



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

TEMA:

DESARROLLO DE UN ENTORNO VIRTUAL 3D QUE SIMULE UN PROCESO INDUSTRIAL DE NIVEL, ORIENTADO AL ENTRENAMIENTO PARA LA CALIBRACIÓN DE UNA VÁLVULA DE CONTROL



AUTOR:

IBÁÑEZ JÁCOME , PEPE FERNANDO

DIRECTORA

ING. ESCOBAR ANCHAGUANO, IVÓN PATRICIA MGS.



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Glosario:

Cap I Antecedentes, Problema, Objetivo General y Específicos, Justificación, importancia y alcance del proyecto.

Cap II

Marco teórico referencial, Legal y Conceptual, Elementos y Arquitectura de la RV, Dispositivos empleados en RV para simulación en el área del C.A., Software utilizado en RV en el ámbito del control automático, Aplicaciones industriales de RV, Componentes del S.I. de nivel.

Cap III Metodología de la investigación, Esquema general del proyecto, Diseño del diagrama P&ID, Blender, Unity 3D.

Cap IV Resultados del entorno virtual inmersivo y del funcionamiento del sistema virtual de nivel, Resultado de las encuestas para la validación del entorno virtual 3D del proceso industrial de nivel.

Cap V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

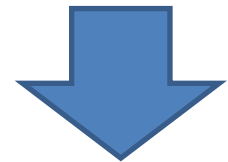
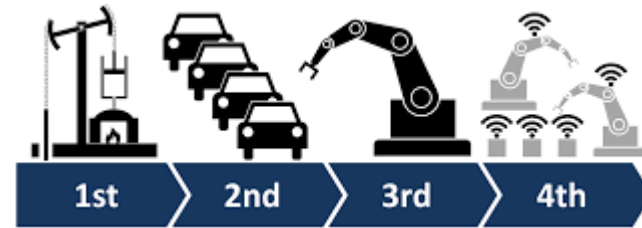
CAPÍTULO I

Antecedentes

La Realidad Virtual (RV) es un conjunto de tecnologías fusionadas, desarrollada para integrar al usuario con entornos diseñados virtualmente . La RV se ha abierto campo en una gran cantidad de aplicaciones en diferentes áreas como: la medicina, la educación, la industria, entre otras.

Problema

En este momento en que las actividades de la humanidad han reducido la interactividad personal, se hace necesario desarrollar programas de entrenamiento en plataformas virtuales, las plataformas de RV e inmersiva captan la atención de la automatización industrial como herramientas complementarias para el entrenamiento en supervisión, control y mantenimiento de los procesos industriales.



Objetivos

Objetivo General

- **Desarrollar un entorno virtual 3D para simular un proceso industrial de nivel, orientado al entrenamiento en calibración de una válvula de control.**



Objetivos Específicos

- **Investigar el modelo matemático que describe el comportamiento dinámico de un proceso de nivel.**
- **Diseñar el entorno virtual 3D para la simulación del proceso de nivel y control en tiempo real.**
- **Establecer procedimientos de operación (Checklist) que permitan el entrenamiento de los usuarios.**
- **Realizar pruebas de funcionamiento para validar el proyecto.**



CAPÍTULO I

Justificación, importancia y alcance del proyecto

Ante la limitación de recursos de hardware para las aplicaciones industriales del mundo real, las soluciones se deben orientar al desarrollo de software para utilizarlos de manera óptima, se presenta el desarrollo de un sistema de control de un proceso industrial (nivel) simulado e interactivo basado en RV que permite el aprendizaje y entrenamiento para la calibración de una válvula de control, además el sistema permitirá monitorear a través de una HMI (Human-Machine Interface), y controlar mediante un algoritmo PID, evitará la utilización de recursos físicos que implican costos asociados al funcionamiento y mantenimiento, y a su vez minimizando el daño material de la implementación industrial utilizada cabiendo a una realidad inmersa gestionando al usuario interactuar en un ambiente simulado y controlado.



Basado en programación de Unity 3D., y su infraestructura virtual, permite al sistema simular un ambiente virtual que proporcione a los usuarios una capacitación y entrenamiento seguro aumentando la eficiencia en el manejo, así como en dar soluciones rápidas, prácticas y mejoradas de mantenimiento.



Hipótesis de investigación:

- El desarrollo de un entorno virtual permitirá simular el entrenamiento en la calibración de válvulas de control a partir de un proceso de control de nivel.
- En consecuencia, de la hipótesis planteada se identifican dos variables:
- Variable Independiente: Desarrollo de un entorno virtual 3D, que simule un proceso industrial de nivel.
- Variable Dependiente: Entrenamiento en la calibración de válvulas de control a partir un proceso de control de nivel.



Operacionalización de las Variables

VARIABLES	TIPO	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Entrenamiento en la calibración de válvulas de control a partir un proceso de control de nivel	Dependiente	La simulación de procesos son técnicas utilizadas para el diseño, desarrollo, análisis y optimización de procesos técnicos tales como: plantas químicas, procesos químicos, sistemas ambientales, centrales eléctricas, Operaciones de fabricación complejas, procesos biológicos y funciones técnicas similares.	El conocimiento adquirido por el profesional al entrenarse en la calibración de una válvula de control.	Aplicación práctica. Aplicación virtual.	- Eficacia de conocimiento adquirido por los usuarios.
Desarrollo de un entorno virtual 3D, que simule un proceso industrial de nivel	Independiente	Entorno virtual de simulación es el área que permite realizar la calibración de una válvula de control	Entorno virtual es un ambiente que permite simular un proceso industrial de nivel con características similares a las reales.	Aplicación de conceptos de calibración de instrumentos	- Similitud del proceso virtual de nivel desarrollado en software CAD basado en un proceso físico. - Ambiente virtual implementado que permita la inmersión e interacción con el usuario.



MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

Marco Legal

- Norma ISA S5.1, S5.3. permiten el diseño diagramas de tuberías e instrumentación (P&ID).

Marco Conceptual

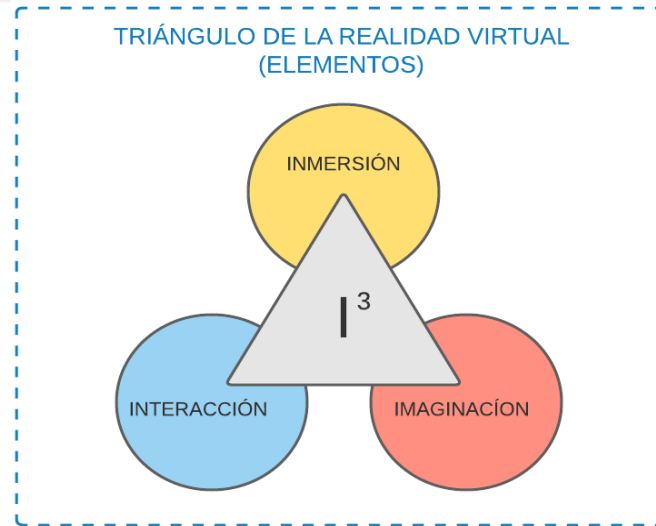
Realidad Virtual (RV)

La definición de realidad virtual es una interfaz de usuario-computadora de alta gama que involucra simulación en tiempo real e interacciones a través de múltiples canales sensoriales. Estas modalidades sensoriales son visuales, auditivas, táctiles, olfativas y gustativas.

“La Realidad Virtual es una simulación interactiva por computador desde el punto de vista del participante, en la cual se sustituye o se aumenta la información sensorial que recibe”.



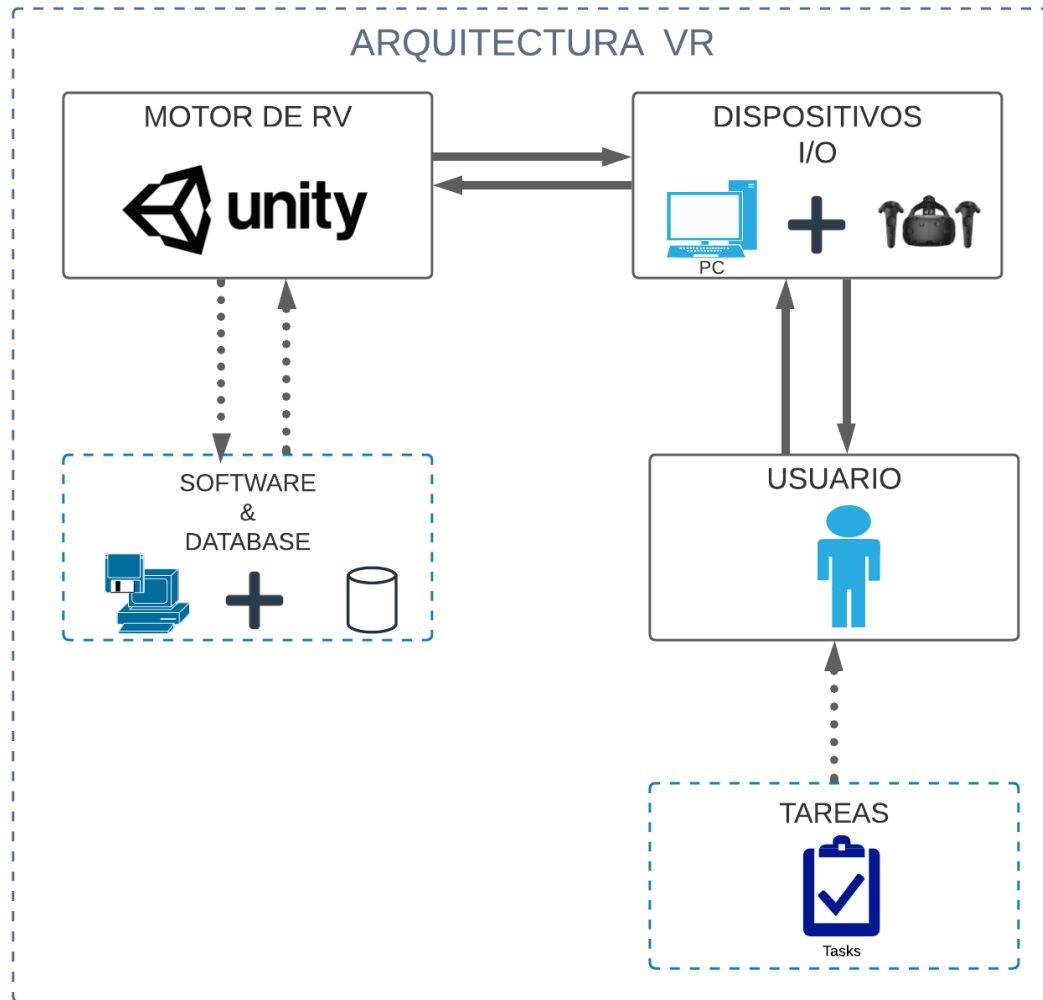
Elementos de la RV



- **Inmersión.** De gran importancia en la realidad virtual pues permite la creación de ambientes tridimensionales creados por un computador.
- **Interacción.** Permite al usuario actuar sobre el escenario, para la interacción en los sistemas de realidad virtual se utilizan sistemas de posicionamiento, sistemas hápticos (permiten interactuar mediante fuerzas aplicadas en puntos del espacio), etc.
- **Imaginación.** Es la capacidad mental que el usuario tiene para observar cosas que no existen y crear la ilusión que permite interactuar dentro de la RV, para lo cual emplea diferentes dispositivos de entrada (sensores de movimiento, dimensionamiento, guantes, etc.)



Arquitectura de la RV



Dispositivos empleados en RV para simulación en el área del control automático

HTC VIVE: En el sitio web (Kit inicial, HTC Corporation, <https://www.vive.com/mx/product/vive-pro-starter-kit/>)

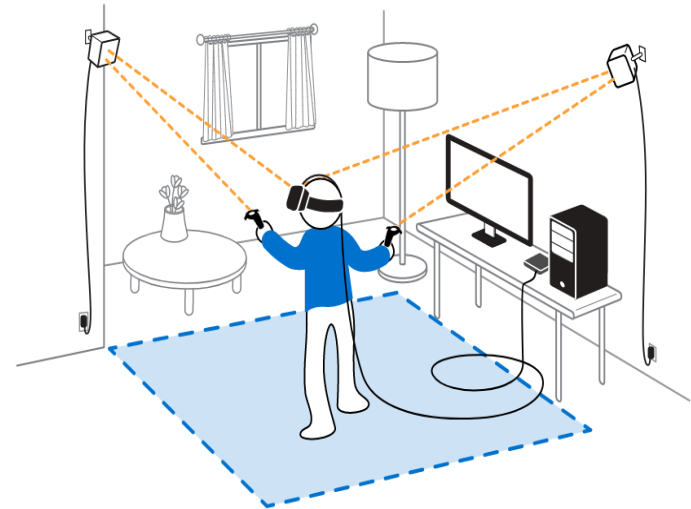
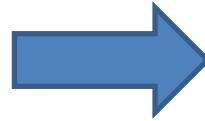
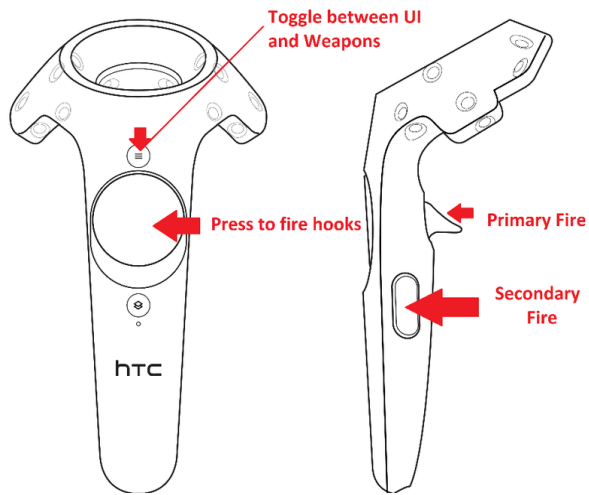
Elementos:

- Visor (HMD) de alta resolución
- Audífonos integrados con sonido 3D espacial que brinda un audio inmersivo fiel a la realidad.
- Amplificador, creando paisajes sonoros.
- Micrófonos duales permiten cancelación activa del ruido además es posible habilitar un Modo Alerta y un Modo Conversación para que puedas escuchar lo que pasa alrededor mientras se está inmerso en algunas realidades sin la necesidad de quitarte el Visor.
- El rastreo preciso de 360 grados de los controles y visor, los gráficos realistas, el audio direccional y la retroalimentación perceptiva de alta definición; se traducen en movimientos y acciones realistas en el mundo virtual.
- Controladores vive.



Dispositivos empleados en RV para simulación en el área del control automático

La imagen del menú del juego muestra las funciones de los controladores Vive y más implementos de RV.



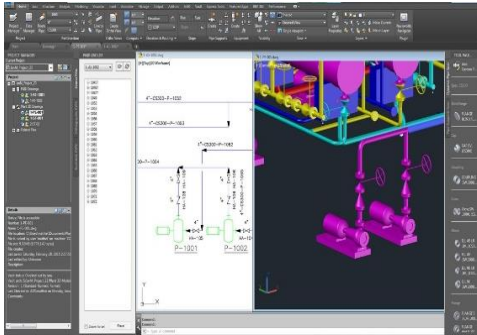
Descripción gráfica de la conexión de RV



Software utilizado en realidad virtual en el ámbito del control automático

Para el diseño de entornos virtuales para el áreas del control automático se utilizan los siguientes software:

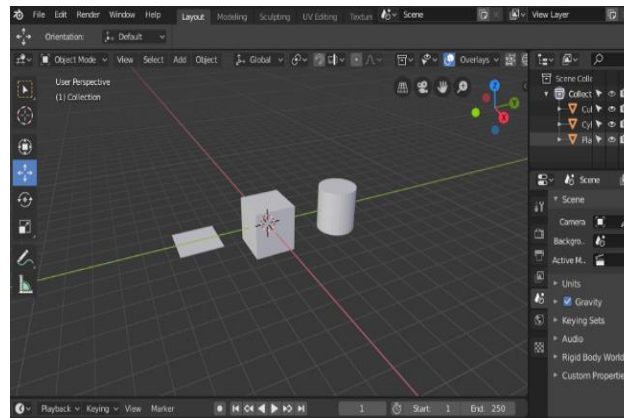
AutoCAD Plant 3D:



Unity3D:

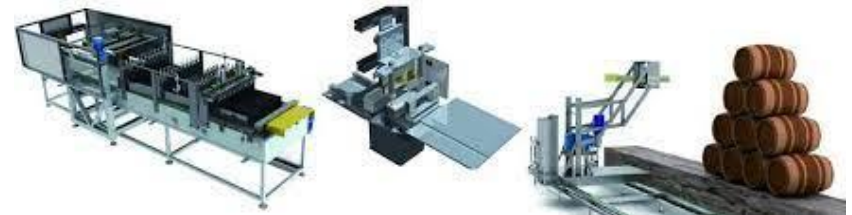


Blender

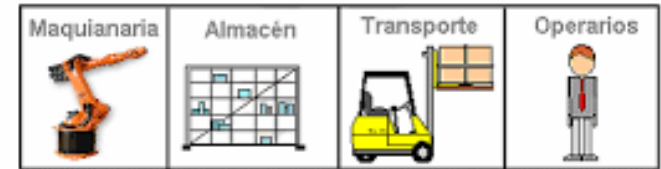


Aplicaciones industriales de realidad virtual

- Diseño y maquetización de productos y maquinaria.



- Experimentación y pruebas (productos, maquinaria, procesos de fabricación).



- Mantenimiento de maquinaria y de cadenas de producción.



- Aplicaciones en la industria militar.



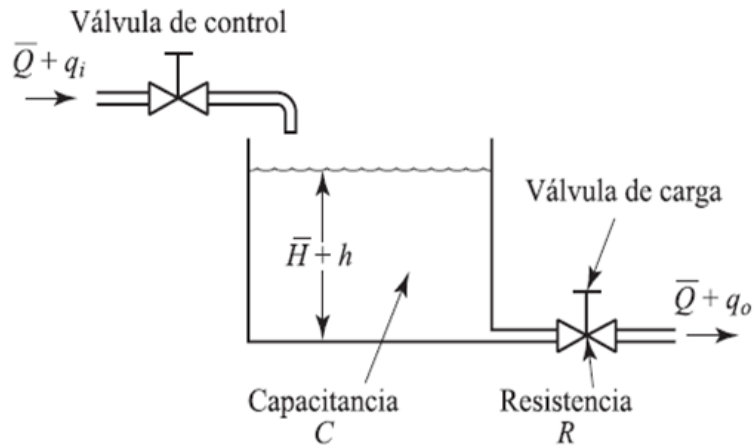
Sistemas de nivel de líquido

$$Q = KH$$

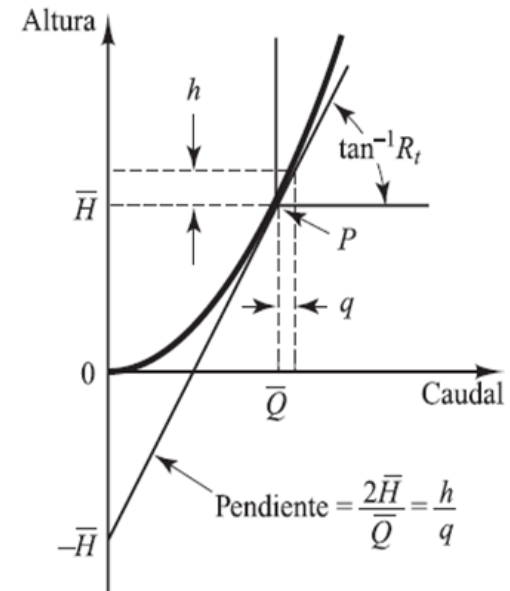
donde: Q = caudal del líquido en estado estable, m^3/seg

K = coeficiente, m^2/seg

H = altura en estado estable, m



(a)



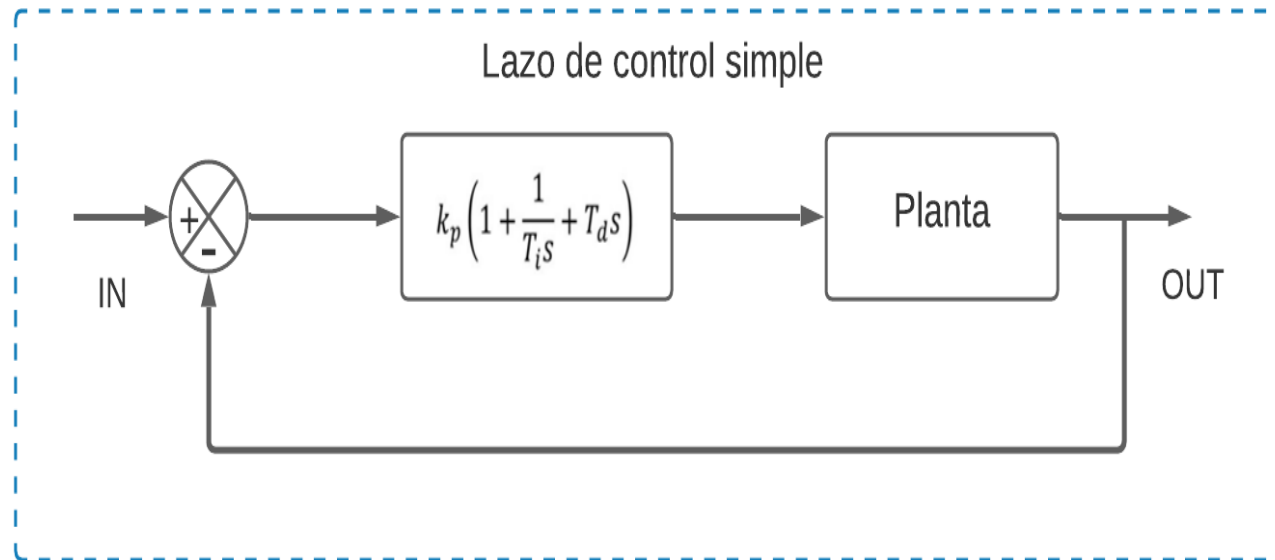
(b)



Controladores PID

El controlador PID es el algoritmo de control más común, se basa en la simple implementación de la idea de realimentación, esta puede reducir los efectos producidos por las perturbaciones logrando que un proceso siga adecuadamente a su punto de consigna, gracias a estas ventajas el controlador PID es utilizado en más del 95 % de lazos de control.

Estructura de un lazo de control simple



Método de sintonía por Tanteo (lazo cerrado)

Método de tanteo (lazo cerrado), requiere que el controlador y el proceso estén instalados completamente y trabajando en su forma normal. Se provocan cambios de carga en el proceso, moviendo el punto de consigna arriba y abajo en ambas direcciones, lo suficiente para lograr una perturbación considerable, pero no demasiado grande que pueda dañar el producto, perjudicar la marcha de la planta o crear perturbaciones intolerables en los procesos asociados.



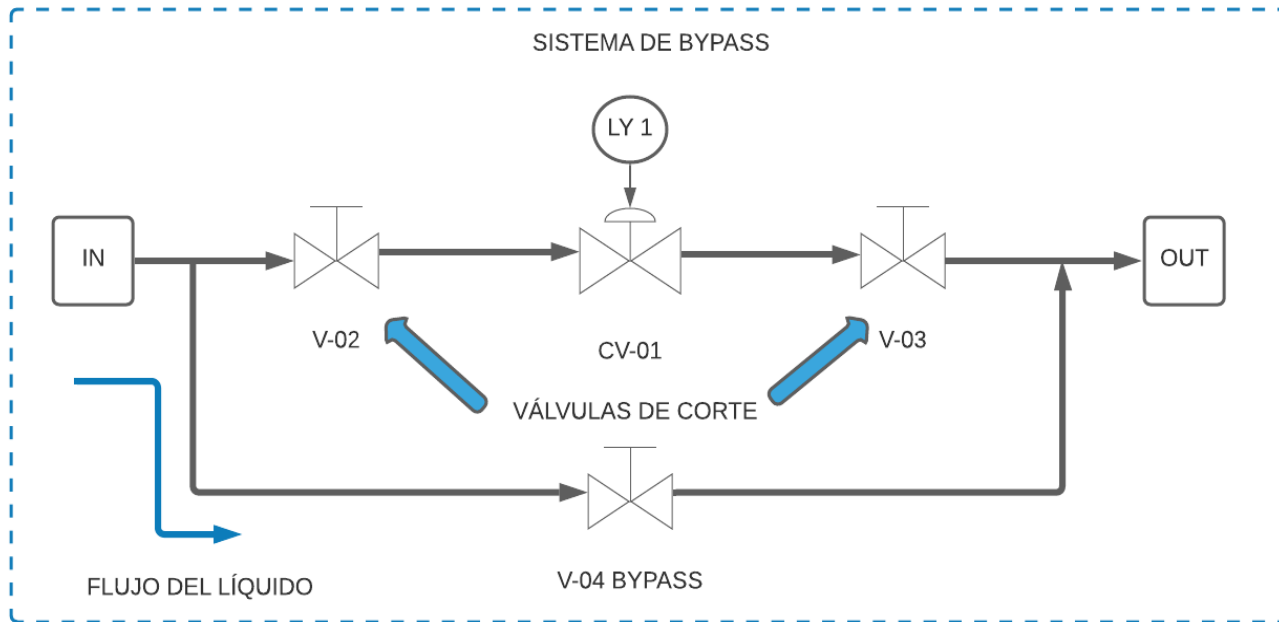
Elementos de control final

Son mecanismos que modifican el valor de una variable que ha sido manipulada como respuesta a una señal de salida desde un dispositivo de control automático; es decir, se encarga de manipular alguna característica del proceso según lo ordenado por el controlador. Los elementos finales de control pueden ser una válvula de control que por su diseño sencillo (cabezal, vástago, cuerpo y conexiones) y su robustez hacen que más del 90% de los lazos cerrados de control lo usen en las plantas industriales, como son las **Válvulas de control**



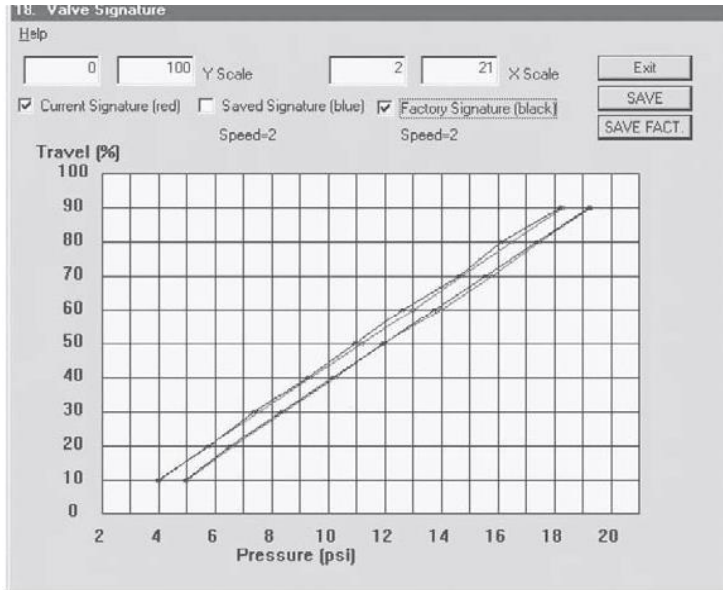
Válvula de Bypass

El término "Válvula de Bypass" se refiere a cualquier válvula instalada en una línea de bypass o derivación, y no es utilizada para indicar una forma o configuración en particular.



La “firma” de la válvula

El registro gráfico del estado del conjunto válvula-actuador (medida de la histéresis, zona muerta y linealidad, gráficos o “firmas” del posicionador, del asentamiento, del actuador, de la presión de alimentación con relación al recorrido del vástago).



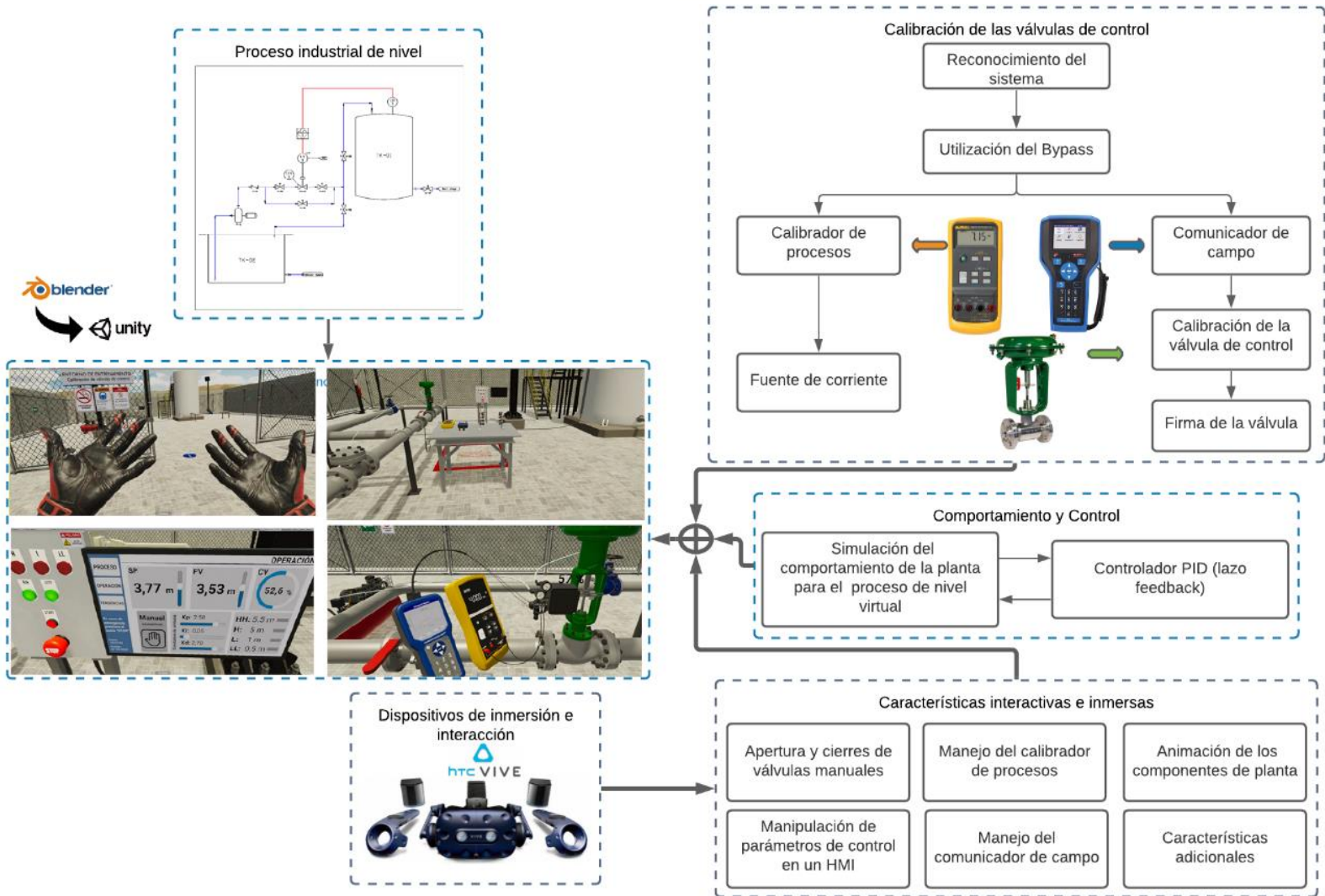
CAPÍTULO III

Metodología de la investigación

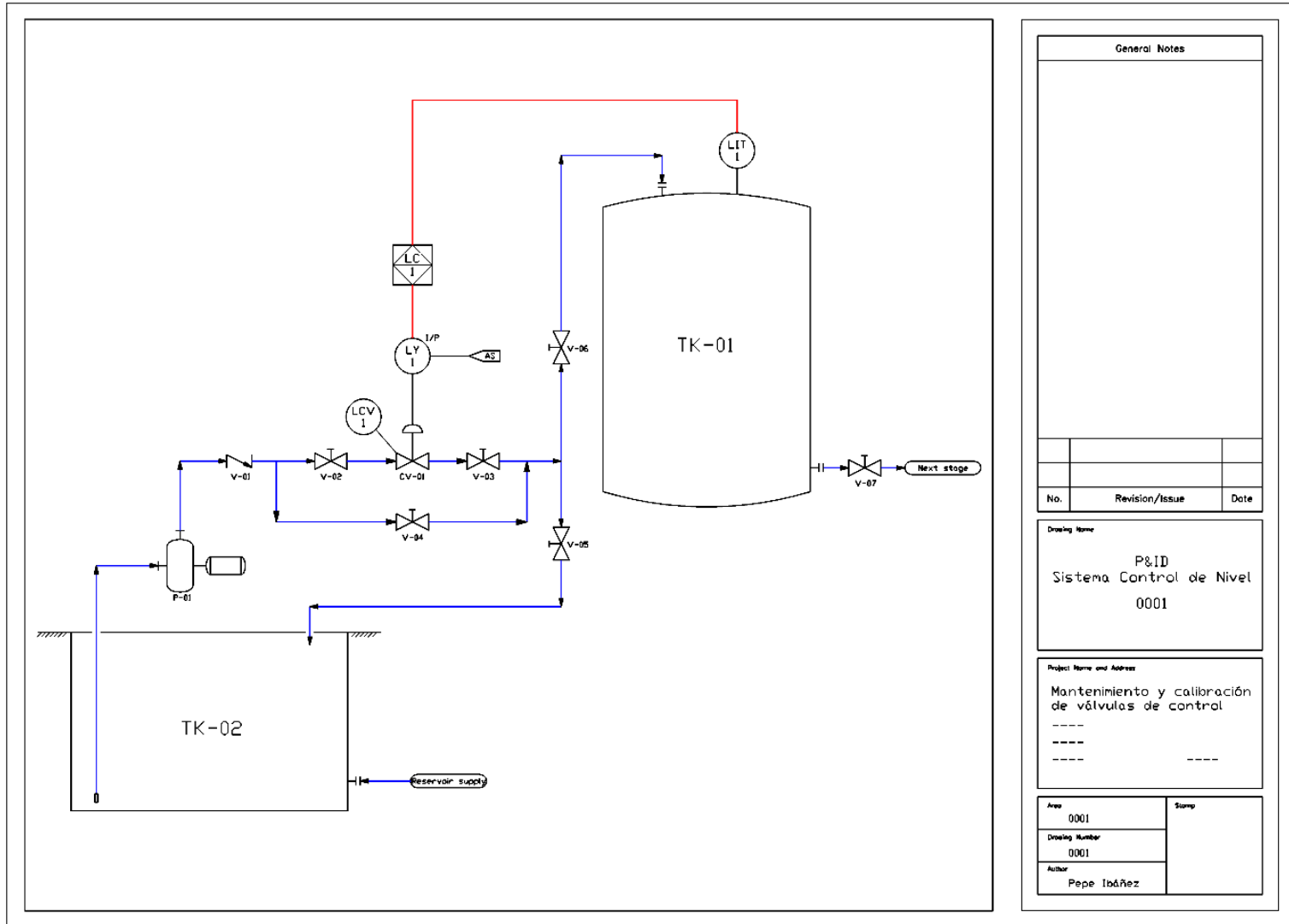
Para el desarrollo de un entorno virtual 3D orientado al entrenamiento para la calibración de válvulas de control, la información requerida para el diseño e implementación del proceso industrial de nivel y la calibración de una válvula de control se realizó en base a la experimentación de un sistema didáctico de la mencionada variable. En la figura, se presenta el esquema general del proyecto, el que será detallado en el presente capítulo.



Esquema general del proyecto.



Diseño del diagrama P&ID de la estación de entrenamiento para el control del nivel de un tanque y calibración de válvula de control



General Notes		
No.	Revision/Issue	Date
Drawing Name		
P&ID Sistema Control de Nivel 0001		
Project Name and Address		
Mantenimiento y calibración de válvulas de control		

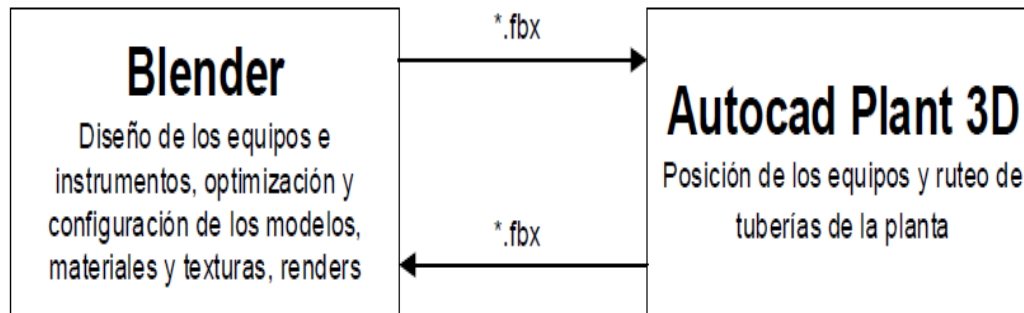
Area		Stamp
0001		
Drawing Number		
0001		
Author		
Pepe Ibañez		



Modelado 3D del proceso industrial de nivel

El diseño de la planta se divide en dos etapas:

- En la primera etapa se utiliza Autocad Plant 3D para la ubicación de los equipos y el ruteo de tuberías.
- La segunda etapa comprende la modelación de los demás objetos necesarios, la corrección de los modelos, configuración de puntos de rotación, entre otros; en esta etapa, el modelo adquiere todas las características necesarias para ser utilizado en la aplicación se lo realiza en Blender.

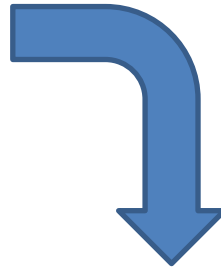
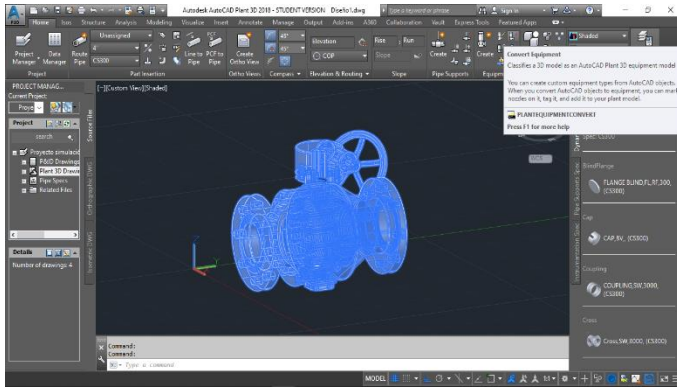


Uso de los programas de diseño 3D

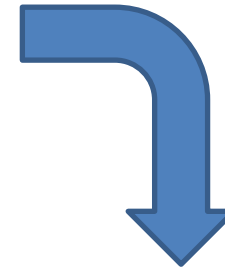
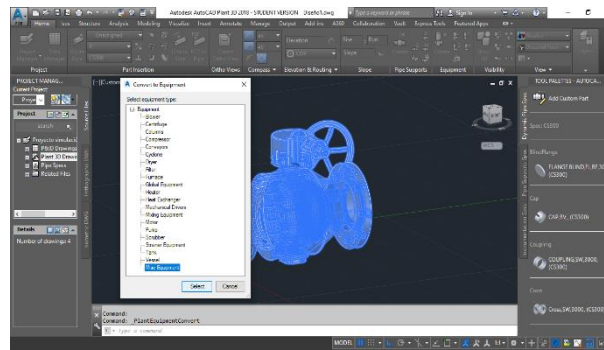


Conversión del modelo importado “Equipo de Autocad Plant 3D”.

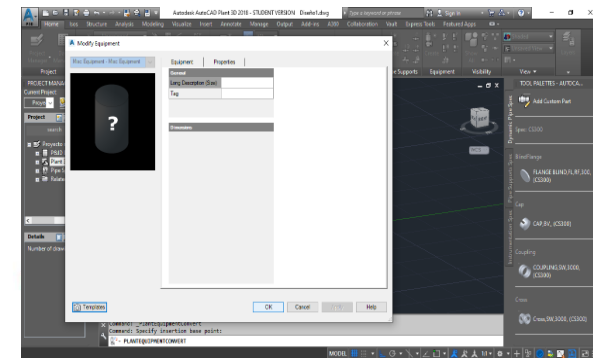
Opción “Convert Equipment”



Modelo Catalogado

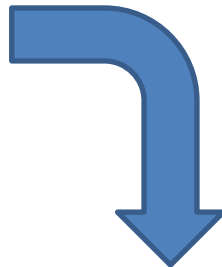
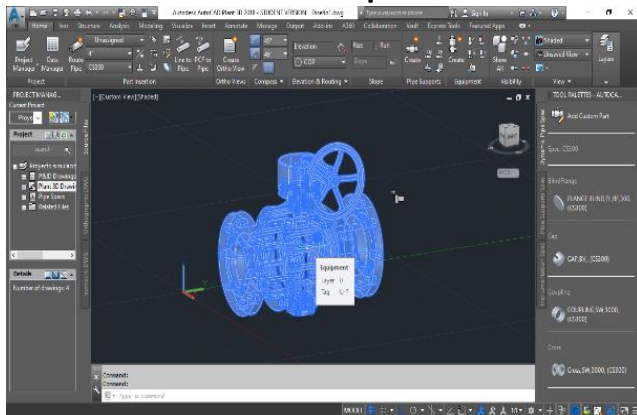


Despliegue de varias propiedades del modelo

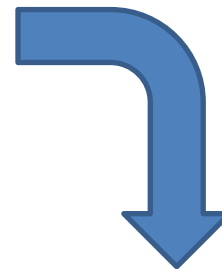
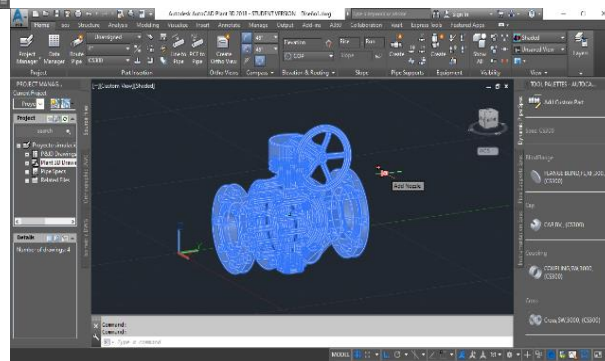


Conversión del modelo importado “Equipo de Autocad Plant 3D”.

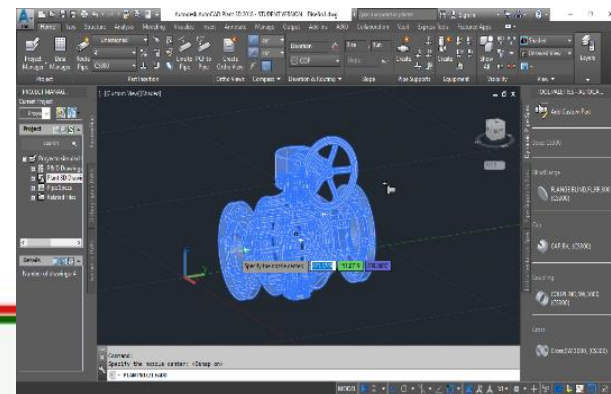
Añadidura de los puntos de conexión



Puntos de conexión opción “Add Nozzle”

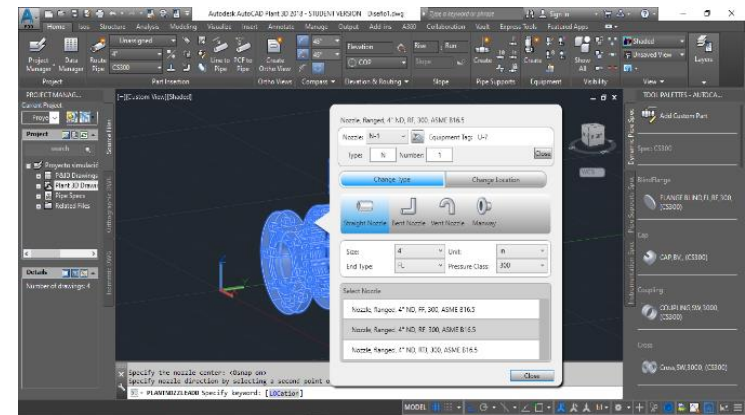
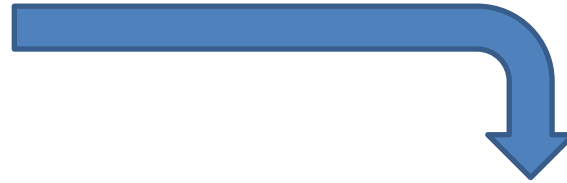
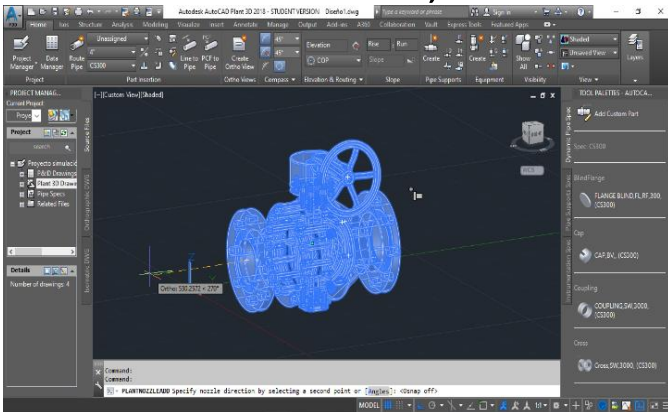


Punto de conexión, uso de la herramienta de detección automática de referencias



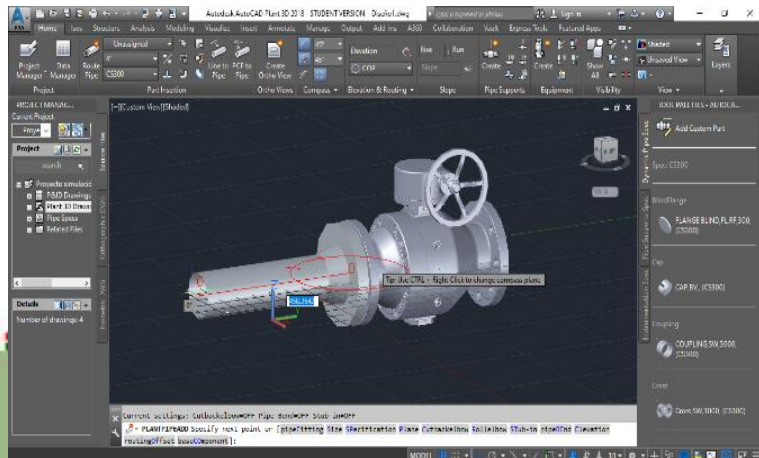
Conversión del modelo importado "Equipo de Autocad Plant 3D".

Punto de conexión, definición del eje central de conexión

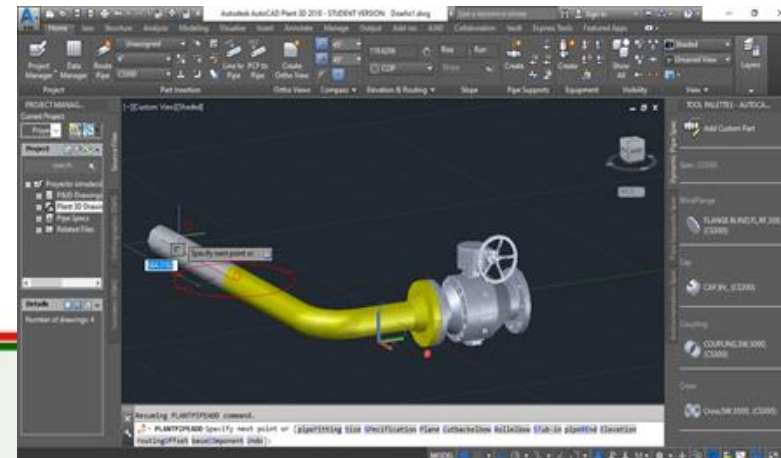
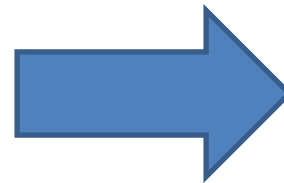


Punto de conexión, modificar características

Creación de una nueva boquilla

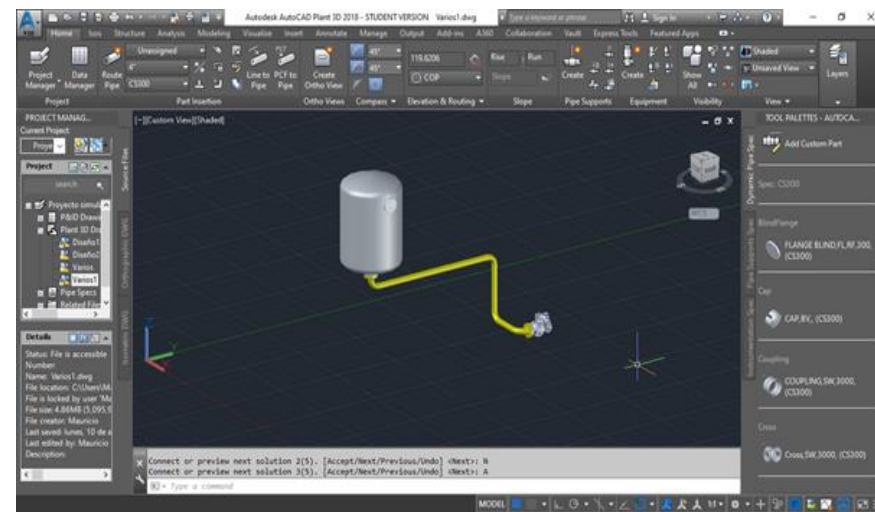
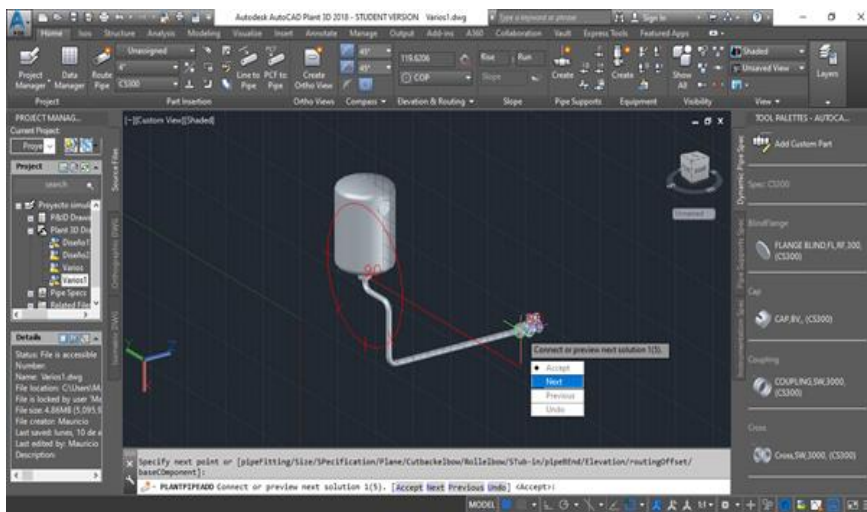
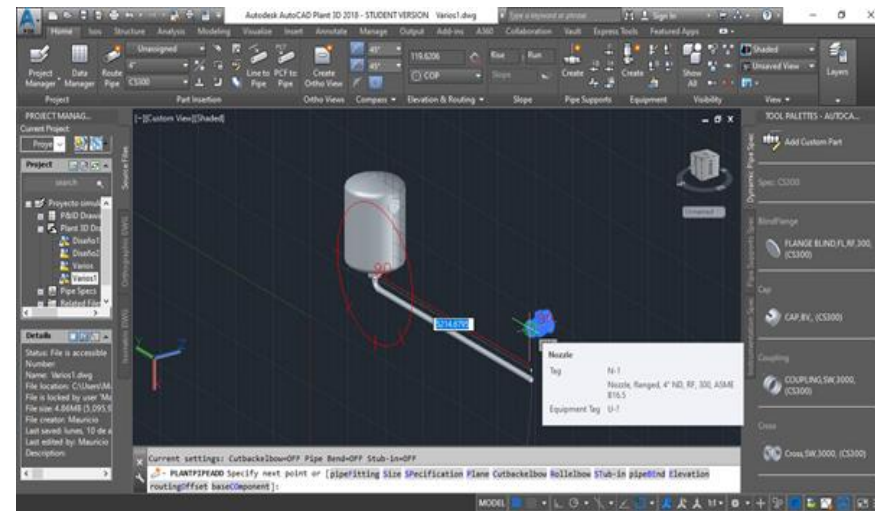
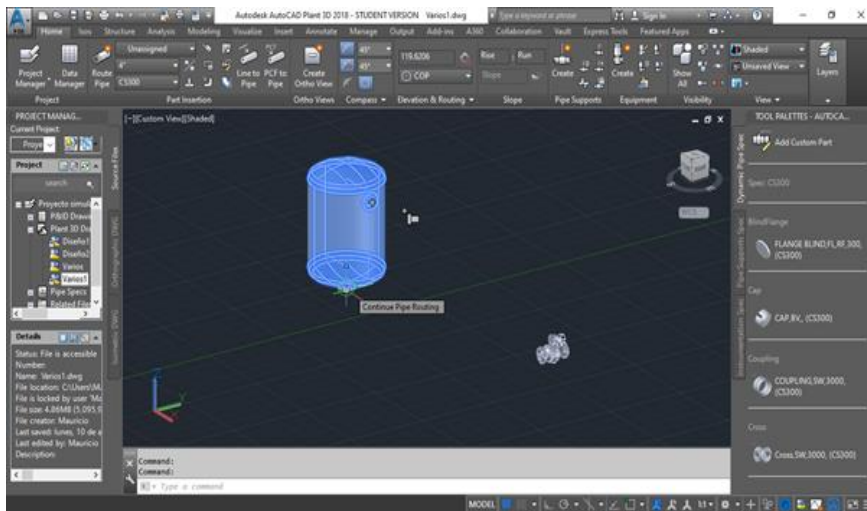


Ruteo de tuberías manual



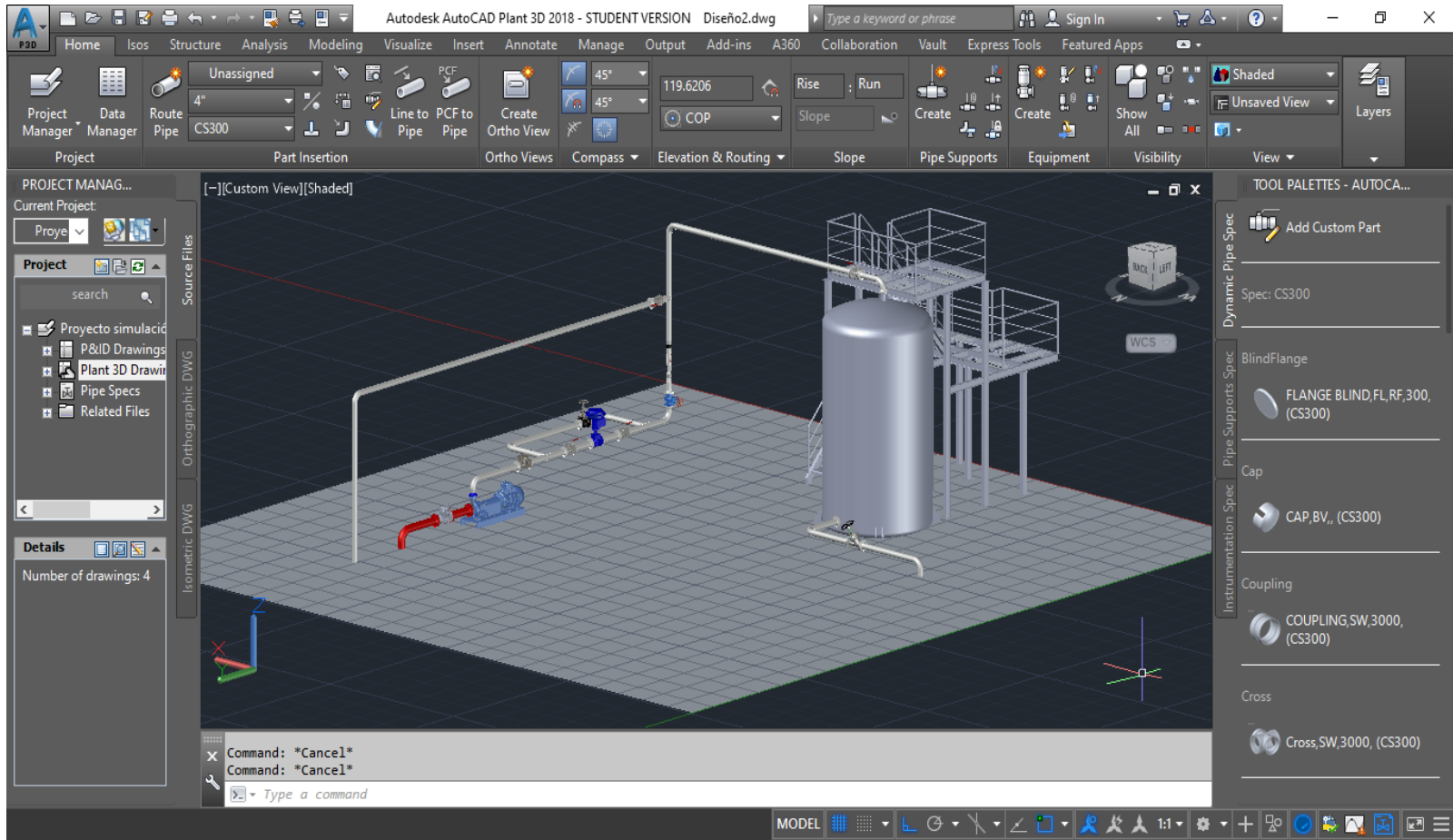
Conversión del modelo importado "Equipo de Autocad Plant 3D".

Secuencia de ruteo de tuberías automático



Diseño de la planta

Planta diseñada en Autocad 3D.



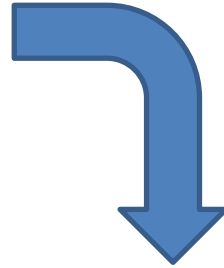
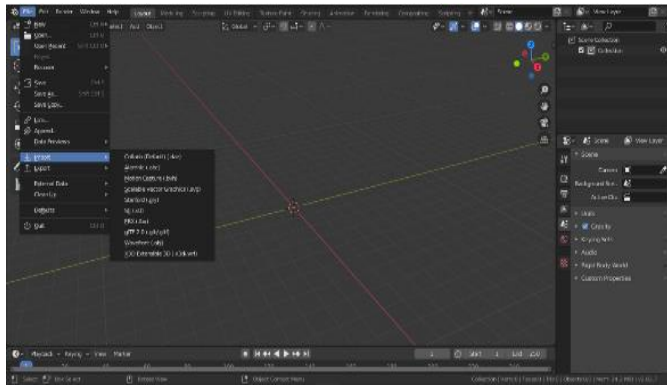
Finalmente este modelo se exporta en formato FBX al software Blender, para continuar con la siguiente etapa de diseño.



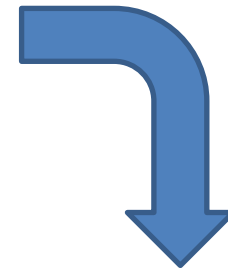
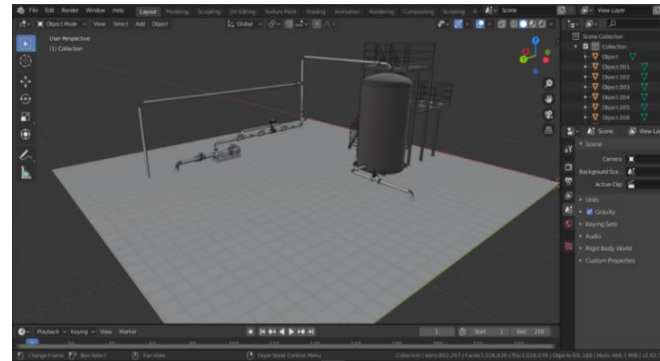
ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Blender

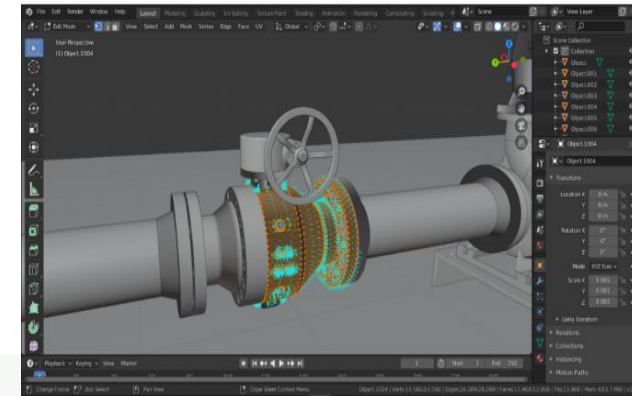
Determinación de los formatos a exportar desde Blender



Corrección de los parámetros de configuración

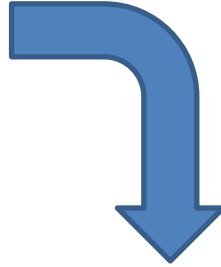


Corrección de errores y optimización de los modelos

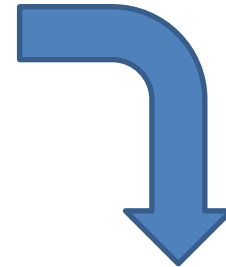
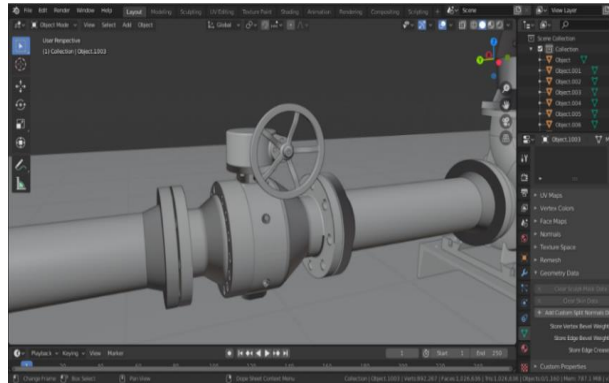


Blender

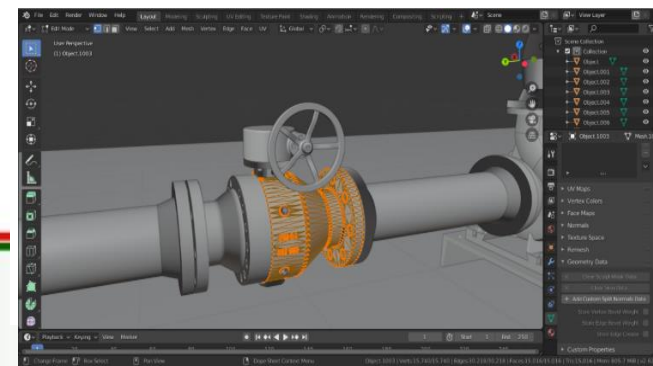
Eliminación de configuración del modelo importado



Sombreado de objeto desaparecido

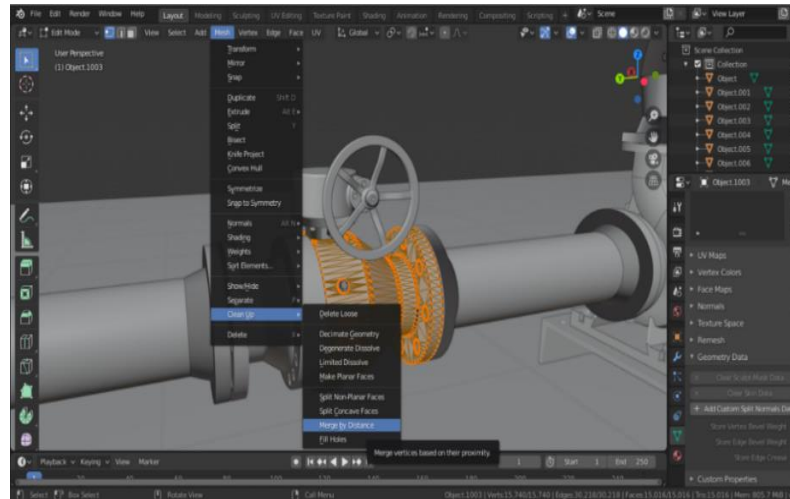


Visualización de vértices innecesarios

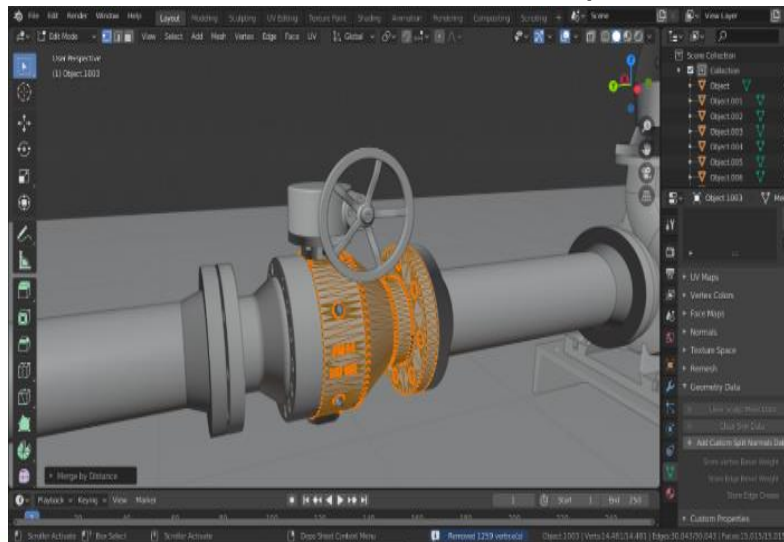


Blender

Eliminación de vértices innecesarios

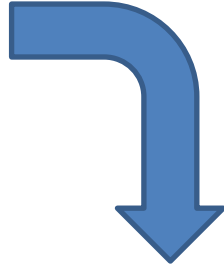


Cambio la distancia entre vértices para su eliminación

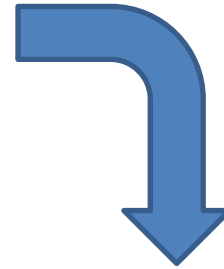
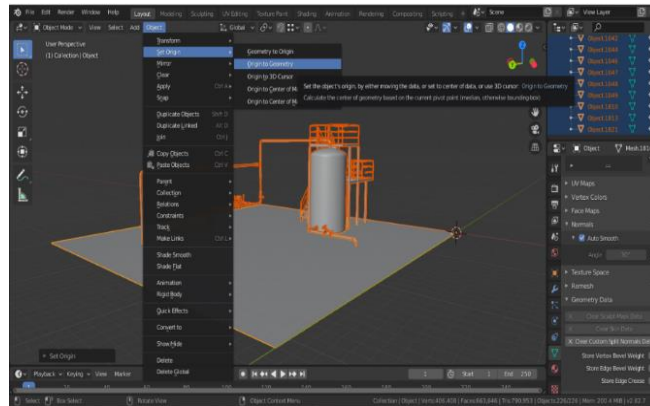


Blender

Configuración de los puntos de rotación



Origin to Geometry

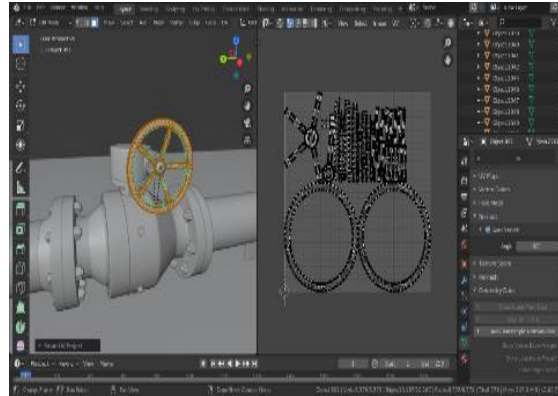


Configuración de un punto de rotación personalizado



Blender

Creación de Mapas UV

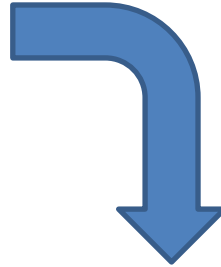
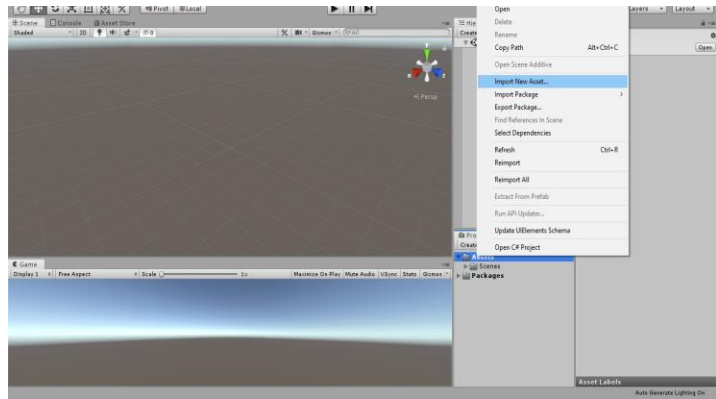


Diseño final del proceso industrial del control de nivel

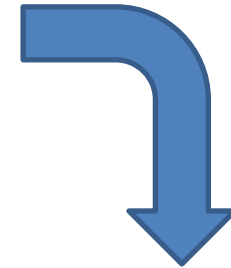
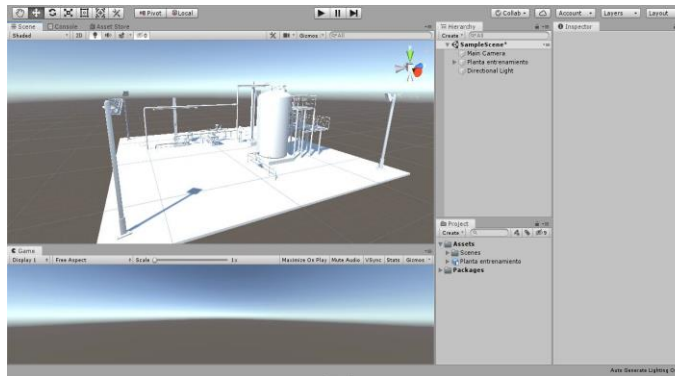


Implementación del entorno virtual en Unity 3D

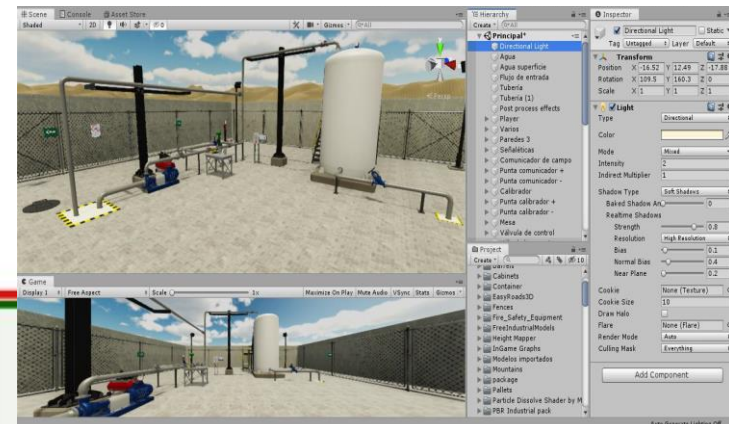
Importación del proceso industrial a Unity 3D



Escena del proceso industrial de nivel



Proceso industrial de nivel incluido iluminación, detalles, efectos y texturas diseñado en Unity 3D



Simulación del comportamiento de la planta.

$$integral(t) = integral(t) + e(t) * dt$$

$$integral(t) = integral(t) + e(t) * dt$$

$$derivativo(t) = \frac{e(t) - e_{anterior}(t)}{dt}$$

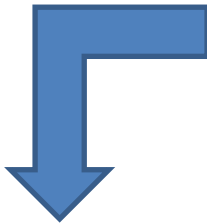
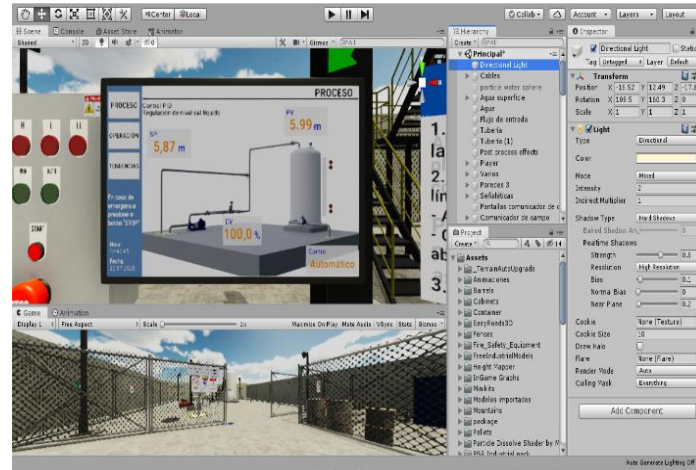
$$k_p = 2.5 \quad k_i = 0.05 \quad K_d = 2.7$$

Sintonía del controlador PID, se utiliza el método del tanteo. El procedimiento realizado es colocar la acción integral en ∞ , la acción derivativa en cero y la ganancia proporcional en cero, después se aumenta la ganancia proporcional hasta obtener una relación de amortiguamiento de 0,25; el valor obtenido de la ganancia proporcional es 2,5; después se incrementa lentamente la acción integral hasta eliminar el error en estado estacionario obteniendo el siguiente valor 0,05; finalmente se aumenta la acción derivativa en pequeños incrementos hasta obtener una respuesta anticipativa (rápida), el valor obtenido es 2,7.

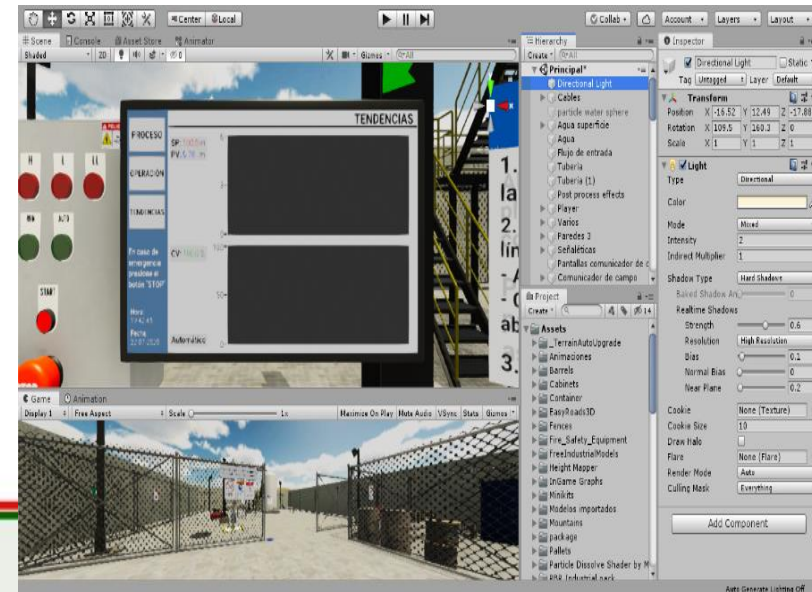
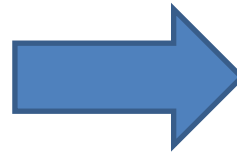
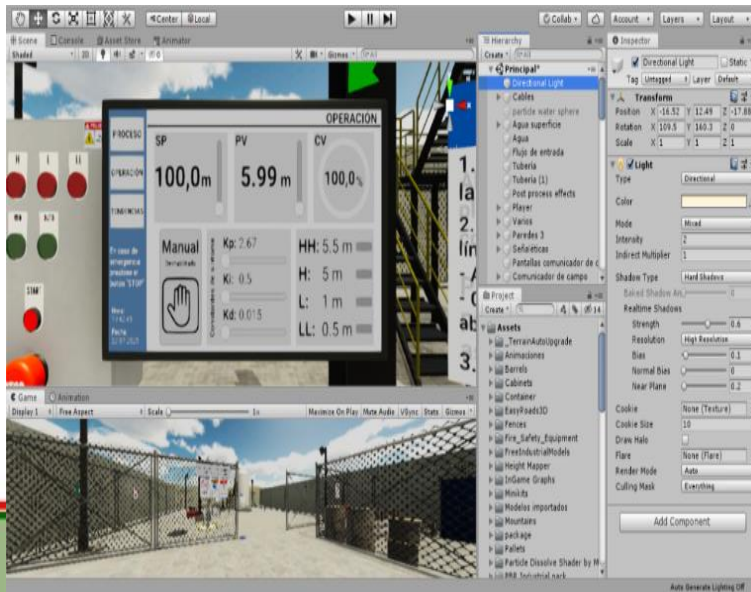


Implementación de la interfaz humana-máquina (HMI).

(Proceso)

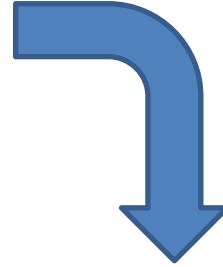


(Operación)

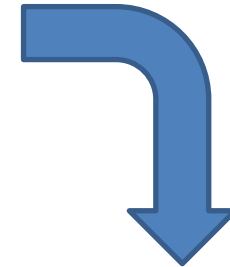


Implementación de la interfaz humana-máquina (HMI).

Implementación del Bypass



Entorno virtual del proceso industrial de nivel finalizado (tanque de nivel)

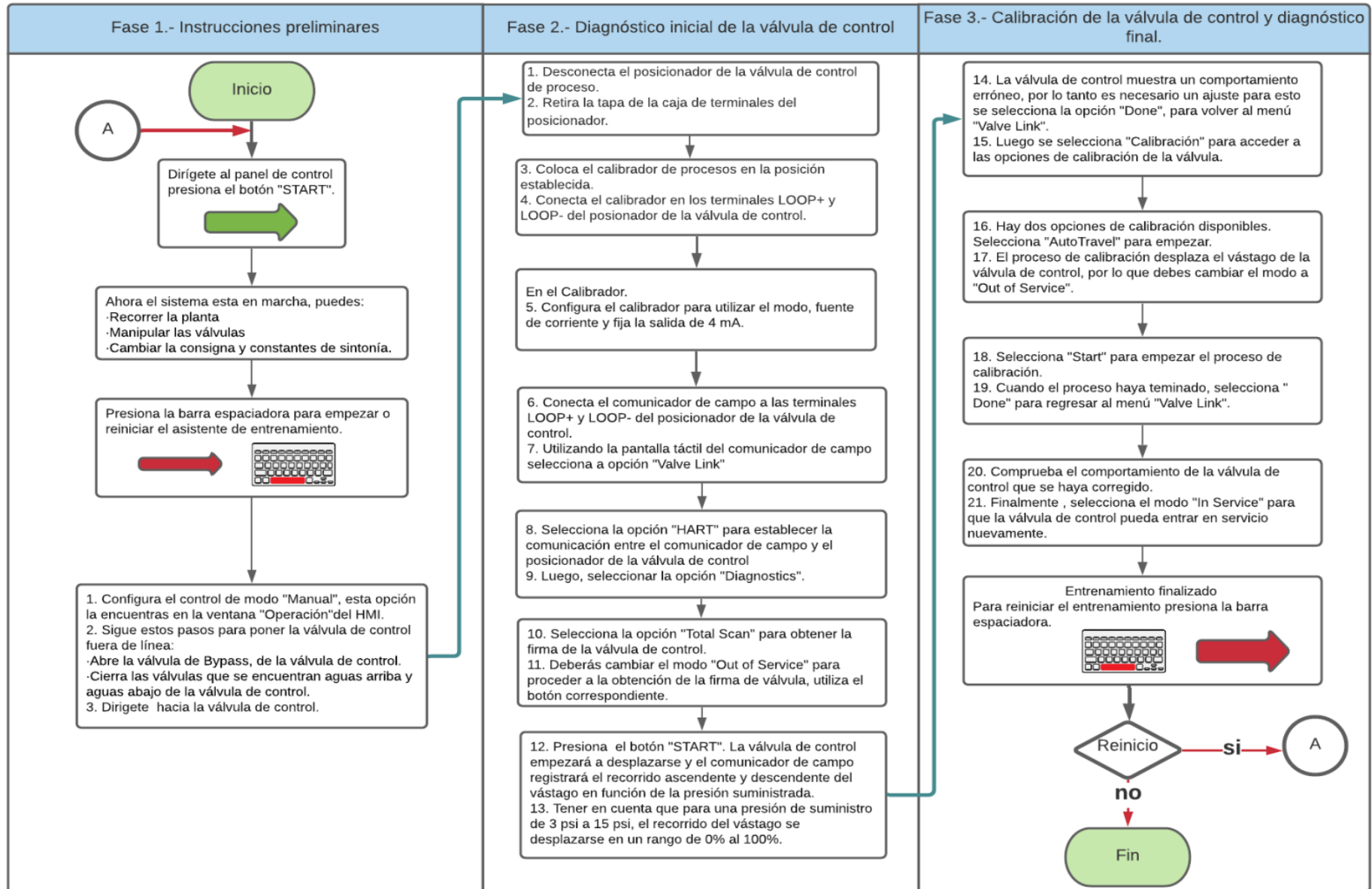


Entorno virtual del proceso industrial de nivel finalizado (sistema de calibración)



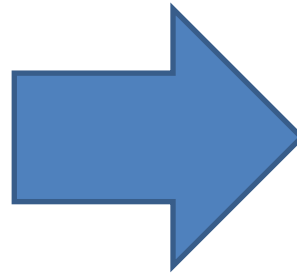
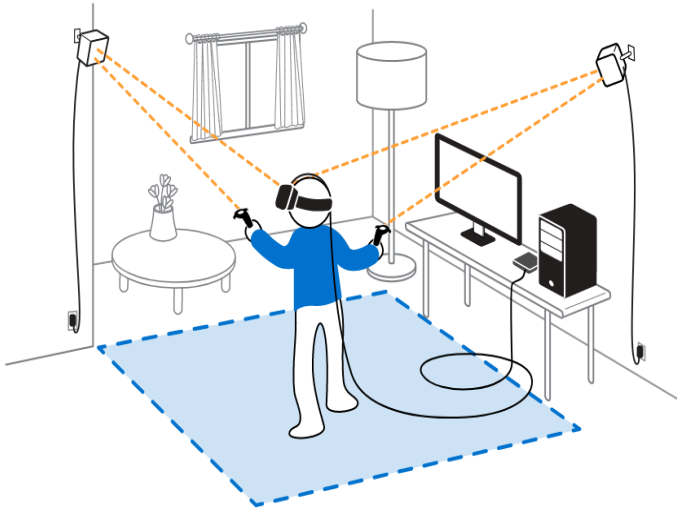
Implementación del flujograma del proceso de calibración de la válvula de control (Check List).

Flujograma del proceso de calibración de la válvula de control (Chechk list)



Desarrollo de la implementación virtual del proceso de calibración de la válvula de control

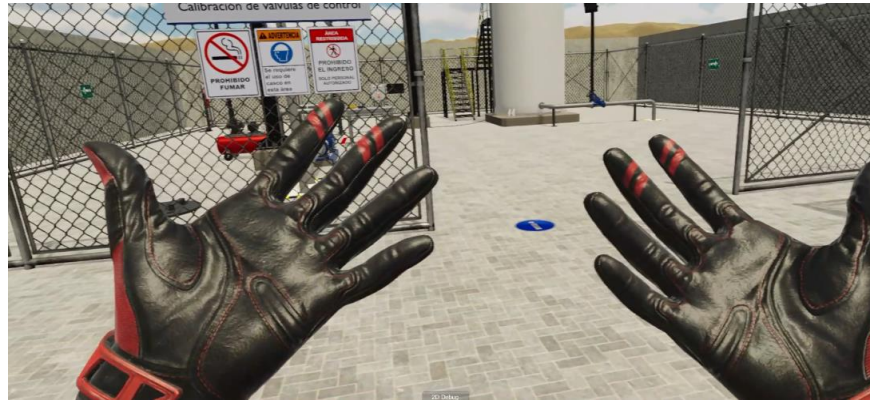
Versión inmersiva \checkmark \wedge , esta desarrolla en Unity 3D, y el kit de realidad virtual HTC vive, es el aplicativo cumpliendo el objetivo general del presente proyecto de titulación.



CAPÍTULO IV

Resultados del entorno virtual inmersivo.

Imagen de los guantes virtuales en movimiento para la manipulación de los instrumentos industriales.



Uso de los mandos con control háptico HD y gatillos en el sistema virtual



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Resultados del entorno virtual inmersivo.

Inicio del sistema mediante el uso del guante virtual que emula la acción física del operador



Apertura de una válvula manual, utilizando los guantes virtuales.



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Resultados del funcionamiento del sistema virtual de Nivel

Visualización de las variables principales del proceso industrial de nivel en el HMI



Controlador sintonizado y en funcionamiento con un mínimo error



Resultados del funcionamiento del sistema virtual de Nivel

Visualización de las variables principales del proceso industrial de nivel en el HMI

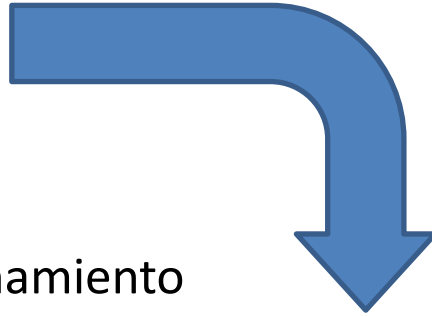
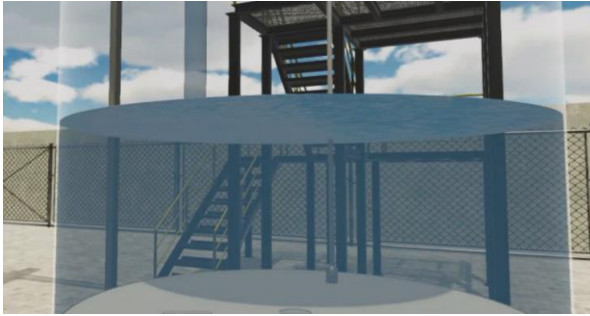


Controlador sintonizado y en funcionamiento con un mínimo error

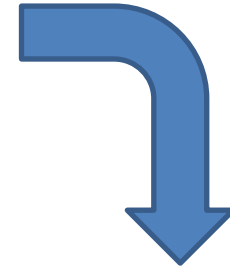
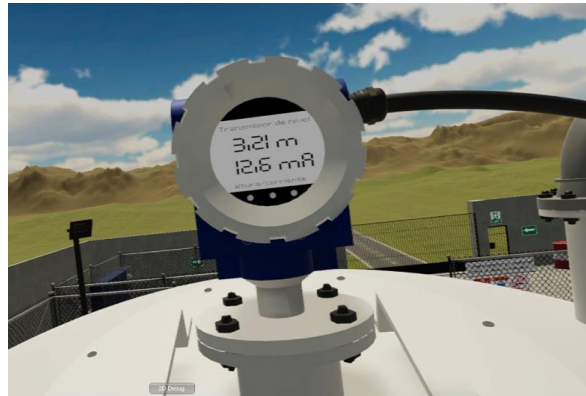


Resultados del funcionamiento del sistema virtual de Nivel

Visualización del tanque de nivel en llenado continuo.



Transmisor de nivel en funcionamiento con visualización de la corriente y la altura del tanque.



Válvula de control en funcionamiento, desplazándose de acuerdo a la señal del control value (CV) que genera el controlador

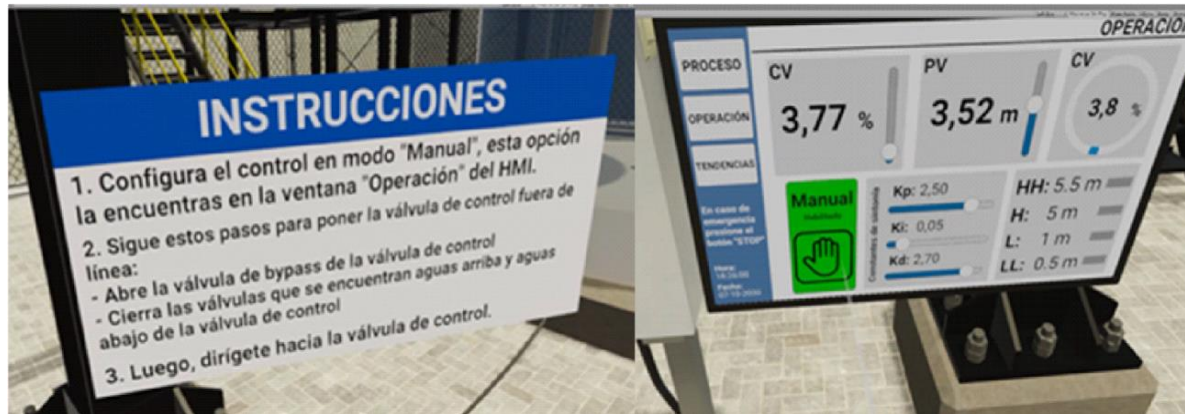


Resultado de la calibración de la válvula de control

Inicio del asistente para la calibración de la válvula de control

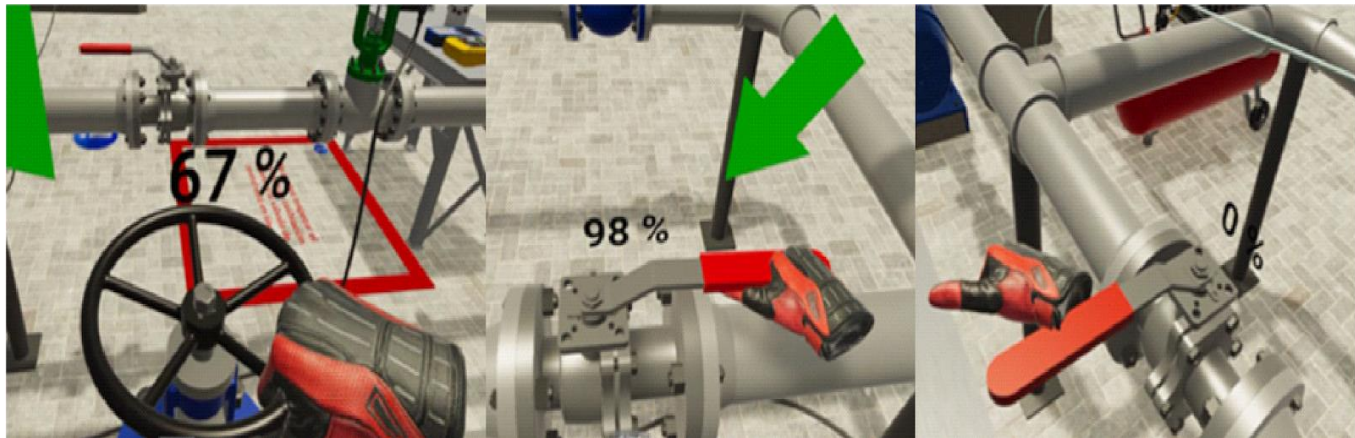


Configuración del sistema de control en modo manual

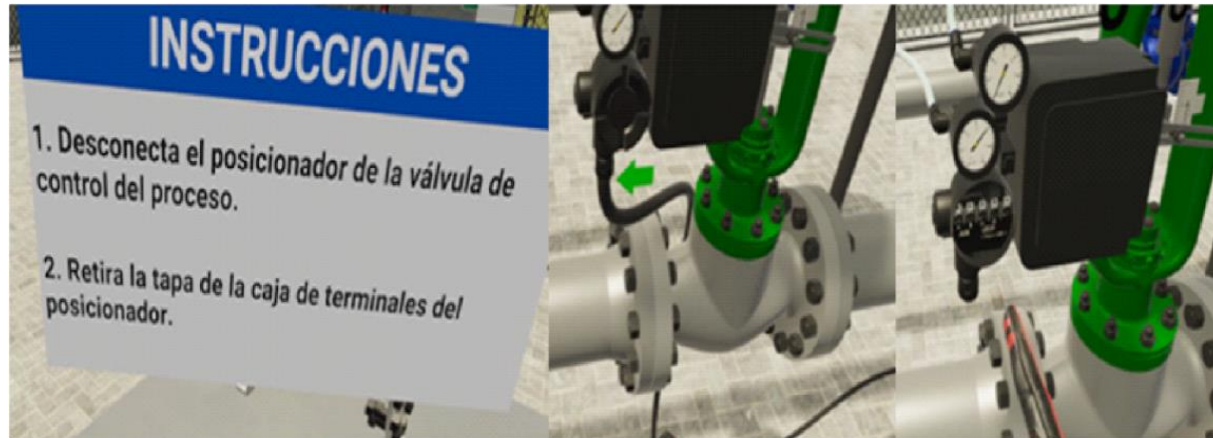


Resultado de la calibración de la válvula de control

Procedimiento para habilitación de la válvula de Bypass



Procedimiento realizado a la válvula de control,
para la conexión del calibrador



Resultado de la calibración de la válvula de control

Procedimiento de conexión del calibrador de procesos



Procedimiento de conexión del configurador de campo



Resultado de la calibración de la válvula de control

Procedimiento para la obtención de la firma de la válvula
(resultado “válvula descalibrada”)



Procedimiento de ajuste de la válvula de control
y la obtención de la firma de la válvula
(resultado “válvula calibrada”)



Demostración práctica de la implementación del entorno virtual

DESARROLLO DE UN ENTORNO VIRTUAL 3D QUE SIMULE UN PROCESO INDUSTRIAL DE NIVEL, ORIENTADO AL ENTRENAMIENTO PARA LA CALIBRACIÓN DE UNA VÁLVULA DE CONTROL



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Resultado de las encuestas para la validación del entorno virtual 3D del proceso industrial de nivel.

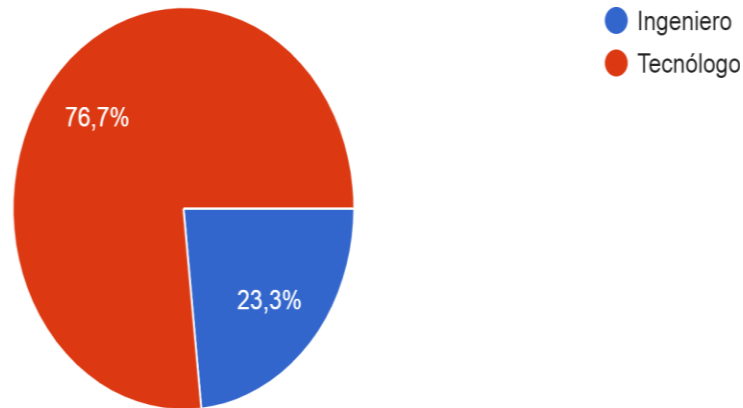
El sistema de entrenamiento implementado del entorno virtual 3D del proceso industrial de nivel ha sido puesto a prueba a profesionales en el área de control, instrumentación industrial y desarrollo de aplicaciones de realidad virtual para la ingeniería. Posteriormente, para validar el funcionamiento del sistema, se realizó una encuesta en la cual estos profesionales evalúan el proceso de entrenamiento.

Resultado del nivel de instrucción de los encuestados

Donde siete (7) participantes son ingenieros y veintitrés (23) son tecnólogos.

Nivel de instrucción:

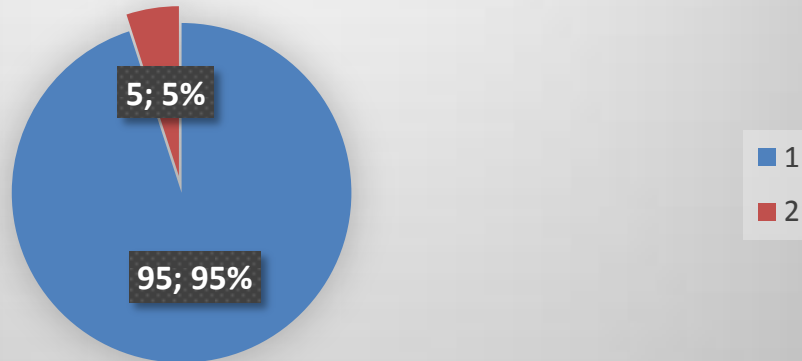
30 respuestas



Resultado de las encuestas para la validación del entorno virtual 3D del proceso industrial de nivel.

La usabilidad del sistema presenta un porcentaje del 95% de aceptación por parte de los usuarios, determinando que el entorno virtual 3D del proceso industrial de nivel, orientado al entrenamiento para la calibración de una válvula de control, cumple como un entrenador virtual para los profesionales del área.

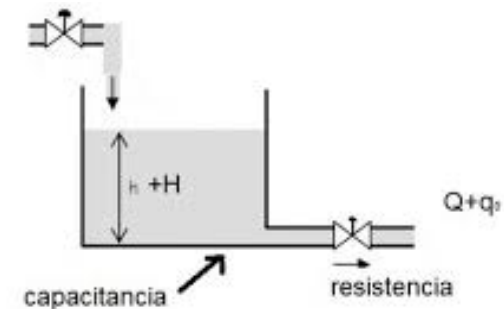
PROMEDIO DE ACEPTACIÓN "ENTRENAMIENTO PARA LA CALIBRACIÓN VIRTUAL DE UNA VÁLVULA DE CONTROL"



CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

- Se implementó un sistema virtual para el enteramiento en la calibración de válvulas de control utilizado herramientas informáticas y tecnologías inmersivas, las mismas que permiten un adestramiento más eficaz que los métodos tradicionales, además que elimina la necesidad de equipos e infraestructura física.
- Se determinó el modelo matemático que describe el comportamiento físico del proceso industrial de nivel, que permite la simulación del sistema de control por estrangulamiento, utilizando una válvula de control como elemento de control final.



CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

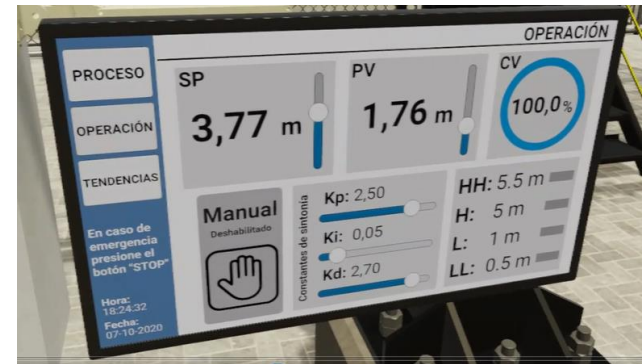
- A partir de un diagrama P&ID desarrollado en Autocad Plant 3D, se diseñó una planta de control de nivel, por medio de herramientas CAD, el mismo que fue animado y caracterizado en un motor gráfico (Unity 3D) que permitió el proceso de aprendizaje óptimo para el entrenamiento de válvulas de control.
- Se realizaron pruebas experimentales de calibración de una válvula de control en un sistema real, de la experimentación se obtuvo el procedimiento de operación (Checklist) que permitió la implementación adecuada del sistema de entrenamiento virtual en la calibración de válvulas de control.



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

CONCLUSIONES

- El sistema virtual desarrollado cuenta con todos los componentes y detalles de un proceso industrial de nivel, lo que permite a los usuarios realizar la sintonía de controladores, cambios de control manual-automático, verificación del funcionamiento de instrumentos industriales y la calibración de la válvula de control. Proporcionando a los usuarios un sistema integral en el área de instrumentación y control.
- El sistema virtual implementado, permite al usuario un entrenamiento libre del riesgo físico, del daño de la infraestructura del módulo y brinda la oportunidad de repetir indefinidamente el proceso sin costo.



CONCLUSIONES

- Se validó el proyecto con pruebas de funcionamiento realizadas por profesionales del área de control e instrumentación dando una aceptación en la usabilidad del 95%, donde su principal fortaleza fue la forma interactiva y fácil para realizar la calibración de la válvula.
- Se puede seguir desarrollando otras actividades de mantenimiento para los elementos de control final pues el código fuente del programa se encuentra abierto y se puede escalar otras actividades técnicas de operación.



RECOMENDACIONES

- Para desempeño óptimo del sistema virtual desarrollado se debe contar con un computador que posea una tarjeta de video dedicada (NVIDIA GTX 2070 de gama alta o superior), para que de esta manera la experiencia del usuario sea satisfactoria.



- Considerar para futuros desarrollos la implementación de modos multiusuario o colaborativo en este tipo de aplicaciones didácticas a fin que existe una interacción de varios usuarios.

Gracias