



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN

### TEMA:

SISTEMA DE CONTROL EN CASCADA DE LA VARIABLE NIVEL  
PARA EL APRENDIZAJE DE CONTROL DE PROCESOS

**AUTORES:** MAURICIO ROSERO H.  
RAI POGO M.

**DIRECTOR:** ING. EDWIN PRUNA



# OBJETIVOS

## **Objetivo general:**

Desarrollar un sistema de control en cascada didáctico, utilizando la realidad virtual y dispositivos de inmersión e interacción, para el aprendizaje del control de procesos

# OBJETIVOS

## Objetivos específicos:

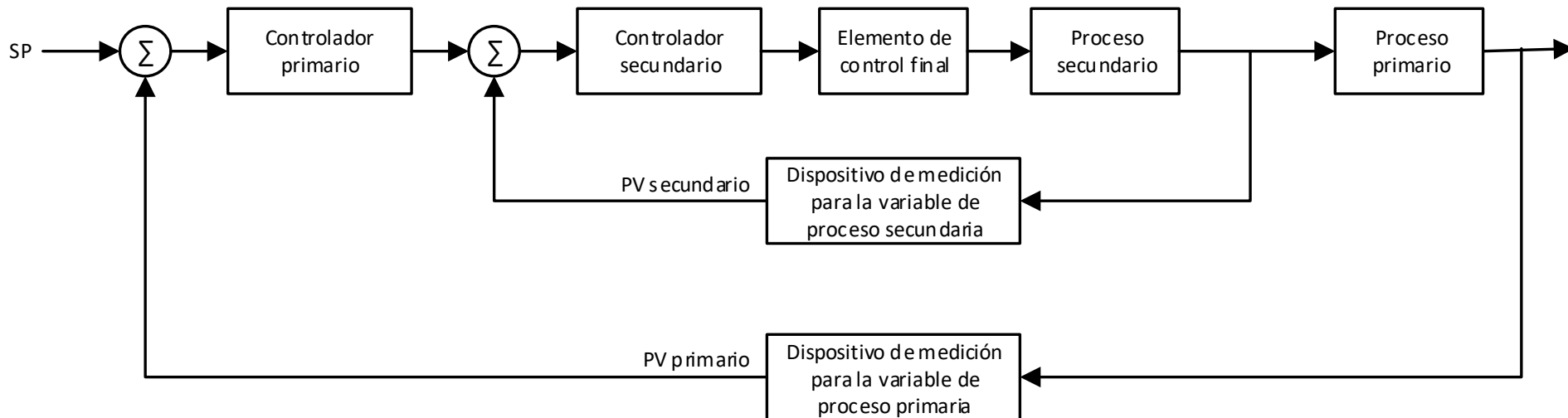
- Investigar acerca de la técnica de control en cascada para la regulación de la variable nivel y sobre la realidad virtual aplicada a la educación en ingeniería.
- Implementar el control en cascada para la regulación de la variable nivel y un HMI para el control y visualización de las variables relevantes del proceso.
- Diseñar un entorno virtual utilizando Unity3D que conste de la planta para el control de nivel y un HMI para el control y visualización de las variables del proceso.
- Emular el control del sistema en el entorno virtual utilizando los datos de las variables del proceso.
- Realizar pruebas funcionales del sistema, evaluar su desempeño y analizar los resultados obtenidos.



# CONCEPTOS PRELIMINARES

## CONTROL EN CASCADA

- ✓ Rendimiento
- ✓ Criterio de diseño
- ✓ Sintonía
- ✓ Limitaciones



# CONCEPTOS PRELIMINARES

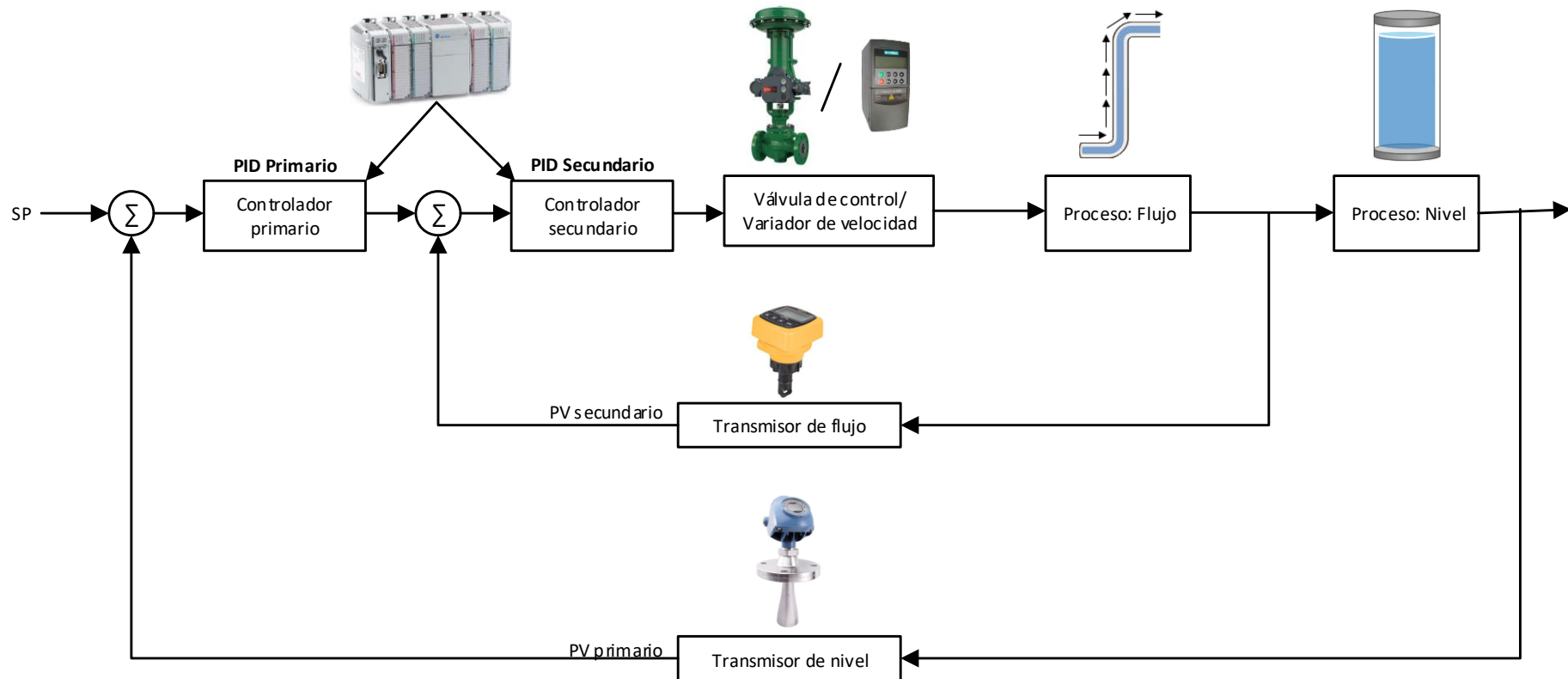
## REALIDAD VIRTUAL



# DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

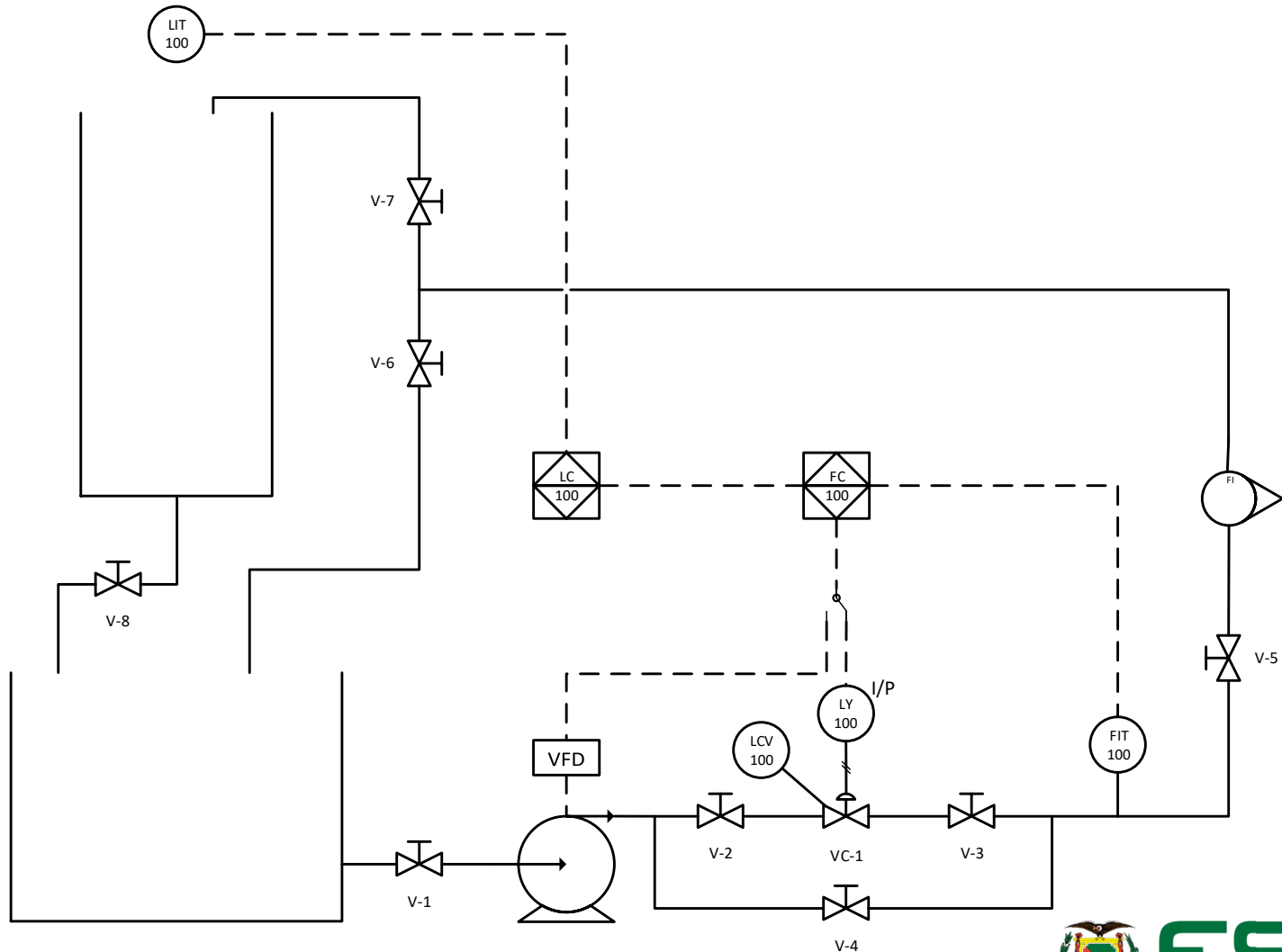
## Control en cascada

- ✓ Rendimiento
- ✓ Criterio de diseño
- ✓ Sintonía
- ✓ Limitaciones



# DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

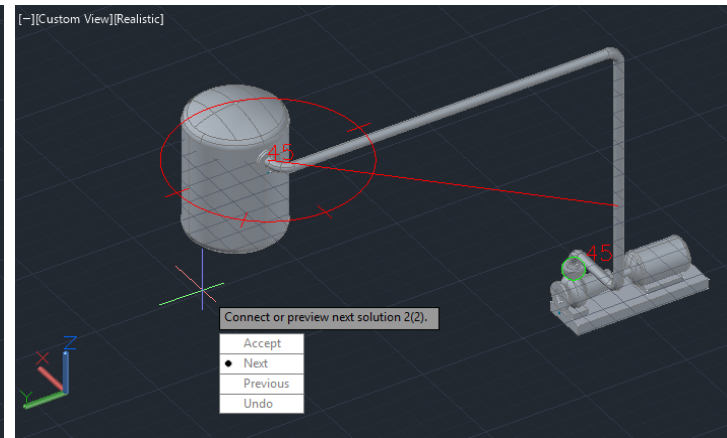
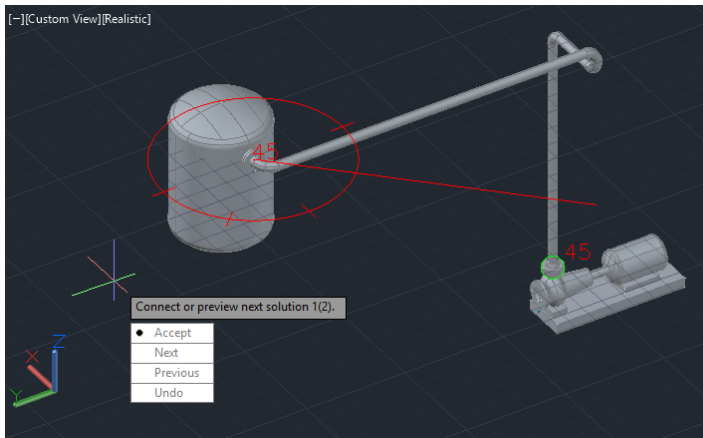
## Control en cascada



# DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

## Realidad virtual

### Software CAD

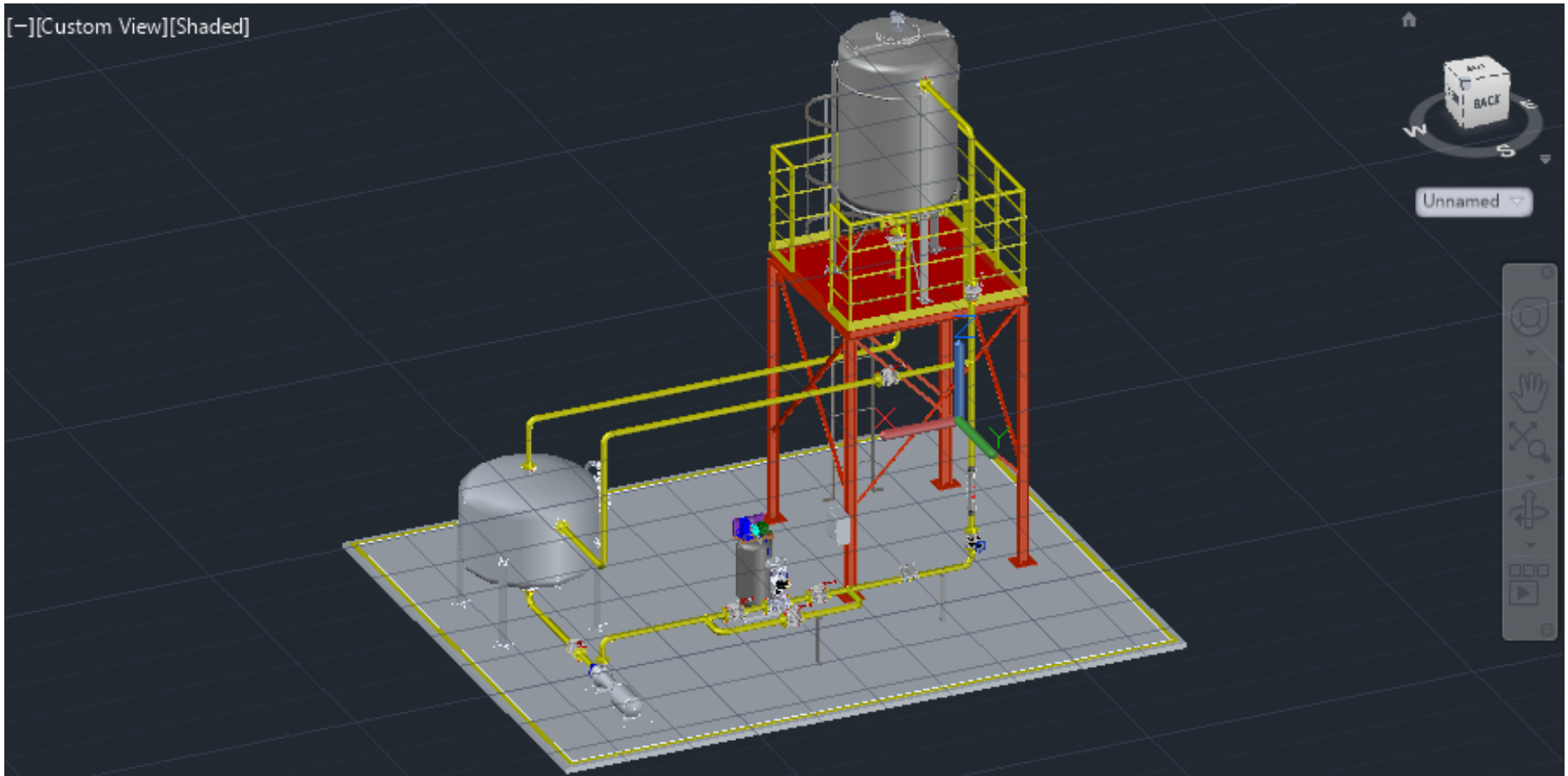




# DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

## Realidad virtual

### Software CAD



# DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

## Realidad virtual

Unity3D

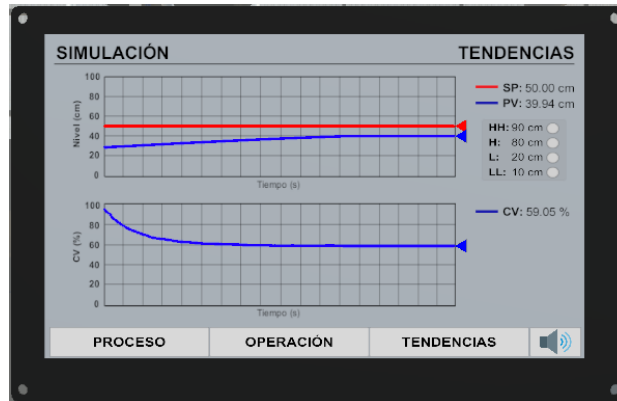
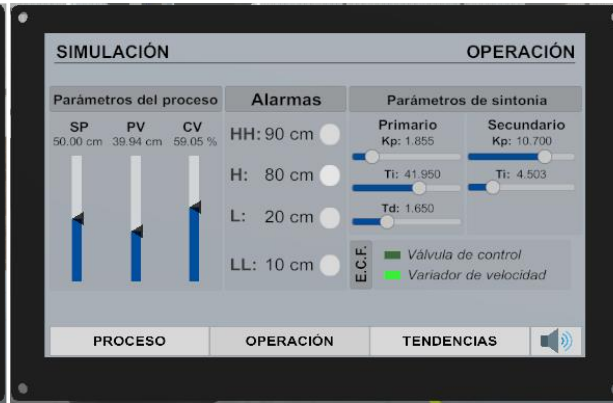
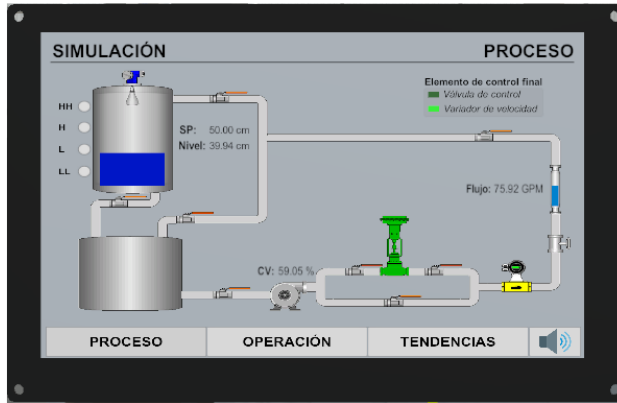


**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

## Realidad virtual

Unity3D

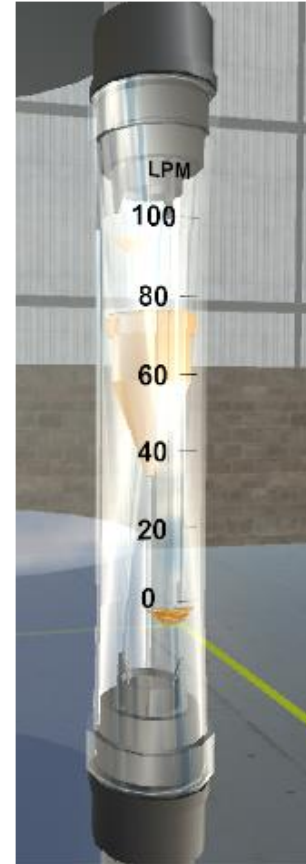
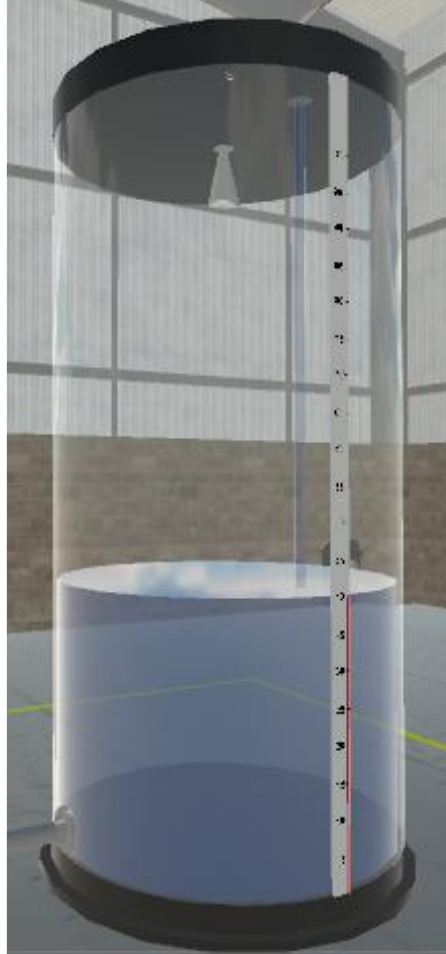


**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

## Realidad virtual

Unity3D

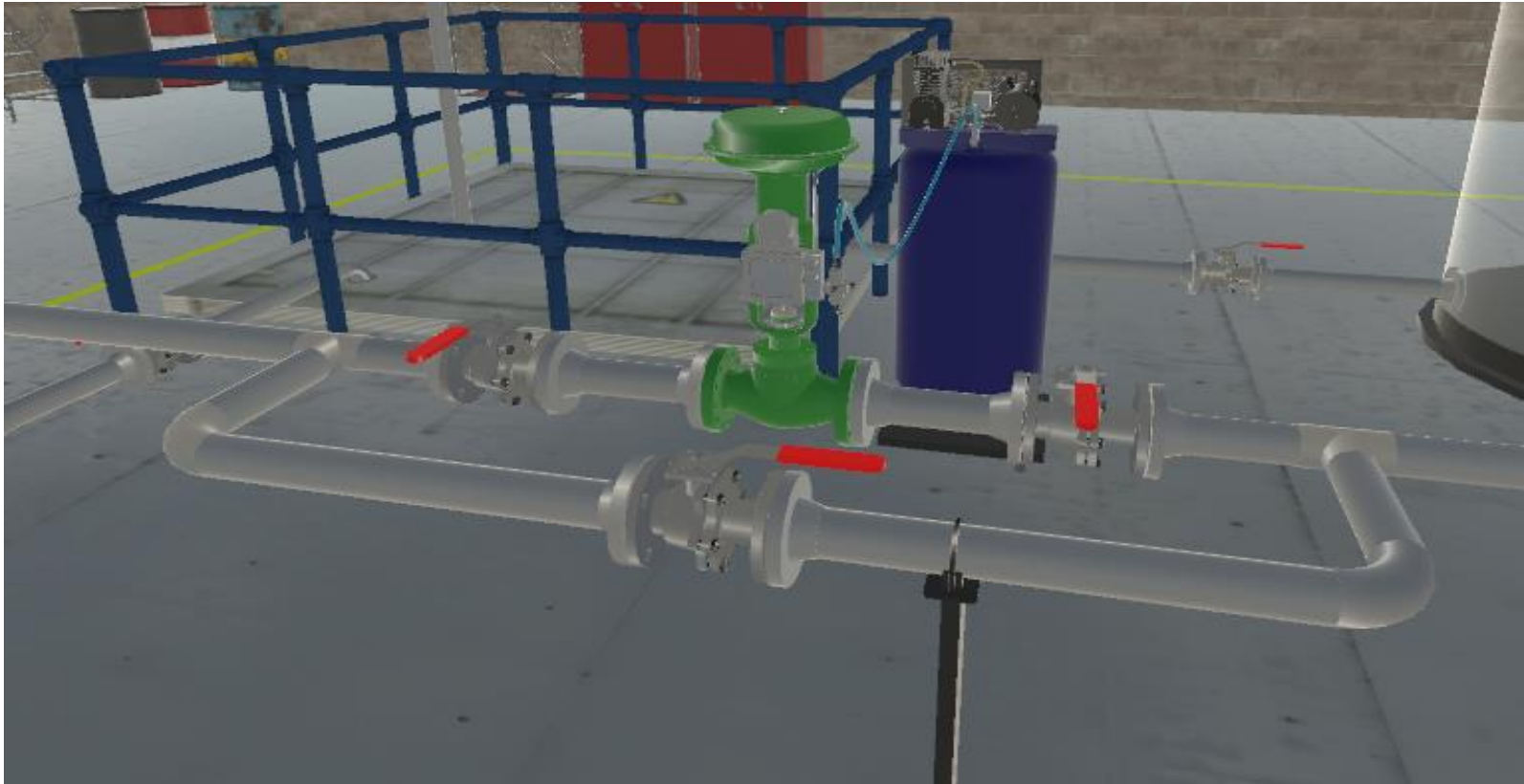


**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

## Realidad virtual

Unity3D



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

## Realidad virtual

Unity3D

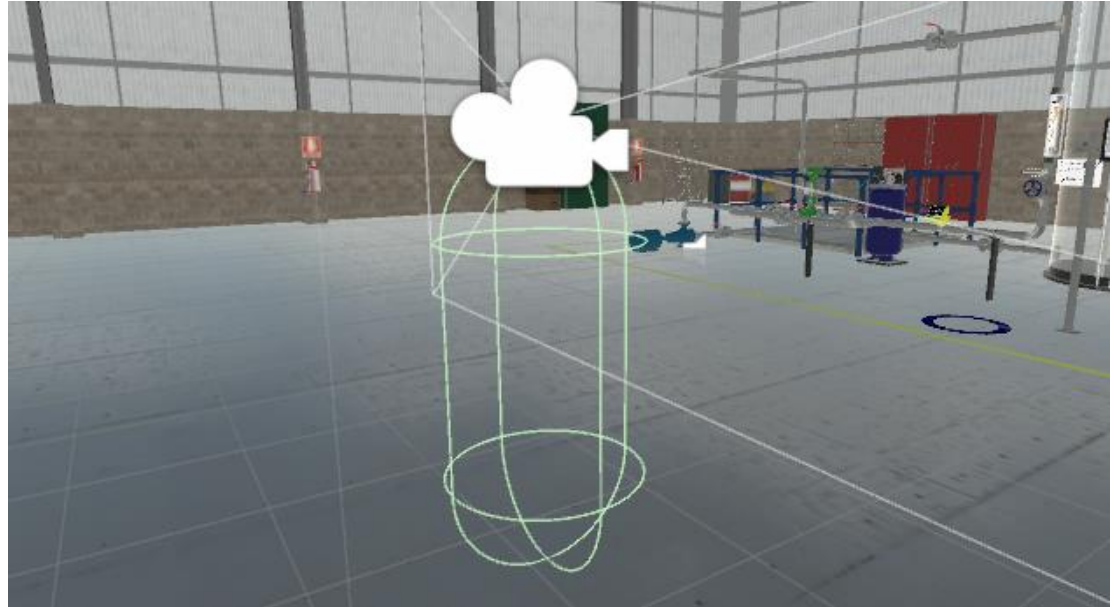
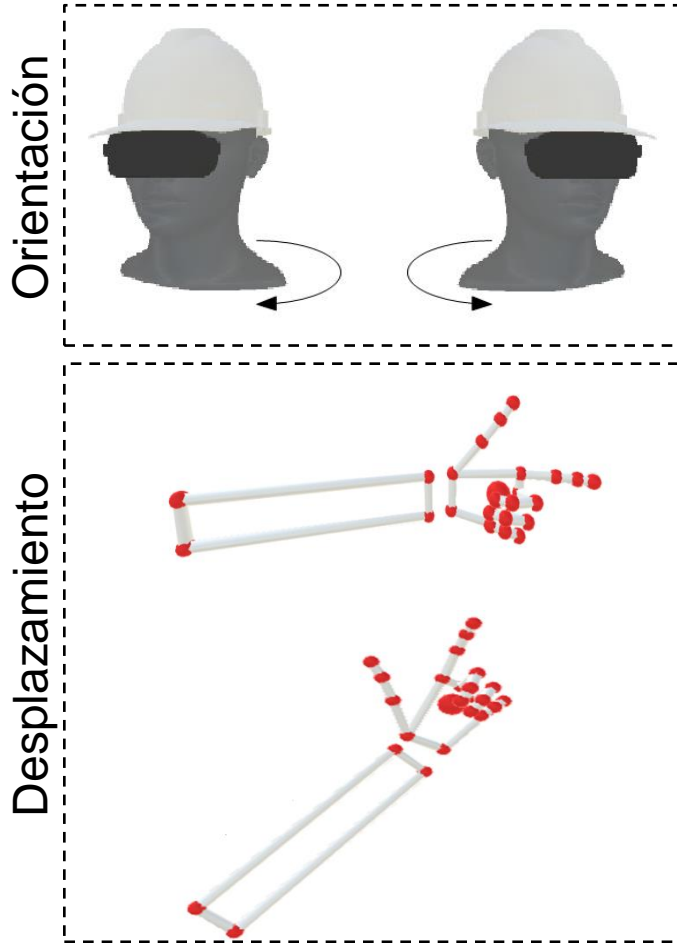


**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

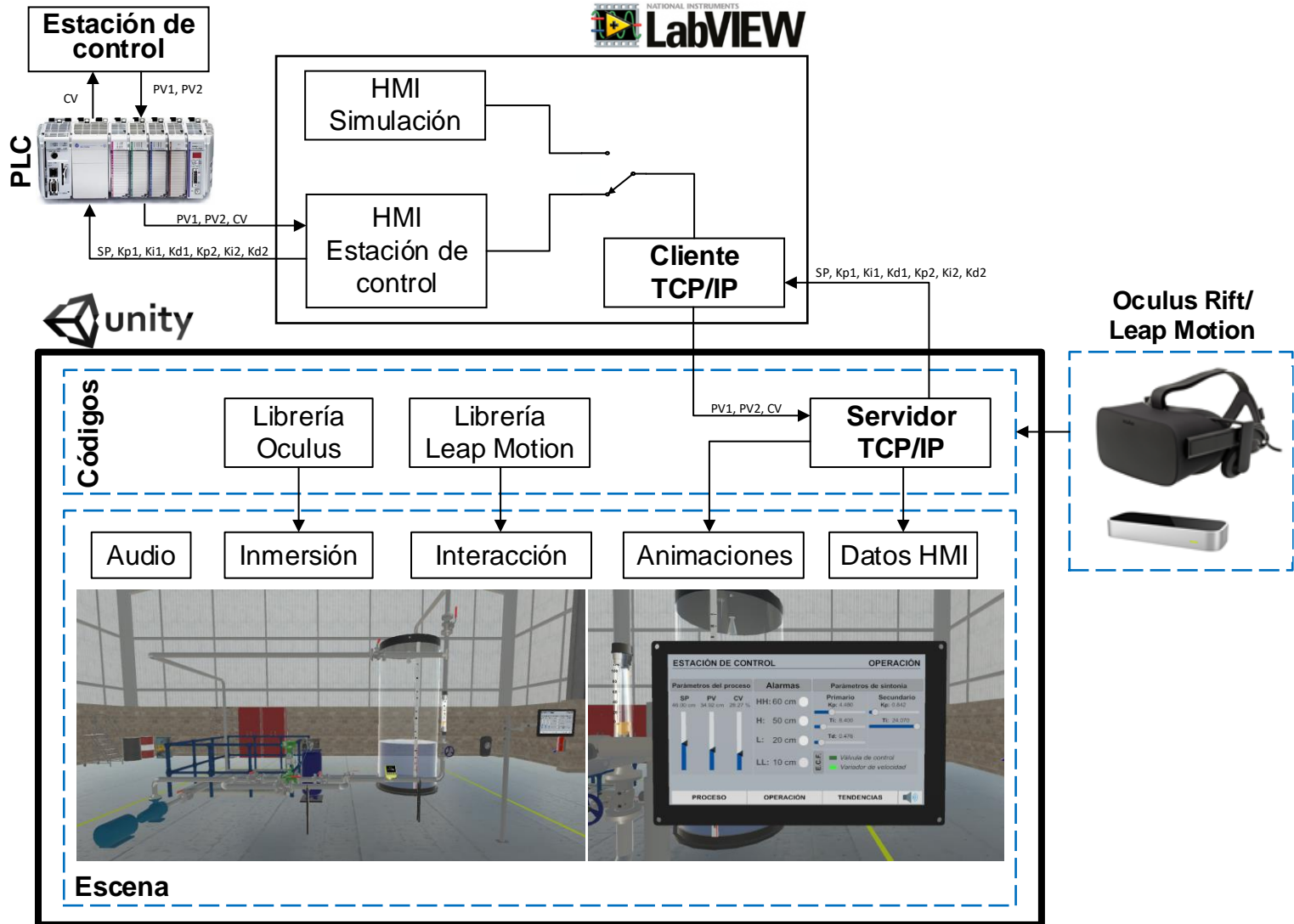
## Realidad virtual

Unity3D



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# ESQUEMA DEL SISTEMA COMPLETO

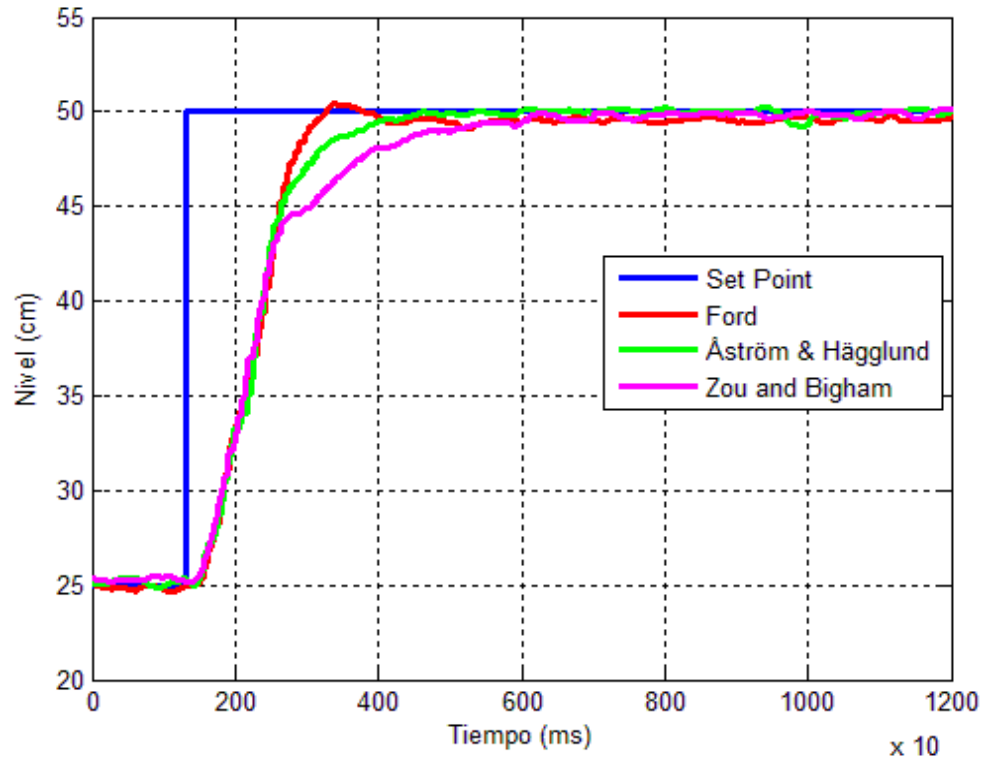




# ANÁLISIS DE RESULTADOS

## Control en cascada

### Métodos de sintonía



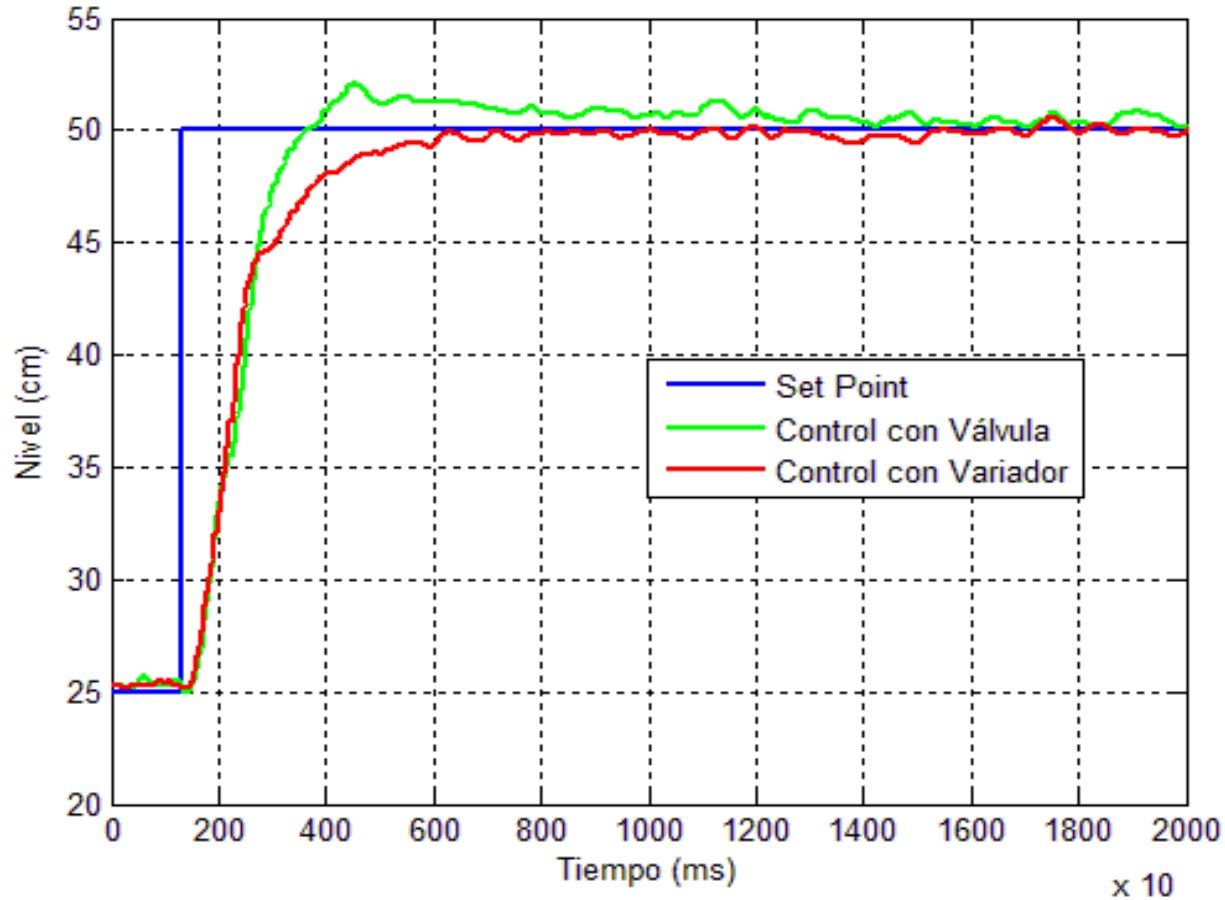
Método	% OS	Tiempo de establecimiento	IAE
Ford	0,82%	48.4 s	6239,446
Åström & Hägglund	0%	34.9 s	5994,432
Zou and Bigham	0%	66.9 s	6423,287



# ANÁLISIS DE RESULTADOS

## Control en cascada

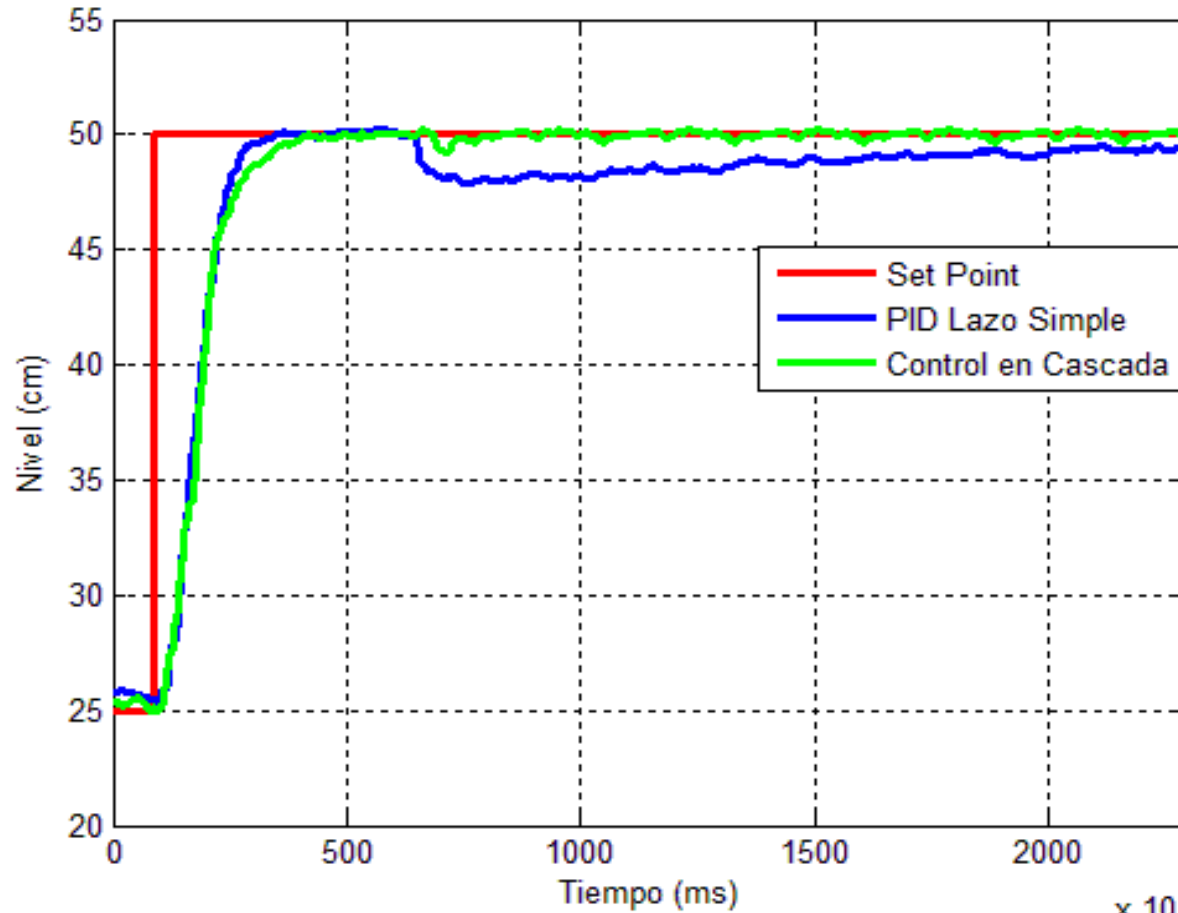
Rendimiento según el E.C.F. (Åström & Hägglund)



# ANÁLISIS DE RESULTADOS

## Control en cascada

Respuesta ante perturbaciones (Åström & Hägglund)



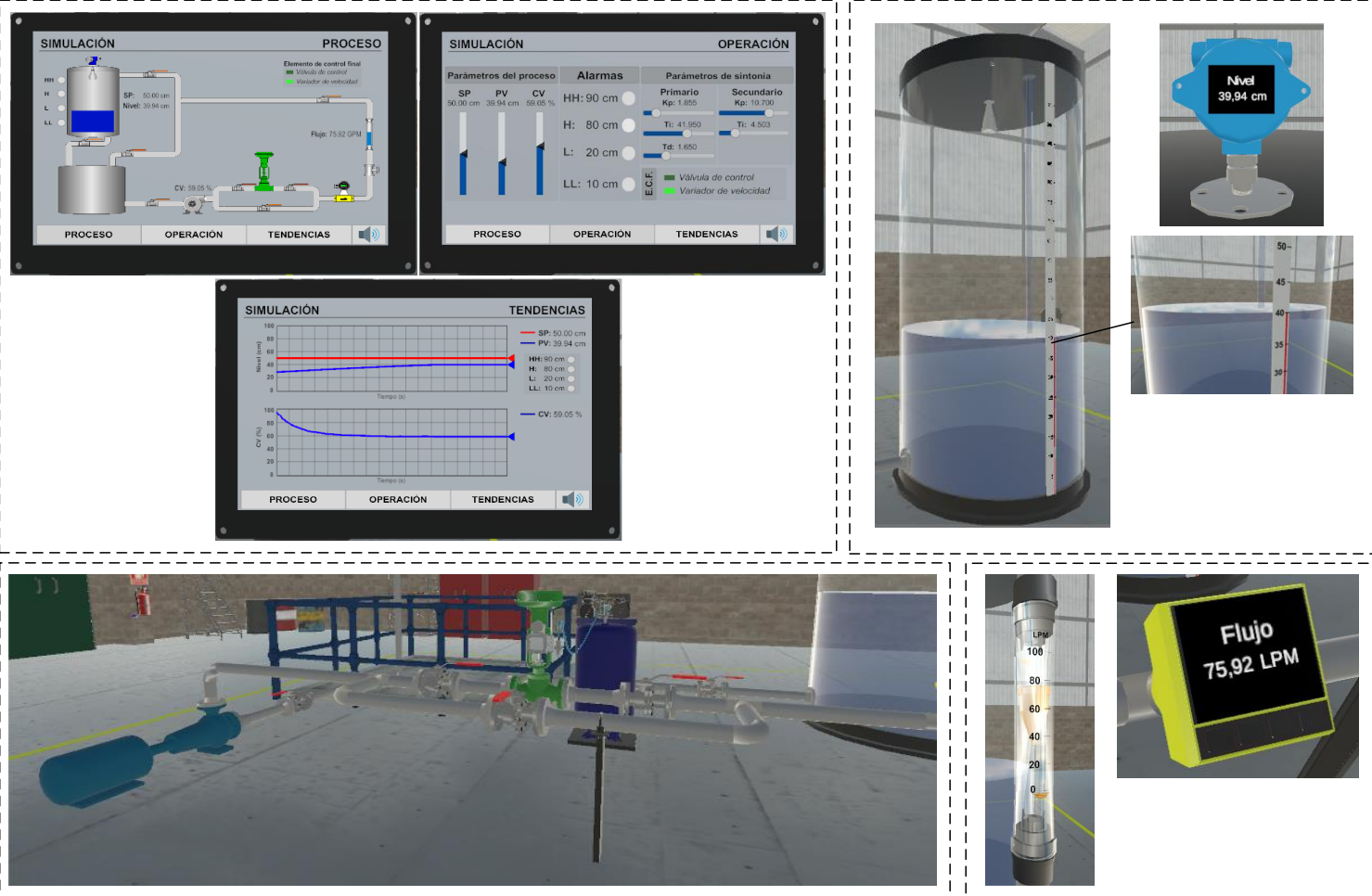
x 10



**ESPE**  
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO  
CAMINO A LA EXCELENCIA

# ANÁLISIS DE RESULTADOS

## Datos del proceso reflejados en el entorno virtual



# CONCLUSIONES

- Se desarrolló un sistema didáctico, utilizando la realidad virtual y dispositivos de inmersión e interacción, para el aprendizaje del control de procesos, tomando como base la implementación de una estrategia de control en cascada aplicada a una estación de entrenamiento para la regulación del nivel de un tanque.
- El sistema de control en cascada implementado tiene un funcionamiento óptimo y presenta un mejor desempeño que el control feedback clásico. Además, posee una respuesta anticipativa ante efectos causados por perturbaciones, particularidad dada por el lazo de control secundario anidado en su arquitectura, es decir, cuando se presenta una perturbación, la compensación se efectúa antes de que el efecto se presente en la variable de proceso primaria.



# CONCLUSIONES

- El entorno virtual implementado provee una gran cantidad de información sobre el control de procesos ya que contiene equipos e instrumentos comunes en varias industrias. Esta característica se ve complementada con sonidos característicos de los equipos y alarmas sonoras que mejoran la experiencia del usuario.
- El HMI virtual implementado contiene todas las variables relevantes del proceso y las presenta de una forma clara y ordenada, además, la pantalla en la cual se presenta se asemeja a un touch-panel (panel táctil) común en la industria de procesos, lo cual contribuye al realismo de la aplicación.



# CONCLUSIONES

- El entorno virtual brinda realismo y transparencia del proceso cuando el monitoreo y control es realizado desde el mismo, en forma local o remota, sin que la efectividad del control se vea afectada.
- La simulación del control en cascada implementada para el entorno virtual provee a los estudiantes un primer acercamiento a un sistema de control y permite un entrenamiento continuo y realista en ausencia de una estación didáctica.



# CONCLUSIONES

- El sistema didáctico implementado permitirá un proceso de enseñanza-aprendizaje diversificado y eficiente en el control de procesos, ya que comprende varias temáticas concernientes a este ámbito de la carrera de Electrónica e Instrumentación. Además, la realidad virtual como medio educativo ha sido ampliamente extendida por su capacidad de generar un alto impacto en los estudiantes, con lo cual este sistema es idóneo para su uso en la educación de ingeniería, tal como lo indican los resultados de la encuesta descrita anteriormente.





# RECOMENDACIONES

- Para el control en cascada, la elección de la variable de proceso secundaria es primordial y debe hacerse a través de un análisis profundo de sus características tomando en cuenta que sobre ella se presenten efectos causados por perturbaciones importantes para el proceso, mismos que serán corregidos con la estrategia de control.
- Para un desempeño óptimo del sistema, es importante contar con un computador con una tarjeta de video dedicada (NVIDIA GTX970 o superior), de esta manera la experiencia del usuario es satisfactoria en cuanto a la realidad virtual se refiere.



**GRACIAS POR SU ATENCIÓN**



**ESPE**  
ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO  
CAMINO A LA EXCELENCIA