de horas: (630 hs)**

**10. Diagrama de Activity On Node**

La Figura 2 muestra las actividades del proyecto desglosadas en un diagrama de Activity on Node. Se puede ver la secuencia que conecta las distintas acciones. El tiempo que se muestra representa horas de trabajo.

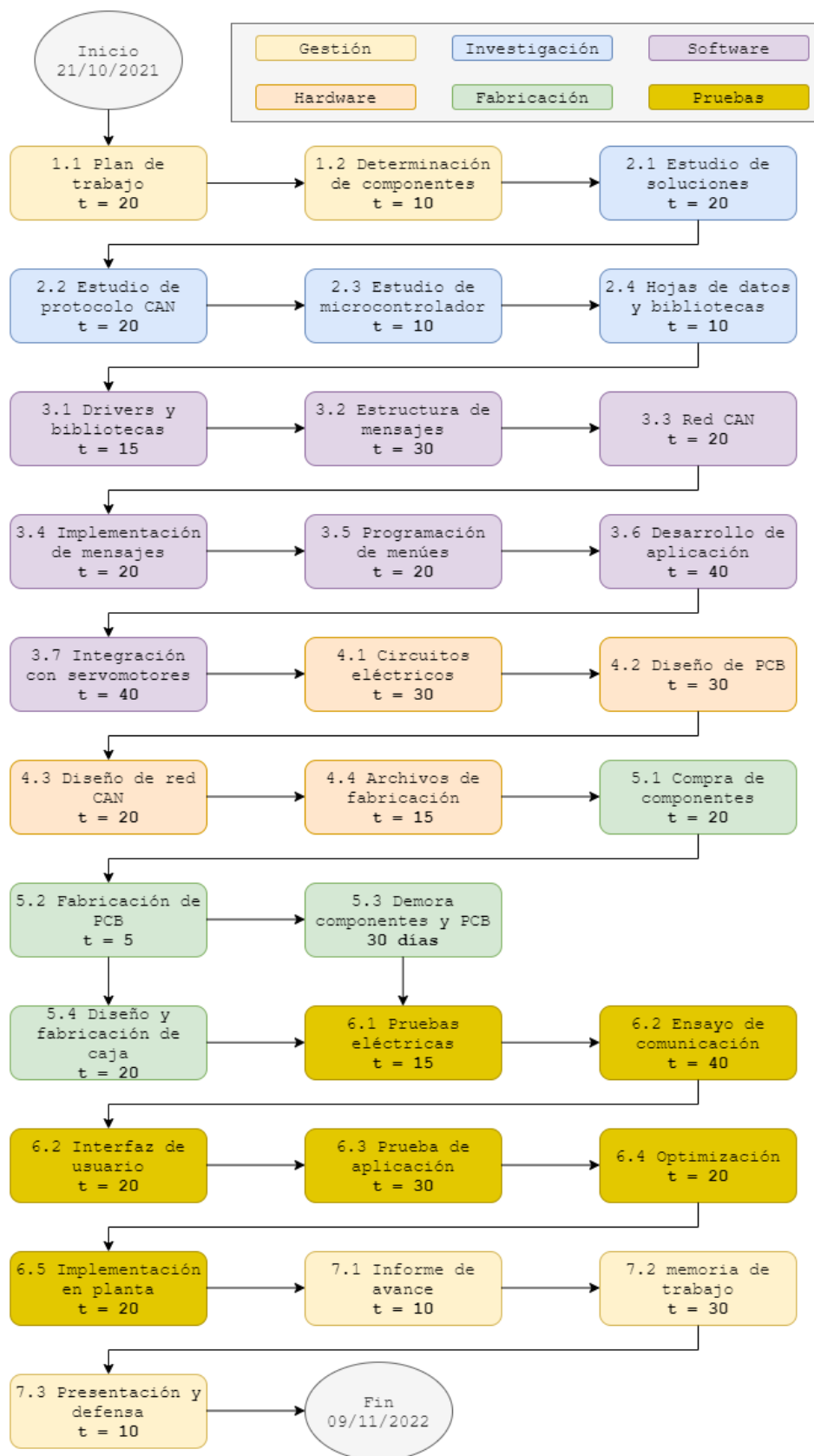


Figura 2. Diagrama en *Activity on Node*

## 11. Diagrama de Gantt

En la figura 3 se muestra el esquema de desglose de trabajo y en la figura 4, el diagrama de gantt del proyecto.

WBS	Name	Start	Finish	Work	Duration
1	<b>Planificación y Gestión</b>	oct 22	oct 15	20d	154d 3h
1.1	Plan de trabajo	oct 22	oct 30	5d	5d
1.2	Determinación de componentes	nov 2	nov 6	2d 2h	2d 2h
1.3	Realizar informes de avance	sep 17	sep 23	2d 2h	2d 2h
1.4	Confección de memoria de trabajo	sep 23	oct 11	7d 2h	7d 2h
1.5	Presentación y defensa de trabajo	oct 11	oct 15	2d 2h	2d 2h
2	<b>Tareas de Investigación</b>	nov 6	dic 11	15d	15d
2.1	Búsqueda de soluciones similares	nov 6	nov 19	5d	5d
2.2	Estudiar protocolo CAN	nov 19	nov 30	5d	5d
2.3	Examinar prestaciones del microcontrolador	nov 30	dic 4	2d 2h	2d 2h
2.4	Recopilar hojas de datos de componentes y bibliotecas	dic 7	dic 11	2d 2h	2d 2h
3	<b>Desarrollo de software</b>	dic 11	mar 29	46d 1h	46d 1h
3.1	Integración de drivers y bibliotecas	dic 11	dic 21	3d 3h	3d 3h
3.2	Elaboración de estructura de mensajes	dic 21	ene 7	7d 2h	7d 2h
3.3	Programación de red CAN	ene 7	ene 18	5d	5d
3.4	Implementación de estructura de mensajes	ene 18	ene 29	5d	5d
3.5	Programación de menús	ene 29	feb 11	5d	5d
3.6	Desarrollo de aplicación	feb 11	mar 5	10d	10d
3.7	Integración de software de servomotores	mar 5	mar 29	10d	10d
4	<b>Desarrollo de Hardware</b>	mar 29	may 17	21d	21d
4.1	Diseño de circuitos eléctricos	mar 29	abr 16	7d 2h	7d 2h
4.2	Diseño de PCB	abr 16	may 3	7d 2h	7d 2h
4.3	Diseño de red CAN	may 3	may 14	5d	5d
4.4	Elaboración de archivos de fabricación	may 14	may 17	1d	1d
5	<b>Fabricación</b>	may 17	jun 24	16d 1h	16d 1h
5.1	Compra de componentes	may 17	may 28	5d	5d
5.2	Fabricación de PCB	may 28	may 31	1d 1h	1d 1h
5.3	Ensamble de PCB	jun 3	jun 11	5d	5d
5.4	Diseño y fabricación de caja	jun 14	jun 24	5d	5d
6	<b>Ensayos e implementación</b>	jun 25	sep 17	36d 1h	36d 1h
6.1	Pruebas eléctricas	jun 25	jul 2	3d 3h	3d 3h
6.2	Ensayo de comunicación	jul 2	jul 26	10d	10d
6.3	Ensayo de interfaz de usuario	jul 26	ago 6	5d	5d
6.4	Prueba de aplicación	ago 6	ago 26	7d 2h	7d 2h
6.5	Optimización y búsqueda de errores	ago 26	sep 6	5d	5d
6.6	Implementación en planta	sep 6	sep 17	5d	5d

Figura 3. Desglose de trabajo

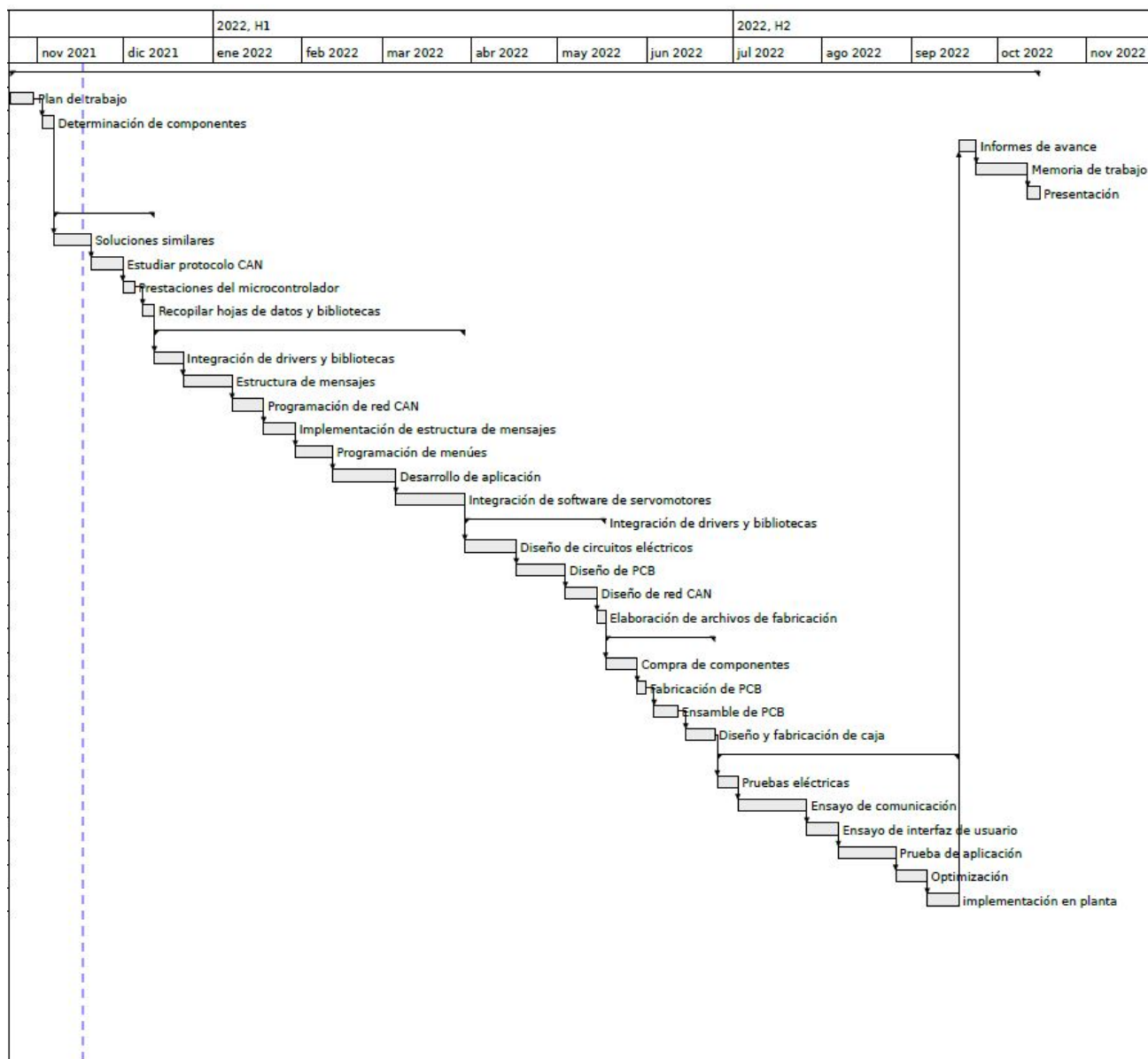


Figura 4. Diagrama de Gantt

## 12. Presupuesto detallado del proyecto

En el cuadro 1 se detallan los costos del proyecto. Se aclara que la cotización del dólar estadounidense (USD) a día de la fecha (23 de noviembre de 2021) es 100.79 AR\$ (pesos argentinos)

COSTOS DIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Horas de ingeniería	630	8 USD	5040 USD
Dispositivos de testing	1	250 USD	250 USD
Componentes electrónicos	1	300 USD	300 USD
Placas PCB	1	150 USD	150 USD
Servomotores	4	100 USD	400 USD
Fabricación de caja	1	50 USD	50 USD
SUBTOTAL			6190 USD
COSTOS INDIRECTOS			
Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Horas de administración	50	5 USD	250 USD
Horas de uso de PC	680	0.5 USD	340 USD
Horas de uso de máquinas	40	2 USD	80 USD
SUBTOTAL			670 USD
TOTAL			6890 USD

Cuadro 1. Costos del proyecto

## 13. Gestión de riesgos

a) Riesgos identificados:

Riesgo 1: No habrá stock de los componentes necesarios.

- Severidad (S): 8. Sin los componentes no se podrá ensayar ni finalizar el proyecto.
- Probabilidad de ocurrencia (O): 7. Actualmente, existe una escasez general de componentes electrónicos por motivo de la pandemia Covid-19.

Riesgo 2: El fabricante de PCBs tendrá demoras excesivas o problemas con la fabricación.

- Severidad (S): 6. Sin la placa, solo se podrá hacer un prototipo provisorio empleando placas de desarrollo. No podrá completarse el proyecto en tiempo de forma satisfactoria
- Ocurrencia (O): 2. Hay varios fabricantes, y con los que se trabajó previamente nunca hubo inconvenientes.

Riesgo 3: Se producirá un nuevo cierre general de actividades debido a la actual pandemia de Covid-19.

- Severidad (S): 8. El cierre impediría la obtención de componentes en tiempo, así como la posibilidad de realizar tests e implementaciones.



- Ocurrencia (O): 4. La situación de la pandemia parece haberse estabilizado en los últimos meses.

Riesgo 4: Se perderá la relación actual con la empresa Cambre.

- Severidad (S): 5. Se complicaría realizar testeos en planta, así como algunas facilidades para la obtención de los componentes.
- Ocurrencia (O): 2. Actualmente, la relación es muy buena.

Riesgo 5: Aparecerán trabas políticas en materia aduanera, o complicaciones económicas en Argentina.

- Severidad (S): 7. Se dificultaría conseguir los componentes y las PCB.
- Ocurrencia (O): 3. Sería muy inusual que ocurriera un cambio tan repentino a nivel político.

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

Riesgo	Severidad	Ocurrencia	RPN	Severidad*	Ocurrencia*	RPN*
1	8	7	56	6	4	24
2	6	2	12	-	-	
3	8	4	32	6	3	18
4	5	2	10	-	-	
5	7	3	21	-	-	

Criterio adoptado: Se tomarán medidas de mitigación en los riesgos cuyos números de RPN sean mayores a 30.

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 buscará determinar lo antes posible los componentes a usar y encargarlos de inmediato.

- Severidad (S): 6. La severidad es menor ya que el problema se afrontaría antes, permitiendo no atrasarse o seleccionar otros componentes similares y diseñar a partir de estos.
- Probabilidad de ocurrencia (O): 4. Si bien puede que no haya stock, se tendrá un mayor margen de tiempo en el cual se pueden conseguir los componentes.

Riesgo 3: Similar al plan del Riesgo 1, se buscará determinar los componentes lo antes posible y encargarlos.

- Severidad (S): 6. Teniendo los componentes en mano, el proyecto tiene menos retrasos debido a un cierre.
- Probabilidad de ocurrencia (O): 3. La posibilidad de que ocurra un cierre se mantiene igual, pero la posibilidad de no tener los componentes disminuye.

## 14. Gestión de la calidad

Para cada uno de los requerimientos del proyecto se enuncia el procedimiento de verificación y validación:

- **[SCI-CAN-REQ001]** El sistema debe comunicarse empleando el protocolo CAN.
  - Verificación: Se comprobará en un laboratorio que la señal cumpla lo estipulado por el protocolo.
  - Validación: Se conectará a un motor y se enviará un mensaje CAN.
- **[SCI-CAN-REQ002]** El sistema debe poder comunicarse con todos los motores conectados a la red CAN que posean la placa controladora SN-17.
  - Verificación: Se verá que el ID del mensaje sea el que corresponde y los filtros y máscaras actúen correctamente.
  - Validación: Se conectarán varios motores y se enviarán mensajes a cada uno.
- **[SCI-CAN-REQ003]** El sistema debe poder comunicarse con hasta 5 motores conectados a la red CAN.
  - Verificación: Se verá que el ID del mensaje sea el que corresponde y los filtros y máscaras actúen correctamente.
  - Validación: Se conectarán varios motores y se enviarán mensajes a cada uno.
- **[SCI-CAN-REQ004]** El sistema debe enviar y recibir información a través del puerto CAN a una tasa de al menos 300 kbps.
  - Verificación: Se comprobará en un laboratorio que se cumplan los tiempos de señal.
  - Validación: Se conectará un motor y se enviarán mensajes a la tasa estipulada.
- **[SCI-CAN-REQ005]** El sistema debe poder enviar programas a los servomotores de hasta 15 instrucciones de largo.
  - Verificación: Se verá que el mensaje pueda indicar correctamente el número de instrucción con 4 bits.
  - Validación: Se enviará a un motor un programa con 15 instrucciones.
- **[SCI-CAN-REQ006]** El sistema debe tener la capacidad de enviar cada una de las instrucciones de programa disponibles en los servomotores. Estas son: seteo de tipo de control, verificación de señal de control, pausa de la señal de control, apagado de control, comunicación, reseteo de programa.
  - Verificación: Se verá que el mensaje pueda indicar correctamente la instrucción.
  - Validación: Se enviará a un motor cada una de las instrucciones.
- **[SCI-CAN-REQ007]** El sistema debe enviar, para cada instrucción, todos los atributos de configuración necesarios. Estos son: selección de variable de control, seteo de variable de control, tiempo de cumplimiento de instrucción, tiempo de timeout, error permisible de la variable de control, torque máximo de motor, tipo de comunicación y mensaje.
  - Verificación: Se verá que el mensaje pueda indicar correctamente la instrucción.
  - Validación: Se enviará a un motor cada una de las instrucciones.

- **[SCI-CAN-REQ008]** El sistema debe poder modificar los parámetros de los lazos de control PID de los servomotores para los distintos tipos de control.
  - Verificación: Se verá que el mensaje pueda indicar correctamente la configuración.
  - Validación: Se enviará a un motor cada una de las configuraciones.
- **[SCI-CAN-REQ009]** El sistema debe poder configurar el seteo de funcionalidades especiales de los motores, estas son: selección de tipo de cerado (*homing*), proceso de cerado, calibración del encoder, calibración de posiciones, forma de operatividad de las salidas discretas de los motores, verificación de detención de eje.
  - Verificación: Se verá que el mensaje pueda indicar correctamente la funcionalidad.
  - Validación: Se enviará a un motor cada una de las funcionalidades.
- **[SCI-CAN-REQ010]** El sistema debe permitir operar los motores en forma manual, simulando las entradas y forzando las salidas discretas que cada uno de los motores conectados.
  - Verificación: Se verá que el mensaje pueda indicar correctamente la IO a operar.
  - Validación: Se enviará a un motor cada una de las IO.
- **[SCI-CAN-REQ011]** El sistema deberá poder activar o desactivar a cada uno de los motores conectados.
  - Verificación: Se verá que el mensaje pueda indicar correctamente el motor a activar/desactivar.
  - Validación: Se enviará a varios motores conectados una señal de activado y desactivado.
- **[SCI-CAN-REQ012]** El sistema deberá recibir de cada motor conectado el número de programa e instrucción en que se encuentra.
  - Verificación: Se verá que el mensaje pueda indicar el número de programa e instrucción
  - Validación: Se conectará un motor en funcionamiento y se comprobará el estado de este a través de la pantalla.
- **[SCI-CAN-REQ013]** El sistema deberá recibir de cada motor conectado un reporte de error en caso de falla.
  - Verificación: Se verá que el mensaje pueda indicar correctamente el error.
  - Validación: Se conectará un motor en funcionamiento y se comprobará el estado de error a través de la pantalla.
- **[SCI-CAN-REQ014]** El sistema debe poder comunicarse con un controlador externo (PLC) a través de señales discretas.
  - Verificación: Se verá en un laboratorio que el sistema pueda recibir y enviar señales discretas.
  - Validación: Se conectará un PLC que enviará señales discretas y se comprobará el funcionamiento a través de la pantalla.
- **[SCI-CAN-REQ015]** Las señales al controlador externo deben estar eléctricamente aisladas, por lo menos a 1 kV, usando optoacopladores.

- Verificación: Se verá el datasheet de los optoacopladores empleados y se comprobarán las distancias de aislación eléctrica en la PCB.
- Validación: Se hará un ensayo de sobretensión en el sistema.
- **[SCI-CAN-REQ016]** Las señales al controlador externo deben ser del tipo NPN.
  - Verificación: Se comprobarán los esquemáticos de los PCB y los componentes seleccionados.
  - Validación: Se hará una demostración con instrumentos de medición del tipo de salida.
- **[SCI-CAN-REQ017]** Las señales al controlador externo deben poder ser a distinta tensión que la empleada por el microcontrolador, hasta 24V.
  - Verificación: Se comprobarán los esquemáticos de los PCB y los componentes seleccionados.
  - Validación: Se conectará un PLC que trabaje a 24V y se enviarán señales que comprueben el funcionamiento.
- **[SCI-CAN-REQ018]** El sistema deberá enviar señales discretas en caso de que alguno de los motores conectados reporte un error.
  - Verificación: Se verá en el código que se cumpla la funcionalidad requerida.
  - Validación: Se conectará un motor y un PLC y se forzará una situación de error.
- **[SCI-CAN-REQ019]** El sistema debe tener una pantalla LCD y una botonera.
  - Verificación: Se comprobarán los componentes empleados.
  - Validación: Se comprobará la conformación del sistema.
- **[SCI-CAN-REQ020]** La pantalla LCD debe permitir acceder a las variables de los motores a través de un menú y debe recorrerse usando la botonera.
  - Verificación: Se comprobará el código del sistema.
  - Validación: Se realizará una prueba de funcionamiento.
- **[SCI-CAN-REQ021]** El sistema debe tener un switch que permita cambiar su forma de funcionamiento, entre configurador de motores y relevador de información.
  - Verificación: Se comprobará el código del sistema.
  - Validación: Se realizará una prueba de funcionamiento.
- **[SCI-CAN-REQ022]** El sistema debe emplear el microcontrolador ATSAMC21.
  - Verificación: Se comprobará el uso del componente.
  - Validación: Se comprobará el uso del componente.
- **[SCI-CAN-REQ023]** El sistema debe alimentarse con 24V de tensión.
  - Verificación: Se comprobarán los esquemáticos y los componentes elegidos.
  - Validación: Se conectará el sistema a 24V y se verá su funcionamiento.
- **[SCI-CAN-REQ024]** El sistema debe estar encapsulado dentro de una caja plástica.
  - Verificación: Se comprobarán los dibujos y planos mecánicos del sistema.
  - Validación: Se verá la presentación del sistema.

## 15. Procesos de cierre

A continuación se enuncian cuáles serán las actividades de cierre del proyecto y quien será el encargado de su organización:

- Reunión de evaluación de proyecto: A realizar con Gabriel Gavinowich, director del trabajo. Se estudiará en que medida se respetó el plan de proyecto original, comparando con los resultados obtenidos. También se evaluarán las técnicas empleadas y se las distinguirá entre eficientes e ineficientes, según si ayudaron a que el proyecto se realice en tiempo y cumpliendo las pautas de calidad y riesgo. Se escribirá un documento que detalle las conclusiones de dicha reunión, como referencia para proyectos futuros. (Encargado: Alejandro Virgillo)
- Reunión de agradecimiento: A realizar con Gabriel Gavinowich, director del trabajo y los colaboradores de Cambre, que ayuden en la implementación en planta. (Encargado: Alejandro Virgillo)