

# **Diseño e implementación de un controlador basado en aprendizaje reforzado sobre una planta de control automático**

---

SIPLab-TEC

Jorge Andrés Brenes Alfaro.

# Agenda

---

**01**

---

**Entorno del  
proyecto**

**02**

---

**Definición del  
Problema**

**03**

---

**Enfoque de la  
solución**

**04**

---

**Meta y  
Objetivos**

**05**

---

**Actividades y  
Cronograma**

**06**

---

**Recursos y  
presupuesto**



# **01** | Entorno del proyecto





# TEC



# 02

## Definición del problema

- Generalidades.
- Síntesis del problema.



## ➤ Generalidades

---

- Gran parte de la industria se encuentra automatizada.
- Proceso descrito por un modelo de ecuaciones regido por una variable de estado dependiente del tiempo.
- La dinámica del sistema puede ser compleja.



## ➤ Generalidades

---

- Mayoría de sistemas dinámicos son no lineales.
- Dificultades de control de sistemas dinámicos complejos.
- Control clásico bueno cuando el sistema es linealizabile en el punto de operación
- Sistemas de control clásico no pueden manejar la no linealidad de los sistemas.



## ➤ Síntesis

---

En el SIPLab se desconoce una técnica innovadora que ayude a controlar una planta prototipo no lineal en todo su punto de operación.



# 03

## Enfoque de la solución

- Alternativas de solución.
- Selección de la solución.



## ➤ Alternativas de Solución

---



1. Uso de control adaptativo

3. Controlador basado en aprendizaje reforzado aplicado directamente sobre la planta

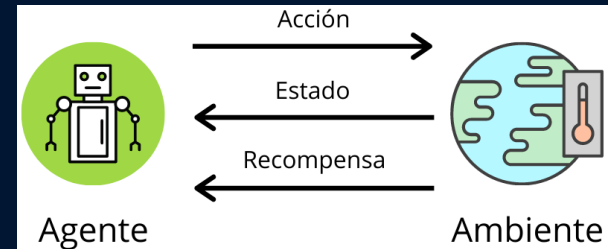
---

2. Uso de 2 redes neuronales: red mimetizadora y controlador basado en aprendizaje reforzado.

# Alternativa 2

## 2. Uso de 2 redes neuronales: red mimetizadora y controlador basado en aprendizaje reforzado.

- Capacidad de aproximación, adaptabilidad tolerancia a fallos.
- Redes neuronales son una alternativa para modelado de sistemas no lineales.
- Aprendizaje reforzado ofrecen el desarrollar controladores óptimos de sistemas no lineales.
- Aplicado en resolver juegos de Atari.



# Selección de Solución

- Aprovecha el uso de redes neuronales artificiales.
- Uso de diferentes entradas sin afectar la planta.
- Proceso más rápido.
- Mejor tiempo de desarrollo.
- Adaptabilidad.

Criterios	Peso	Concepto		
		Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Capacidad de controlar la planta	5	=	0	0
Costo	4,5	=	+1	-1
Seguridad de la planta	4	=	0	-1
Tiempo de desarrollo	3,5	=	+1	+1
Expresividad del método	3	=	+1	+1
Ajuste de parámetros	2,5	=	-1	-1
Tiempo de entrenamiento	2	=	-1	-1
Preparación de datos	1,5	=	-1	-1
Innovación	1	=	+1	+1
Sumatoria General		0	6	-7
Ranking		2°	1°	3°



# 04

## Metas y Objetivos

- Meta.
- Objetivo General.
- Objetivos Específicos.
- Indicadores.



## ➤ Meta

---

Controlar exitosamente la planta prototipo utilizando aprendizaje reforzado. Estabilizando el sistema en un rango de tiempo, con un sobreimpulso inferior al 5 %, con cero error de estado estacionario y la eliminación de perturbaciones de entrada o salida a la planta.

## ➤ **Objetivo General**

---

Desarrollar e implementar un sistema de control para una planta prototipo mediante el uso de aprendizaje reforzado.

## **Indicador**

---

Control de la planta prototipo mediante el uso de aprendizaje reforzado con capacidad de estabilizar el sistema en un determinado rango de tiempo que se acerque al control clásico, con un sobreimpulso inferior al 5 %, con cero error de estado estacionario y la eliminación de perturbaciones de entrada o salida a la planta.

# Objetivos Específicos

---

1. Determinar el acople del sistema embebido de altas prestaciones al lazo de control.

**Indicador:** Muestras de funcionamiento del sistema en conjunto con la planta prototipo.

2. Preparar un conjunto de datos para el entrenamiento de una red neuronal artificial.

**Indicador:** La base de datos debe contener millones de muestras en el tiempo para que la red neuronal tenga la suficiente información para entrenar el modelo.



# Objetivos Específicos

---

3. Implementar una red neuronal artificial que mimetice el comportamiento del sujeto de estudio.

**Indicador:** La respuesta entregada por la red neuronal debe aproximarse a la planta, de forma que los valores no excedan de un error del 10 %.

# Objetivos Específicos

---

4. Diseñar un sistema capaz de realizar la labor de control de la planta prototipo, a través de la implementación de aprendizaje reforzado.

**Indicador:** Mediante métricas de desempeño y simulaciones se comprueba la eficacia del sistema diseñado para el control de la planta. Teniendo la capacidad de estabilizar el sistema, con un sobreimpulso inferior al 5 %, con cero error de estado estacionario y la eliminación de perturbaciones de entrada o salida a la planta.



**05**

**Actividades  
y  
Cronograma**



# Actividades para la ejecución del proyecto

---

Objetivo	Actividad	Tiempo (días)	Requisito
1. Determinar el acople del sistema embebido de altas prestaciones al lazo de control.	1.1 Definición de la planta prototipo de control automático.	1	-
	1.2 Investigar y definir la tarjeta de desarrollo a utilizar.	3	-
	1.3 Determinar cómo recibir los datos de entrada provenientes de los sensores.	3	1.1 y 1.2
	1.4 Determinar cómo transmitir los datos de salida al lazo de control.	2	1.1 y 1.2



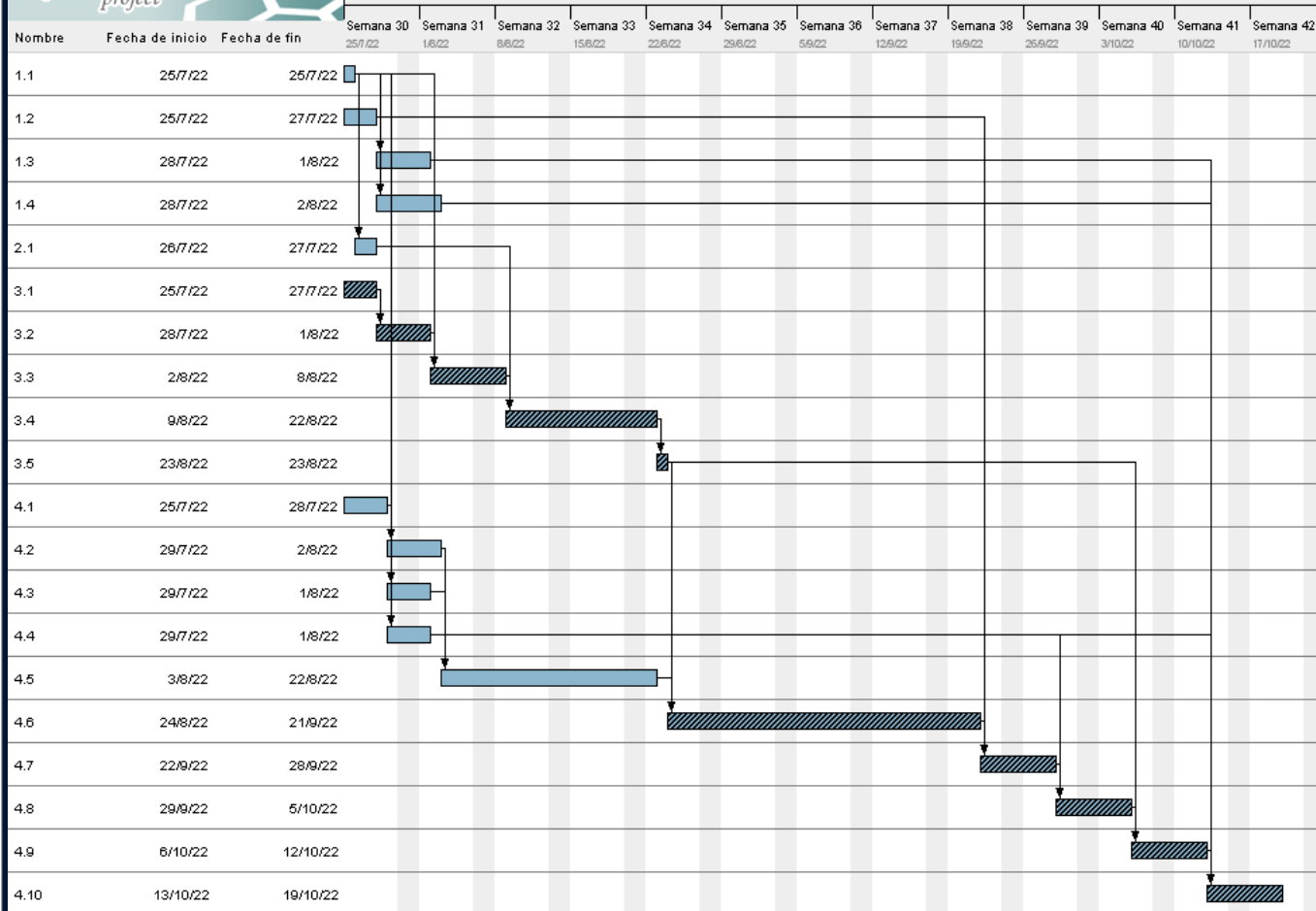
Objetivo	Actividad	Tiempo (días)	Requisito
2. Preparar un conjunto de datos para el entrenamiento de una red neuronal artificial	2.1 Recopilar datos de entrada y salida de la planta prototipo al introducir señales de entrada aleatorias y determinísticas.	2	1.1

Objetivo	Actividad	Tiempo (días)	Requisito
3. Implementar una red neuronal artificial que mimetice el comportamiento de la planta.	3.1 Revisar el estado del arte sobre redes neuronales que aprendan el comportamiento de sistemas dinámicos.	3	-
	3.2 Determinar el modelo a utilizar para la RNA.	3	3.1
	3.3 Implementar un algoritmo de aprendizaje automático que mimetice el comportamiento de la planta.	5	1.1 y 3.2
	3.4 Entrenar el modelo que mimetiza el comportamiento de la planta	10	2.1 y 3.3
	3.5 Evaluar el desempeño de la RNA mediante el porcentaje de error de los datos de salida resultantes de la RNA contra la planta.	1	3.4

Objetivo	Actividad	Tiempo (días)	Requisito
4. Diseñar un sistema capaz de realizar la labor de control de la planta prototipo, a través de la implementación de aprendizaje reforzado.	4.1 Investigación del estado del arte sobre el uso del aprendizaje reforzado para el control de sistemas dinámicos.	4	-
	4.2 Determinar el método de aprendizaje reforzado a utilizar.	3	4.1
	4.3 Determinar las métricas de desempeño para evaluar el algoritmo basado en aprendizaje reforzado.	2	4.1
	4.4 Determinar las métricas de evaluación de control automático para evaluar el controlador.	2	1.1 y 4.1
	4.5 Desarrollar el algoritmo del controlador basado en aprendizaje reforzado mediante Python.	14	4.2 y 4.3

Objetivo	Actividad	Tiempo (días)	Requisito
4. Diseñar un sistema capaz de realizar la labor de control de la planta prototipo, a través de la implementación de aprendizaje reforzado.	4.6 Entrenar el controlador basado en aprendizaje reforzado.	21	3.5 y 4.5
	4.7 Implementar el controlador basado en aprendizaje reforzado en la tarjeta de desarrollo.	5	1.2 y 4.6
	4.8 Verificar que el controlador se ejecute correctamente en la tarjeta de desarrollo.	5	4.4 y 4.7
	4.9 Ejecutar y evaluar el controlador sobre el modelo mimetizado.	5	3.5, 4.4 y 4.8
	4.10 Ejecutar y evaluar el controlador sobre la planta prototipo.	5	1.3, 1.4, 4.4 y 4.9





# Cronograma



**06**

# **Uso de Recursos y Presupuesto**



# Uso de Recursos

---

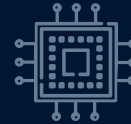
- Planta prototipo de control automático.



- Computadora y accesorios



- Tarjeta de desarrollo NVIDIA Jetson TX2.



- Internet.

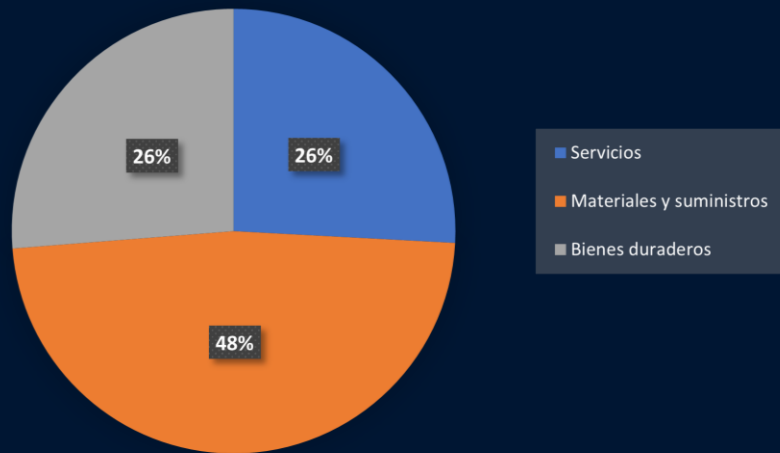


- Tiempo de cómputo



# Presupuesto

## Distribución del presupuesto del proyecto



- Inversión y rentabilidad son factores importantes.
- Precio del dólar (\$) en ₡ 680, precio de venta del BCCR.
- Se estima el presupuesto en 3 categorías

# Especie aportado por la empresa y monto solicitado

Especie aportado por la empresa y monto solicitado								
Rubro	Unidad de medida	Costo por unidad de medida	Cantidad	Servicios	Materiales y suministros	Bienes duraderos	Total	Aporte en especie por la empresa
Beca deportiva	Semestral	₡ 205 950,00	1					₡ 205 950,00
Servicios básicos	Semana	₡ 20 000,00	16	₡ 320 000,00			₡ 320 000,00	
Materiales de oficina	Semana	₡ 1 000,00	16		₡ 16 000,00		₡ 16 000,00	
Unidad de cómputo	Unidad	₡ 816 000,00	1					₡ 816 000,00
Planta prototipo de control	Unidad	₡ 154 168,40	1					₡ 154 168,40
Tarjeta de desarrollo	Unidad	₡ 611 313,20	1			₡ 611 313,20	₡ 611 313,20	
Tiempo de computo (Google Cloud)	Mes	₡ 70 491,37	4	₡ 281 965,48			₡ 281 965,48	
Consumibles del proyecto	Semanas	₡ 25 000,00	16		₡ 400 000,00		₡ 400 000,00	
Varios	Unidad	₡ 700 000,00	1		₡ 700 000,00		₡ 700 000,00	
Total				₡ 601 965,48	₡ 1 116 000,00	₡ 611 313,20	₡ 2 329 278,68	₡ 970 168,40



# Aporte mensual por la empresa

Aporte mensual por la empresa					
Rubro	1 Mes	2 Mes	3 Mes	4 Mes	Total
Beca deportiva	₡ 205 950,00	₡ -	₡ -	₡ -	₡ 205 950,00
Servicios básicos	₡ 80 000,00	₡ 80 000,00	₡ 80 000,00	₡ 80 000,00	₡ 320 000,00
Materiales de oficina	₡ 4 000,00	₡ 4 000,00	₡ 4 000,00	₡ 4 000,00	₡ 16 000,00
					₡ -
Tarjeta de desarrollo	₡ 611 313,20	₡ -	₡ -	₡ -	₡ 611 313,20
Tiempo de computo	₡ 70 491,37	₡ 70 491,37	₡ 70 491,37	₡ 70 491,37	₡ 281 965,48
Consumibles del proyecto	₡ 100 000,00	₡ 100 000,00	₡ 100 000,00	₡ 100 000,00	₡ 400 000,00
Varios	₡ 700 000,00	₡ -	₡ -	₡ -	₡ 700 000,00
Total	₡ 1 565 804,57	₡ 254 491,37	₡ 254 491,37	₡ 254 491,37	₡ 2 329 278,68



**¡GRACIAS!**