

ULL

---

Universidad  
de La Laguna

Escuela Superior de  
Ingeniería y Tecnología

## **ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA**

### **Trabajo Fin de Grado**

“Laboratorio Remoto de Automatización y Control Industrial”

**Titulación:** Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

Alumno: Julio José Brito Ramos

Tutoras: Norena Martín Dorta

Silvia Alayón Miranda

JULIO 2014

## ÍNDICE

Capítulo 1 Introducción.....	9
1.1    Objetivo del trabajo de fin de grado .....	9
1.2    Antecedentes de la Simulación en la industria .....	10
Capítulo 2 Descripción de la Estación de Almacén y Distribución de la planta Festo.....	12
2.1    Situación y descripción de la planta FESTO.....	12
2.2    Estación de almacén y distribución.....	13
2.3    Descripción de los elementos de la planta.....	13
2.4    Sensores y actuadores de la planta.....	15
2.5    Funcionamiento de la estación .....	20
2.6    Conexión con el autómeta .....	21
Capítulo 3 Modelado 3D y Simulación .....	22
3.1    Definición y características de un modelo .....	22
3.2    Definición y fases de la simulación.....	22
3.3    Aplicaciones de la simulación en la industria.....	23
3.4    Ventajas de la simulación.....	24
3.5    Softwares especializados en simulación 3D utilizados en este Trabajo Fin de Grado .....	24
3.5.1    Autodesk Inventor.....	24
3.5.2    FESTO COSIMIR .....	25
3.5.3    LabVIEW .....	27
3.5.4    ISG-VIRTUOS.....	28
3.5.5    CIROS Automation Suite.....	29
3.5.6    CODESYS .....	31
3.5.7    IRAI VIRTUAL UNIVERSE .....	32
3.5.8    PC-SIMU.....	32
3.5.9    MATLAB.....	33
3.6    Software especializado seleccionado para el presente Trabajo Fin de Grado .....	33
Capítulo 4 Autodesk Inventor .....	35
4.1    El modelado paramétrico de sólidos.....	35
4.2    Autodesk Inventor.....	35
4.3    Entorno de operaciones .....	38

4.4 Entorno de ensamblaje .....	43
4.5 Ensamblaje de la Estación de Almacén y Distribución de Piezas .....	47
4.6 Entorno de simulación .....	51
4.7 Entorno de Inventor Estudio .....	58
4.8 Entorno de documentación.....	63
4.9 Entorno de presentación.....	66
4.10 Inventor Publisher .....	69
Capítulo 5 Ciroc Mechatronics .....	73
5.1 Introducción .....	73
5.2 Manejo del programa.....	74
5.3 Simulación mediante PLC interno .....	77
5.4 Opciones de visualización .....	80
5.5 Inputs/Outputs.....	80
5.6 Manual Operation .....	81
5.7 Tabla de Símbolos para S7-300 .....	82
Capítulo 6 Simulación de la planta con MATLAB .....	83
6.1 ¿Por qué MATLAB?.....	83
6.2 Simulink .....	83
6.3 Proceso de exportación de Autodesk Inventor a Simulink .....	84
6.4 Desarrollo del modelo final en Simulink .....	88
6.4.1 Creación de un subsistema .....	88
6.4.2 Creación del bloque de control .....	88
6.4.3 Creación del bloque Simmechanics.....	91
6.4.4 Creación del bloque PLC.....	92
6.4.5 Bloque general .....	93
Capítulo 7 Comparación de la planta real con la planta simulada.....	95
7.1 Funcionamiento de la estación de Almacén y Distribución de Piezas en CIROS Mechatronics.....	95
7.2 Funcionamiento de la estación de Almacén y Distribución de Piezas en Autodesk Inventor.....	99
7.3 Funcionamiento de la estación de Almacén y Distribución de Piezas en Simulink.....	99
Capítulo 8 Conclusiones y Líneas futuras / Conclusions and Future Lines.....	104
8.1 Conclusiones.....	104
8.2 Líneas futuras .....	105

8.3 Conclusions.....	106
8.4 Future Lines.....	108
Referencias.....	109
ANEXO I: Diagrama de Grafcet de la estación	
ANEXO II: Código de la planta de laboratorio	
ANEXO III: Código de la planta virtual	
ANEXO IV: Esquemas de trabajo de la Planta Industrial Festo de Almacén y Distribución de Piezas	

## ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Figura 2.1. Planta Industrial Festo.....	12
Figura 2.2. Estación de almacén y distribución.....	13
Figura 2.3. Dibujo del almacén de piezas e imagen real.....	14
Figura 2.4. Pistón extendido y sensor de detección de pieza.....	14
Figura 2.5. Dibujo del brazo con ventosa e imagen real.....	15
Figura 2.6. Detalle de los sensores del pistón.....	15
Figura 2.7. Sensor detector de pieza.....	16
Figura 2.8. Detectores de posición en origen y destino.....	16
Figura 2.9. Brazo distribuidor y ventosa.....	17
Figura 2.10. Pistón extendido.....	17
Figura 2.11. Proceso de succión.....	18
Figura 2.12. Proceso de soplar.....	18
Figura 2.13. Proceso de girar brazo a destino.....	19
Figura 2.14: Botonera no cableada.....	20
Figura 3.1. Fases de la simulación.....	23
Figura 3.2. Ensamblaje realizado en Autodesk Inventor.....	25
Figura 3.3. Interfaz COSIMIR Educational.....	26
Figura 3.4. Interfaz NI LabVIEW.....	28
Figura 3.5. Interfaz ISG-VIRTUOS.....	28
Figura 3.6. Interfaz CIROS Production.....	29
Figura 3.7. Interfaz CIROS Studio.....	30
Figura 3.8. Interfaz CIROS Mechatronics.....	30
Figura 3.9. Interfaz CIROS Advanced Mechatronics.....	31
Figura 3.10. Interfaz CODESYS.....	31
Figura 3.11. Interfaz VIRTUAL UNIVERSE.....	32
Figura 3.12. Interfaz PC-SIMU.....	32
Figura 3.13. Ejemplo de uso de Simmechanics.....	33
Figura 4.1. Herramientas en el entorno de boceto.....	38
Figura 4.2. Herramientas en el entorno de modelado de piezas.....	38
Figura 4.3 Modelo 3D creado en Autodesk Inventor.....	38
Figura 4.4. Boceto de la pieza.....	39
Figura 4.5. Extrusión de la pieza.....	39

Figura 4.6. Herramienta de plano .....	40
Figura 4.7. Herramienta de plano .....	40
Figura 4.8. Extrusión de plano.....	41
Figura 4.9. Boceto con muescas.....	41
Figura 4.10. Extrusión de corte .....	42
Figura 4.11. Empalme.....	42
Figura 4.12. Pieza final .....	43
Figura 4.13. Creación de nuevo ensamblaje .....	43
Figura 4.14. Insertar componentes del ensamblaje.....	44
Figura 4.15. Restricciones de ensamblaje .....	44
Figura 4.16. Restricciones de movimiento .....	45
Figura 4.17. Error de restricción y recuperación.....	46
Figura 4.18. Fijación de piezas .....	46
Figura 4.19. Activación de grados de libertad.....	47
Figura 4.20. Insertar componentes para el ensamblaje.....	47
Figura 4.21. Fijación de mesa con botonera .....	48
Figura 4.22. Asignación del primer punto de coincidencia .....	48
Figura 4.23. Asignación del segundo punto y final de la coincidencia .....	49
Figura 4.24. Restricción coincidencia de ejes.....	49
Figura 4.25. Asignación del segundo punto y final de la coincidencia de ejes .....	49
Figura 4.26. Restricción insertar.....	50
Figura 4.27. Restricción rotación-traslación en el pistón.....	50
Figura 4.28. Restricción rotación-traslación en el pistón.....	51
Figura 4.29. Estructura final de la estación de almacenaje y distribución.....	51
Figura 4.30. Pestaña Entornos de Autodesk Inventor.....	52
Figura 4.31. Elección de conversión automática de restricciones en uniones estándar .....	52
Figura 4.32. Menú contextual de simulación dinámica .....	53
Figura 4.33. Selección grupo móvil pistón .....	53
Figura 4.34. Condiciones iniciales de la unión estándar .....	54
Figura 4.35. Edición del movimiento impuesto .....	54
Figura 4.36. Movimiento impuesto de traslación del pistón .....	55
Figura 4.37. Movimiento impuesto de rotación del brazo.....	56
Figura 4.38. Cuadro de mandos del simulador .....	56

Figura 4.39. Valores variables de la simulación .....	57
Figura 4.40. Restricción espacial sobre pieza.....	58
Figura 4.41. Acceder al entorno de Inventor Studio .....	58
Figura 4.42. Barra de duración de la animación .....	58
Figura 4.43. Opciones de animación .....	58
Figura 4.44. Animar parámetros .....	59
Figura 4.45. Especificación valores de tiempo de simulación .....	59
Figura 4.46. Crear cámara según vista .....	60
Figura 4.47. Animar cámara .....	60
Figura 4.48. Animar cámara y plataforma giratoria .....	61
Figura 4.49. Productor de video.....	61
Figura 4.50. Salida de renderización .....	62
Figura 4.51. Renderización en curso .....	62
Figura 4.52. Creación de nuevo documento de Dibujo.....	63
Figura 4.53. Plantilla creada por defecto .....	63
Figura 4.54. Definición de nuevo cajetín.....	64
Figura 4.55. Creación de base .....	64
Figura 4.56. Vistas de dibujo .....	64
Figura 4.57. Alzado, planta y perfil del bloque del pistón.....	65
Figura 4.58. Importación plantilla del cajetín .....	65
Figura 4.59. Plano creado con vistas elegidas y cajetín .....	66
Figura 4.60. Nuevo archivo de presentación .....	67
Figura 4.61. Comando crear vista.....	67
Figura 4.62. Explosión manual y automática .....	67
Figura 4.63. Mover componentes .....	68
Figura 4.64. Desplazamiento de componentes.....	68
Figura 4.65. Panel de control de la animación .....	69
Figura 4.66. Crear nuevo archivo en Inventor Publisher.....	70
Figura 4.67. Menú Canvas .....	70
Figura 4.68. Vista final de la presentación .....	71
Figura 4.69. Show Timing .....	71
Figura 4.70. Publicar video .....	72
Figura 5.1. Abrir archivo .....	75

Figura 5.2. Intercambio de información mediante PLCSIM .....	76
Figura 5.3. Intercambio de información mediante EasyPort .....	76
Figura 5.4. Abrir el modelo de referencia .....	77
Figura 5.5. Tipo de PLC .....	78
Figura 5.6. S7 Program Manager.....	78
Figura 5.7. Bloque de organización del programa .....	79
Figura 5.8. Inicio de la simulación .....	79
Figura 5.9. Herramientas de visualización recuadradas en rojo .....	80
Figura 5.10. Cambio de vista para comprobación de salida de pieza .....	80
Figura 5.11. Entradas y Salidas.....	80
Figura 5.12. Manual Operation .....	81
Figura 5.13. Tabla de símbolos de CIROS Mechatronics .....	82
Figura 5.14. Tabla de Símbolos del programa realizado en este Trabajo Fin de Grado.....	82
Figura 6.1. Librerías disponibles en Simulink .....	84
Figura 6.2. Instalación complemento Simmechanics.....	85
Figura 6.3. Exportar Simmechanics a formato de Simulink .....	85
Figura 6.4. Fragmento de diagrama de bloques Simulink.....	85
Figura 6.5. Diagrama de bloques importado de Autodesk Inventor.....	86
Figura 6.6. Parámetros del bloque Joint Actuator .....	87
Figura 6.7. Control del pistón mediante Slider Gain .....	87
Figura 6.8. Herramienta subsystem y composición .....	88
Figura 6.9. Parámetros del bloque Integrator Limited.....	89
Figura 6.10. Sistema de control del pistón.....	90
Figura 6.11. Sistema de control del brazo y la ventosa.....	91
Figura 6.12. Llegada de la señales pistón y mover brazo al actuador.....	91
Figura 6.13. Detección de pieza en inicio.....	92
Figura 6.14. Bloque PLC.....	93
Figura 6.15. Bloque general .....	94
Figura 6.16. Simulación bloque general.....	94
Figura 7.1: Botonera.....	95
Figura 7.2: Condiciones iniciales .....	96
Figura 7.3: Expulsión de la pieza del almacén.....	96
Figura 7.4: Movimiento del brazo a posición de origen y acción de succión.....	97

Figura 7.5: Movimiento del brazo a posición de destino y acción de soplar .....	97
Figura 7.6: Parada de emergencia.....	98
Figura 7.7: Estación 0 con piezas en CIROS Mechatronics .....	98
Figura 7.8: Conmutador Solicitar Pieza .....	100
Figura 7.9: Pieza roja que ha descendido por el almacén.....	100
Figura 7.10: Conmutador que activa la salida Q0.0 .....	100
Figura 7.11: Pistón activado que expulsa la pieza.....	101
Figura 7.12: Sensores de posicionamiento del pistón .....	101
Figura 7.13: Conmutadores para las salidas Q0.3 y Q0.4.....	102
Figura 7.14: Activación de la salida Q0.3 .....	102
Figura 7.15: Activación de la salida Q0.4 .....	103
Tabla 2.1. Entradas al S7-200 .....	21
Tabla 2.2. Salidas al S7-200 .....	21
Tabla 5.1. Comparativa software CIROS Automation Suite .....	74

# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1 Objetivo del trabajo de fin de grado

El presente Trabajo Fin de Grado tiene como objetivo principal la implementación de una herramienta que permita la simulación dinámica tridimensional de la Estación de Almacén y Distribución de la Planta Industrial Festo. Esta estación se encuentra ubicada en el Laboratorio de Automatización del Departamento de Ingeniería Informática de la Universidad de la Laguna.

La temática del presente Trabajo Fin de Grado está orientada al conocimiento de los procesos industriales, los elementos que lo integran, el diseño y optimización de conjuntos que conforman el proceso, la programación y el control de autómatas programables, y el estudio y desarrollo de software específico para aplicaciones industriales.

Debido al elevado coste tanto de las plantas Festo como de la herramienta de simulación que dicha empresa nos ofrece, se han de tomar alternativas viables para que los alumnos de las distintas asignaturas de Automatización y Control de las diferentes Ingenierías puedan realizar prácticas en un entorno virtual sin tener que utilizar la planta real o simularla previamente antes de hacerlo en clase. Esto evitaría el coste de comprar nuevas plantas, ya que se pueden crear unas nuevas, con las características que el profesor desee, y el alumno podría simularlas desde su propio ordenador sin tener que acceder a los del laboratorio.

Para ello se modelará con una herramienta CAD (Computer Aided Design) la estructura de la planta. Con este modelo se realizará la simulación de la estación. En concreto, se utilizará el software Autodesk Inventor, que permite modelar y realizar una simulación del comportamiento del sistema en tiempo real bajo diversas circunstancias.

Por otra parte se llevarán a cabo pruebas con el software comercial CIROS Mechatronics de la empresa Festo, que permite simular el control y el comportamiento de las plantas industriales disponibles en el laboratorio y otras que no lo están mediante la importación de un código realizado en el STEP 7 de un S7-300.

Se realizará además una programación en la planta real para comprobar que la simulación efectuada tanto en el modelo de Autodesk Inventor como en el de CIROS Mechatronics concuerda con el comportamiento real de la planta.

Como parte adicional del presente TFG, se ha intentado crear una interfaz la cual permita al usuario importar un modelo CAD creado por él mismo, en nuestro caso la

Estación de Almacén y Distribución, y poder manipular los movimientos de dicho modelo CAD mediante una programación realizada en un software de autómatas, del mismo modo que permite el CIROS Mechatronics. Para ello se han estudiado varias alternativas que se comentarán en el capítulo de Modelado 3D y Simulación de la presente memoria.

Como posible solución se propone el uso del software Matlab, del que la Universidad de La Laguna posee licencia. Matlab permite importar ensamblajes creados en Autodesk Inventor y mover los mecanismos que tiene dicho ensamblaje mediante la herramienta Simulink, además permite exportar el código creado por ésta a C. Por lo que es una herramienta más que válida para la ejecución final de este Trabajo Fin de Grado.

## 1.2 Antecedentes de la Simulación en la industria

Durante las últimas décadas se ha experimentado un gran avance tecnológico que ha ido revolucionando la Ingeniería Industrial, y para ser más exactos, la Ingeniería de Procesos. En este campo la Simulación es una de las herramientas tecnológicas más útiles, ya que evita un posible coste añadido a la hora de diseñar e implementar un sistema, y que éste, al ejecutarse, presente errores no determinados en la fase de diseño.

Como definición de Simulación podemos tomar la formulada por R.E. Shannon: "La simulación es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a término experiencias con él, con la finalidad de comprender el comportamiento del sistema o evaluar nuevas estrategias -dentro de los límites impuestos por un cierto criterio o un conjunto de ellos - para el funcionamiento del sistema" [1].

En el ámbito industrial la Simulación es importante porque presenta las siguientes características:

- El simular procesos y/o sistemas es más económico que la construcción física del sistema, además de la posibilidad de encontrar errores o fallos en el diseño del modelo.
- Precisión de operaciones y reducción de tiempos de trabajo y de localización de averías
- Se puede observar la evolución que presenta el sistema en el tiempo, y éste se puede modificar para que los movimientos tengan una velocidad distinta. También se puede retroceder y visualizar algún elemento específico con mayor detalle

El comienzo de la simulación data de mediados de los años 40, con el trabajo de [2], el cual se basaba en solucionar problemas de difusión de neutrones en el diseño y desarrollo de la bomba de hidrógeno, debido al alto coste y al complicado análisis matemático que supondría aplicarlo experimentalmente.

En 1960, Keith Douglas Tocher desarrolló un programa cuya principal función era simular el funcionamiento de una planta de producción, en la que las máquinas

realizaban ciclos por estados: Esperando, Ocupado, No disponible y Fallo [3]. De manera que las simulaciones en los cambios de estado de las máquinas marcarían el estado definitivo de la producción de la planta.

A partir de dichas simulaciones, se ha ido evolucionando en la simulación de tal manera que presenta una herramienta que permite observar como se comportaría el sistema ante determinadas condiciones y la detección y reparación de errores, lo que supone un menor coste a la industria y una opción para optimizar sus recursos.

El presente Trabajo Fin de Grado es la continuación de una serie de proyectos fin de carrera realizado sobre otras estaciones industriales Festo, como son “Simulación dinámica de la estación de test de la planta industrial Festo” [4], “Simulación dinámica de la Estación de Procesado de Piezas de la Planta Industrial Festo” [5] y “Simulación dinámica de la Estación de Clasificación de Piezas de la Planta Industrial Festo” [6].

A su vez, se encuentra en Internet una página web [7] creada por los autores de un proyecto final de carrera anterior y modificada en el presente Trabajo Fin de Grado, que alberga imágenes, videos y la memoria de los proyectos que se han subido.

## Capítulo 2

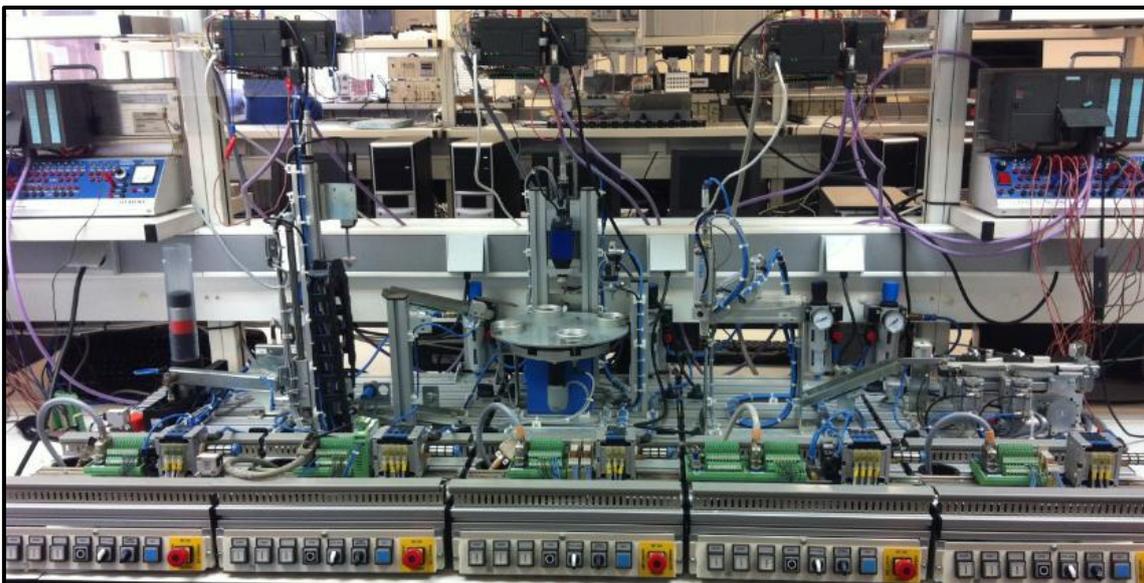
# Descripción de la Estación de Almacén y Distribución de la planta Festo

### 2.1 Situación y descripción de la planta FESTO

La planta se encuentra situada en el Laboratorio de Automatización del Departamento de Ingeniería de Ingeniería Informática de la Universidad de La Laguna, ubicado en la planta 0 del Edificio de Física y Matemáticas. En dicho laboratorio podemos encontrar 5 estaciones de la empresa Festo que simulan un proceso industrial real y que pasamos a enumerar:

0. Almacén y distribución
1. Medición de longitud de piezas
2. Procesado de piezas
3. Brazo manipulador
4. Clasificación de piezas

En la figura 2.1 se muestran las estaciones. Su numeración es ascendente de izquierda es decir la primera de la izquierda es la 0 y la última es la 4.



*Figura 2.1. Planta Industrial Festo*

Cada una de las estaciones está controlada con por un autómata programable o PLC (Programmable Logic Controller) de la casa Siemens, la 1 y la 4 por un S7-300 y las restantes con un S7-200.

## 2.2 Estación de almacén y distribución

El objetivo de esta estación es surtir de piezas al resto de estaciones. Para ello cuenta con un almacén que guarda las piezas hasta que recibe la señal de que la siguiente estación requiere una pieza, en ese momento un pistón expulsa la pieza del almacén y un brazo robótico con ventosa recoge la pieza para dejarla finalmente en el lugar de entrega de la siguiente estación. Cuando ha acabado, el brazo se ubica en posiciones iniciales y espera que se solicite otra pieza (Figura 2.2).

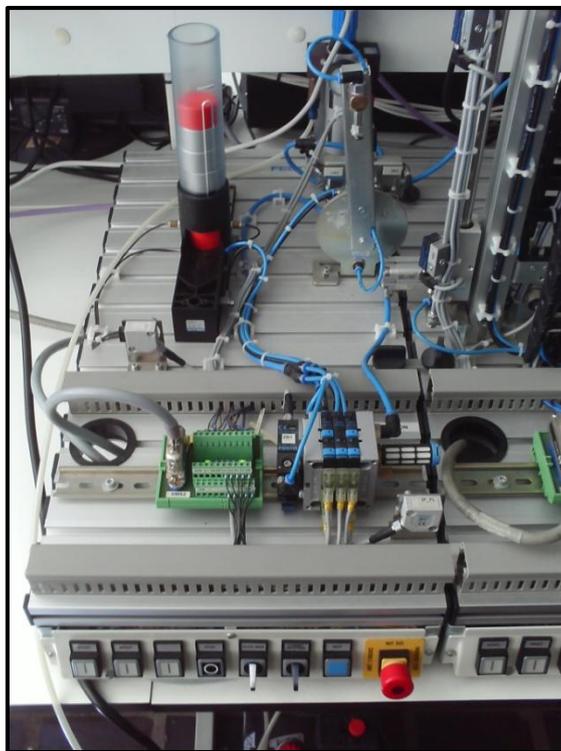


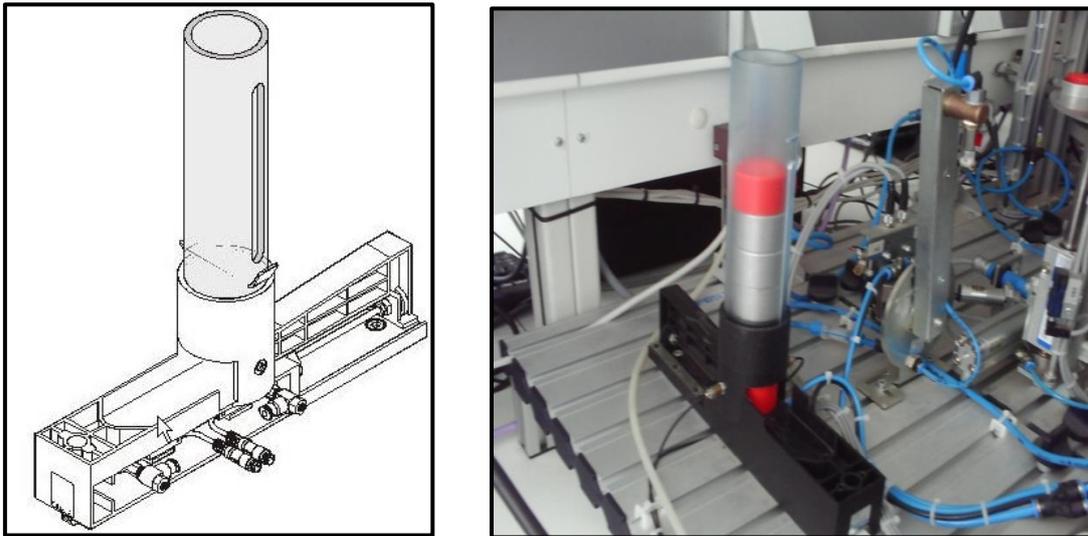
Figura 2.2. Estación de almacén y distribución

## 2.3 Descripción de los elementos de la planta

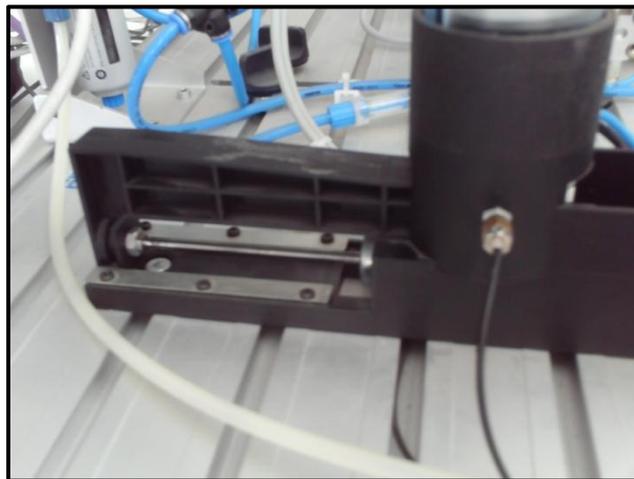
La estación de almacén y distribución consta de los siguientes elementos:

- **Bloque del almacén**

Consta de un almacén de piezas vertical (Figura 2.3) y de un pistón que neumáticamente expulsa las piezas cuando se le ordena desde el autómata (Figura 2.4). Además existe un sensor que detecta la existencia de piezas en el almacén (ofrece un '0' lógico en caso de que existan piezas).



*Figura 2.3. Dibujo del almacén de piezas e imagen real*



*Figura 2.4. Pistón extendido y sensor de detección de pieza*

- **Brazo distribuidor**

Consta de un mecanismo neumático que permite mover el brazo en dos sentidos, uno dirección al almacén y otro a la siguiente estación. Cuando llega al límite de cualquiera de los dos sentidos, tiene un final de carrera para parar el movimiento.

- **Ventosa**

Se encuentra en la parte superior del brazo y su movimiento es solidario a la rotación de éste. La ventosa tiene un sensor que detecta cuando hay pieza sujeta a la misma (Figura 2.5).

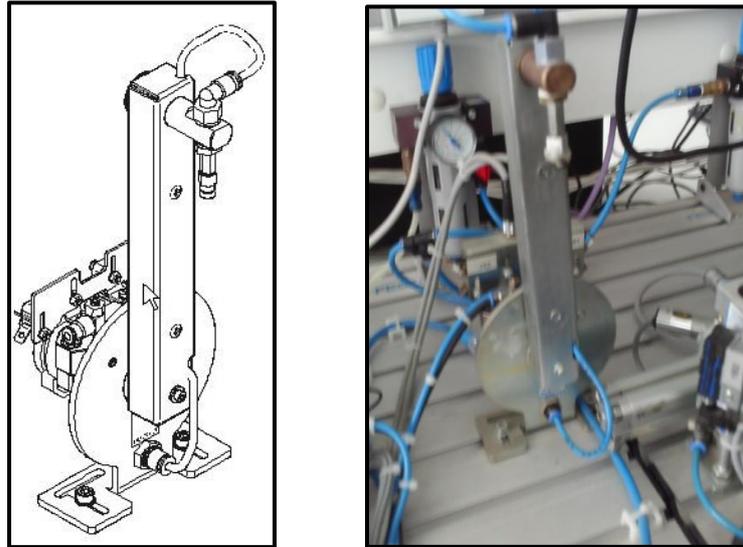


Figura 2.5. Dibujo del brazo con ventosa e imagen real

## 2.4 Sensores y actuadores de la planta

La planta consta de una botonera que se encuentra desconectada y de una serie de sensores y actuadores que interactúan con el autómata:

### Sensores

- **Sensor de detección pistón extendido y retraído**

El pistón se encuentra inicialmente retraído, si se quiere expulsar pieza se envía un '1' lógico al actuador que hace que se extienda el pistón y así poder expulsar la pieza del almacén. Para saber si el sensor está o no retraído hay dos finales de carrera (Figura 2.6).

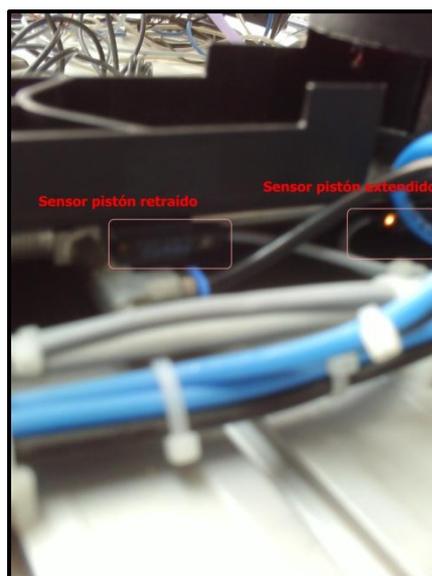
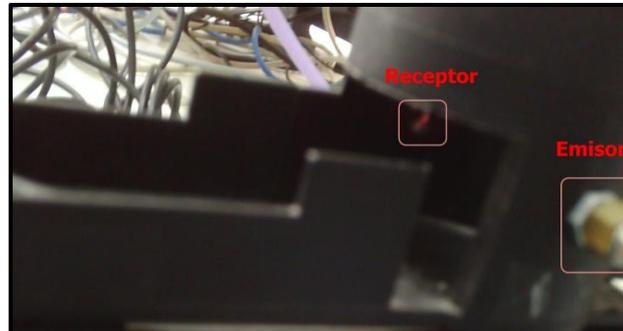


Figura 2.6. Detalle de los sensores del pistón

- **Sensor de detección de pieza en almacén**

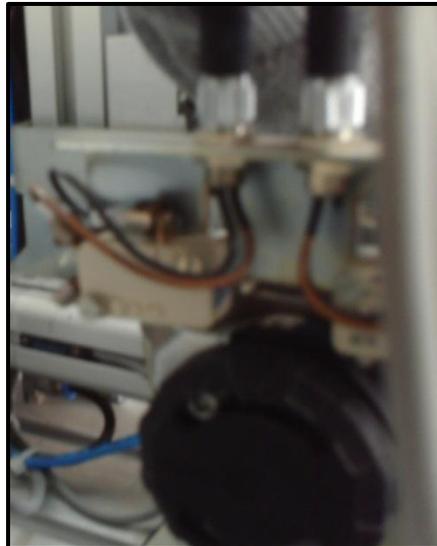
En el interior del almacén se encuentra un sensor que actúa a modo de fotocélula. Cuando el haz de luz que emite se corta con un objeto (en este caso, con una pieza) el sensor emite un '0' lógico (Figura 2.7).



*Figura 2.7. Sensor detector de pieza*

- **Finales de carrera brazo en origen y destino**

El brazo distribuidor contiene unas muescas en su parte trasera que giran solidarias al giro del mismo. Una vez que ha llegado a su límite, ya sea en origen o destino, dicha muesca activa la pestaña del final de carrera correspondiente (Figura 2.8).



*Figura 2.8. Detectores de posición en origen y destino*

- **Sensor de detección de pieza en ventosa**

Existe un sensor dentro de la ventosa que informa en todo momento si la pieza está sujeta a la ventosa o se ha soltado (Figura 2.9).



*Figura 2.9. Brazo distribuidor y ventosa*

### Actuadores

- **Pistón**

Con '1' lógico el pistón se retrae, y al ser de simple efecto, únicamente volverá a su posición de reposo si le llega un '0' lógico (Figura 2.10).



*Figura 2.10. Pistón extendido*

- **Succión**

Con este actuador la ventosa sujeta la pieza (Figura 2.11).



*Figura 2.11. Proceso de succión*

- **Soplar**

Con este actuador se consigue que la pieza se desprenda de la ventosa mediante un soplo de aire (Figura 2.12).



*Figura 2.12. Proceso de soplar*

- **Girar brazo a origen / destino**

El brazo distribuidor va a estar continuamente cogiendo piezas del almacén para enviárselas a la estación 1, para ello se ha de tener en cuenta que no se puede mover a la vez en ambos sentidos (Figura 2.13).



*Figura 2.13. Proceso de girar brazo a destino*

#### Sensores y actuadores no físicos implementados

Debido a que la botonera se encuentra físicamente en la planta pero no se ha cableado al autómatas (Figura 2.14), en este Trabajo Fin de Grado se han usado las entradas y salidas físicas del autómatas para implementar los siguientes sensores y actuadores:

- **Pulsador de emergencia**  
Con esta entrada se parará el proceso y se ejecutará la parada de emergencia. En la parada de emergencia se detienen todos los elementos del sistema, y en el supuesto que el brazo esté llevando una pieza, se mantiene dicha pieza sujeta en la ventosa hasta que se lleve el brazo a la posición de destino, una vez ahí se terminará el proceso de emergencia
- **Conmutador Aut/Man**  
Si el conmutador se encuentra en AUT se ejecutará el proceso de manera automática hasta que no haya ninguna pieza en el almacén. Si se encuentra en MAN sólo se hará el proceso cuando el operario solicite una pieza.
- **Botón de solicitar pieza**  
Solo funcionará en modo Manual y servirá para que el operario pida que se procese una pieza para ser llevada a la estación 1.
- **Luz de Emergencia**  
Se pondrá en funcionamiento si se ha puesto en funcionamiento el estado de emergencia



*Figura 2.14: Botonera no cableada*

## 2.5 Funcionamiento de la estación

El procedimiento que sigue esta estación es el siguiente:

Condiciones iniciales: Se resetean todos los actuadores y se coloca el brazo en posición origen. Si no se encuentra en dicha posición se ha de programar para que se desplace hasta ella.

- 1- Estando en condiciones iniciales y habiendo piezas en el almacén se decidirá si ejecutar el proceso de forma manual o automática
  - a) Automática: Se ejecutará todo el proceso hasta que no queden piezas en el almacén
  - b) Manual: Se ejecutará una vez el proceso cuando el operario solicite una pieza
- 2- Una vez se haya elegido el modo de actuación, se mueve el brazo a la posición de destino.
- 3- Si hay pieza, se extiende el pistón para expulsar la pieza del almacén, se mueve el brazo a la posición de origen y se retrae el pistón
- 4- Una vez que el pistón ha sido retraído y el brazo esté en la posición de origen, se activa la succión.
- 5- Si detecta que hay pieza en ventosa, el brazo se dirige a la posición de destino
- 6- Cuando el brazo ha llegado a la posición de destino, se sopla la pieza y se vuelve al paso número 1.

Emergencia: En caso de emergencia se pararán todos los actuadores, a excepción de la succión en el supuesto de que se estuviera llevando una pieza en el momento de la emergencia, y ésta concluirá cuando se haya llevado el brazo a la posición de destino.

## 2.6 Conexión con el autómata

A continuación se muestran las conexiones de actuadores y sensores al PLC S7-200 (Tabla 2.1 y Tabla 2.2).

Entrada	Símbolo
I0.6	Detector Pieza en Almacén
I0.5	Brazo en Posición Destino
I0.4	Brazo en Posición Origen
I0.3	Pieza en Ventosa
I0.2	Pistón Retraído
I0.1	Pistón Extendido
I1.5	Pulsador de Emergencia
I1.0	AUT/MAN
I1.1	Solicitar Pieza

*Tabla 2.1. Entradas al S7-200*

Salida	Símbolo
Q0.0	Pistón
Q0.1	Succión
Q0.2	Soplar
Q0.3	Mover Origen
Q0.4	Mover Destino
Q1.0	Luz Emergencia

*Tabla 2.2. Salidas al S7-200*

## Capítulo 3

# Modelado 3D y Simulación

### 3.1 Definición y características de un modelo

Un modelo es una representación abstracta, conceptual, visual o gráfica de un objeto, sistema o proceso que nos permite entender, comprobar y mejorar el funcionamiento del mismo. Dicho modelo puede ser una figura o ensamblaje con las medidas reales o no, si lo que se pretende es un uso de prueba que sea intuitivo. También puede estar a una escala diferente a la que será finalmente diseñado.

Las características principales de un modelo son:

- Se trata de una representación de la realidad que intenta hacernos comprender su funcionamiento ante determinadas condiciones.
- Tiene en cuenta todas las variables que intervienen en el sistema y las relaciones existentes entre ellas.
- Ante las posibles condiciones, plantea una serie de hipótesis para poder representar lo que se quiere estudiar.

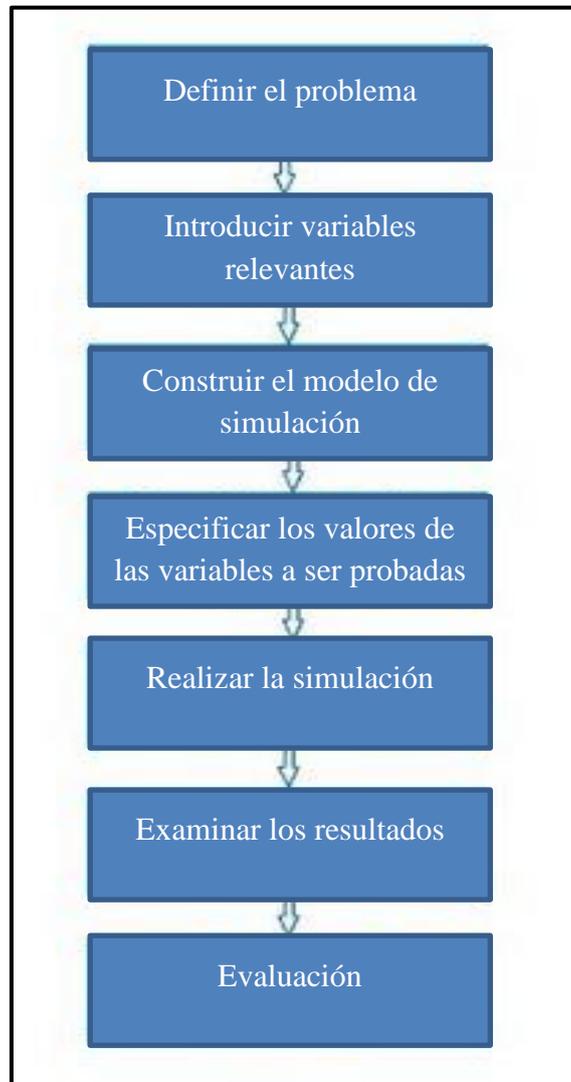
### 3.2 Definición y fases de la simulación

La simulación consiste en utilizar el modelo generado en la anterior fase para estudiar su comportamiento ante una serie de condiciones y situaciones posibles, con el fin de intentar resolver los posibles problemas que puedan suceder.

La simulación consta de varias fases (Figura 3.1):

- Definir el problema: en esta etapa se escoge el medio a partir del cual se creará el modelo y se determinan los límites y restricciones que tendrá el mismo.
- Introducir variables relevantes: se debe valorar las variables y parámetros del modelo.
- Construir el modelo de simulación con el software específico para ello.
- Ajustar los valores de las variables que han de ser probadas. Por ejemplo, en un brazo robótico que llegará hasta una determinada posición, fijar las restricciones que no le permitirán sobrepasar dicha posición.
- Realizar la simulación ajustando los parámetros para lo que queramos observar.
- Analizar los resultados, si se encuentran errores repararlos para lograr un modelo fiable.

- Evaluación: comprobar el grado de ajuste entre el modelo virtual y el real con los parámetros previamente establecidos.



*Figura 3.1. Fases de la simulación*

### 3.3 Aplicaciones de la simulación en la industria

La simulación ha generado un gran avance en la industria debido a que permite el desarrollo de un modelo y la comprobación de su funcionamiento reduciendo costes y tiempo sin necesidad de recurrir al desarrollo de prototipos físicos.

Hoy en día es una herramienta prácticamente indispensable, con numerosas aplicaciones. Por ejemplo, la simulación es una herramienta muy utilizada para realizar cálculos aeroespaciales, cálculo de estructuras, diseño de circuitos eléctricos, etc.

En el caso del modelado y simulación 3D se pueden imprimir dichos modelos en impresoras 3D o similar y a partir de ahí ser usados físicamente. También se pueden generar planos para una posterior fabricación de prototipos.

### 3.4 Ventajas de la simulación

Las principales ventajas de la simulación son las siguientes:

- Enseñanza: es una herramienta pedagógica. En el caso de la universidad se utiliza en asignaturas como Expresión Gráfica y Diseño Asistido por Ordenador y otras similares, en las cuales los alumnos pueden crear sus diseños y evaluar su funcionamiento ante determinadas condiciones. O en la industria, como herramienta formativa para los nuevos trabajadores, para que aprendan a manejar los equipos de manera simulada antes de proceder con los equipos reales.
- Diagnóstico: Evaluar los resultados obtenidos de la simulación ante diferentes condiciones permite identificar los componentes que afectan al sistema y modificarlos en caso de que se estime oportuno.
- Optimización: La simulación permite el estudio del sistema sin modificarlo físicamente, por lo que se pueden optimizar recursos y mejorar la eficiencia del sistema.
- Costes: la simulación disminuye los costes económicos, ya que sólo se debe considerar el coste del software, que además puede ser reutilizado para otros proyectos. A largo plazo es una solución más económica que hacer prototipos de prueba físicos que serían luego desechados.
- Tiempo: La generación de los diseños teniendo práctica no abarca demasiado tiempo, mucho menos que el diseño de un prototipo real, por lo que se disminuye el coste temporal.

### 3.5 Softwares especializados en simulación 3D utilizados en este Trabajo Fin de Grado

Se han evaluado diferentes alternativas software para llevar a cabo este Trabajo Fin de Grado. Estos paquetes software deben dar soporte de modelado 3D, permitir realizar posibles interconexiones en el modelo, permitir la simulación del modelo 3D, y la simulación de un sistema de control que automatice el comportamiento del sistema modelado en 3D. A continuación se describen brevemente las soluciones encontradas que mejor satisfacen estos requisitos.

#### 3.5.1 Autodesk Inventor

El software de modelado 3D escogido en este Trabajo Fin de Grado ha sido Autodesk Inventor [8]. Existen otras alternativas como SolidWorks [9] y CATIA [10] pero la

Universidad de La Laguna tiene licencias de Autodesk, y como ha demostrado ser de utilidad en trabajos anteriores, ha sido elegido una vez más.

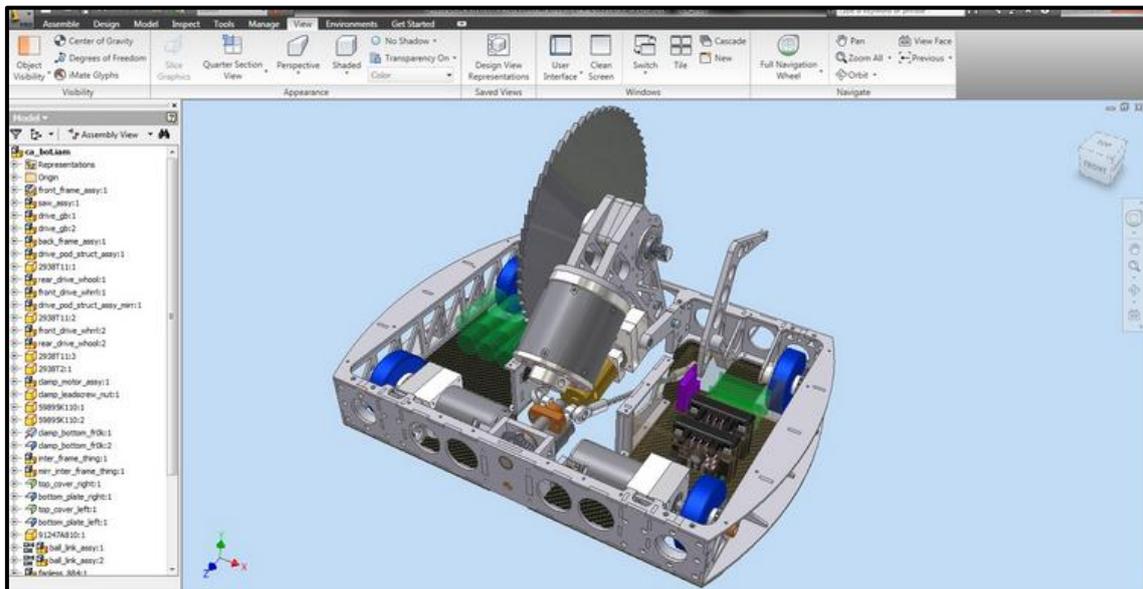


Figura 3.2. Ensamblaje realizado en Autodesk Inventor

Este software nos permite realizar una representación gráfica a escala de la planta en tres dimensiones y posteriormente simular sus movimientos. Los movimientos se basan en restricciones que limitan los grados de libertad de las piezas. Dichas restricciones son creadas en el proceso de ensamblaje y son usadas a la hora de simular, definiendo las posiciones que quiere que tenga el objeto en cuestión en un determinado instante de tiempo.

El principal inconveniente es que no permite interactuar con un autómatas o con una interfaz que trabaje en KOP o AWL. Lo más cercano a la simulación de control que permite este software es la herramienta iLogic, que se basa en estructuras de control (if, else,...). Las reglas controlan los parámetros y características de las piezas y además se pueden escribir Macros que luego ejecuten ciertas acciones programadas en Visual Basic. Esta opción fue desechada ya que no permite el manejo de datos en tres dimensiones y su posterior aplicación a la simulación.

### 3.5.2 FESTO COSIMIR

La empresa FESTO ofrece este programa en tres versiones diferentes: COSIMIR Industrial, COSIMIR Educational y COSIMIR Professional [11]. Las diferentes versiones de COSIMIR permiten al usuario modelar, diseñar y simular sistemas industriales en un entorno tridimensional. Para ello ofrece una serie de bibliotecas preconfiguradas de robots, pinzas, alimentadores neumáticos, sensores, etc, y permite modificar las características de los objetos, tales como las dimensiones, el color y las posiciones que ocupan en las celdas de trabajo (Workcells).

❖ **COSIMIR Educational:**

COSIMIR Educational es el software educativo destinado al aprendizaje multimedia de la robótica. Dispone de una serie de células de trabajos predefinidas que no se pueden modificar. Tampoco se pueden crear nuevas células de trabajo.

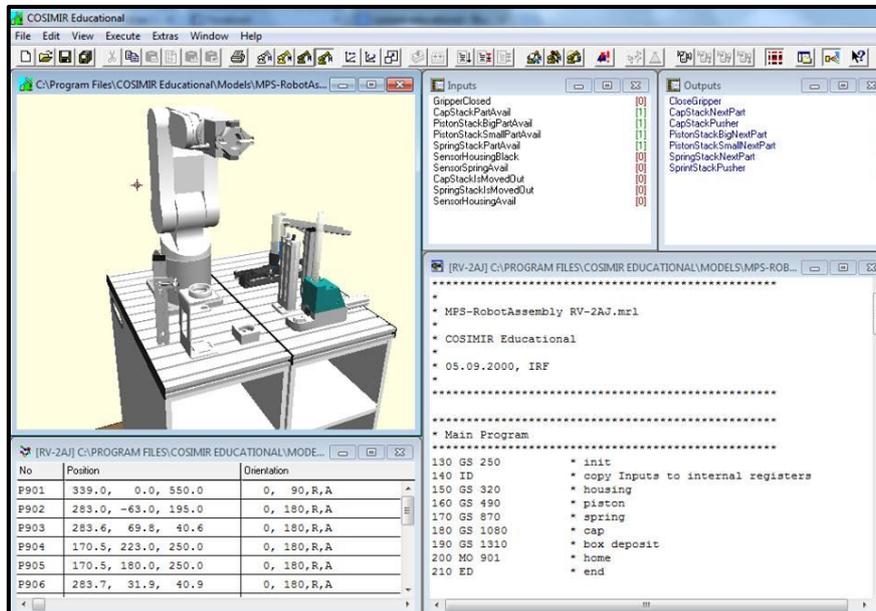


Figura 3.3. Interfaz COSIMIR Educational

❖ **COSIMIR Professional:**

COSIMIR Professional reúne tres herramientas bajo la misma interfaz de usuario: modelado en 3D, simulación en 3D y programación de robots. Cuenta con unas celdas de trabajo prefabricadas con las que se puede interactuar. Igualmente se pueden crear nuevas celdas de trabajo con los elementos que se incluyen en las librerías del programa:

-Sistemas de robots industriales (KUKA, Manutec, Mitsubishi, Reis, Staubli, ABB, Adept, Fanuc).

-Librería con diversos tipos de pinzas, sensores, máquinas, etc.

También existe la posibilidad de crear nuevas librerías a partir de ficheros de sistemas CAD en formatos DXF, STL o IGES importados.

En cuanto a la programación de movimientos, COSIMIR Professional permite la programación de robots en los siguientes lenguajes:

-Industrial Robot Lenguaje/Lenguaje de robots IRL

-Industriales (IRL.DIN 66312)

-KRL (Robots KUKA)

-V+ (Adept y Staubli)

-Lenguaje de programación Mitsubishi Movemaster

-Command y Melfa Basic IV -RAPID (Robots ABB)

❖ **COSIMIR Industrial:**

Se centra en la programación offline de robots MITSUBISHI. Contiene las mismas funciones básicas que COSIMIR Professional (simulación en 3D, modelado en 3D y programación de robots).

Se ha desechado esta opción debido a que no posibilita la programación en un lenguaje de autómatas, además existe un software más avanzado de la misma empresa que es CIROS, el cual analizaremos posteriormente.

### 3.5.3 LabVIEW

Se trata de una plataforma y un entorno de desarrollo para el diseño de sistemas con un lenguaje de programación visual gráfico [12]. Usado principalmente para sistemas hardware y software de pruebas, control y diseño. Consta de 3 módulos:

- Adquisición de datos y procesamiento de señales: Análisis y visualización de datos y posibilidad de compartirlos
- Control de Instrumentos: Permite el control y la adquisición de datos desde cualquier instrumento en cualquier bus
- Sistemas de pruebas y validación: Herramienta que permite la prueba de elementos con soporte para miles de instrumentos y tecnologías.

El principal problema de LabVIEW es su uso exclusivo en dos dimensiones, por lo que no es adecuado para el modelado 3D que se pretende realizar y simular en este Trabajo Fin de Grado.

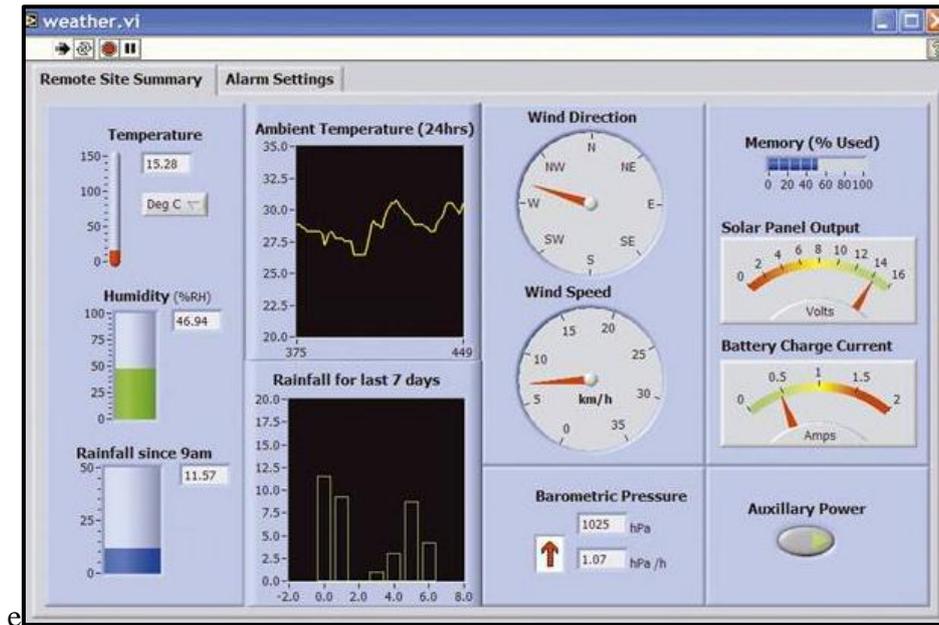


Figura 3.4. Interfaz NI LabVIEW

### 3.5.4 ISG-VIRTUOS

ISG-VIRTUOS [13] se trata de un software que nos permite la programación de estados y transiciones de estados en AWL y KOP. Aunque presenta el inconveniente de no ser gratuito y solo se puede simular e interactuar con las plantas industriales de dicha empresa

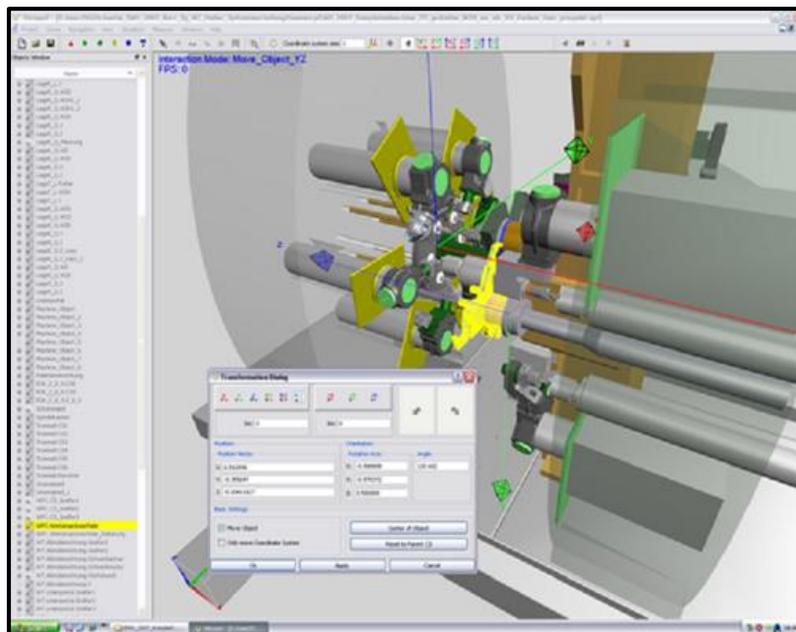


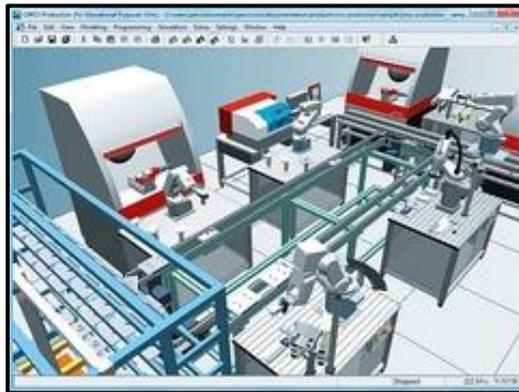
Figura 3.5. Interfaz ISG-VIRTUOS

### 3.5.5 CIROS Automation Suite

Se trata de un paquete informático desarrollado por la empresa Festo que tiene diferentes aplicaciones [14]:

#### ❖ **CIROS Production:**

Se centra principalmente en los procesos de producción, teniendo como puntos centrales la planificación y gestión de las instalaciones de producción y a logística de los procesos de fabricación.



*Figura 3.6. Interfaz CIROS Production*

#### ❖ **CIROS Robotics:**

CIROS Robotics se trata de un entorno en el cual podemos colocar robots en una serie de células de trabajo pero tiene el inconveniente de que usa lenguajes de programación específicos para robots, como son IRL, Movemaster Comand o Melfa Basic

#### ❖ **CIROS Studio:**

CIROS Studio permite poner a prueba plantas diseñadas por el usuario en modelos CAD y realizar las siguientes acciones:

- Programación de robots (IRL, Movemaster Command, KRL, etc.)
- Simulación en 3D en tiempo real, tanto para robots como plantas mediante PLC

Este software es lo más parecido a lo que se pretende realizar en este Trabajo Fin de Grado, ya que permite importar un modelo CAD e implementar el control del modelo con KOP o AWL, simulando a su vez el control de un autómata. El principal inconveniente es el elevado precio que presenta para una sola licencia, sobre 3000€.

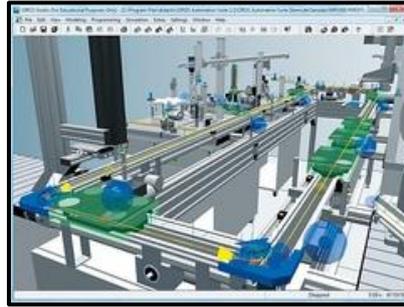


Figura 3.7. Interfaz CIROS Studio

❖ **CIROS Mechatronics:**

Mediante CIROS Mechatronics se pueden controlar plantas industriales FESTO cuyos modelos ya están creados por defecto. Entre las plantas ofrecidas se encuentra la del presente Trabajo Fin de Grado. También se pueden simular las plantas creadas en CIROS Studio.

La simulación del control del autómat se lleva a cabo mediante un emulador de PLC interno basado en SIMATIC S7. Lo que permite la carga de archivos creados en STEP7 en cualquiera de los cuatro lenguajes disponibles: AWL, KOP, FUP y GRAPH.

La Universidad de La Laguna dispone de tres licencias compradas de CIROS Mechatronics, por ello se han utilizado en el presente TFG, pero su elevado coste (sobre 800 €) hace que nos planteemos otras alternativas.

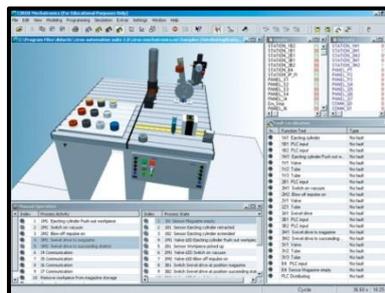


Figura 3.8. Interfaz CIROS Mechatronics

❖ **CIROS Advanced Mechatronics:**

Se trata de una versión mejorada de CIROS Mechatronics que permite poner en funcionamiento, controlar y comunicar a la vez todas las estaciones que queramos añadir.

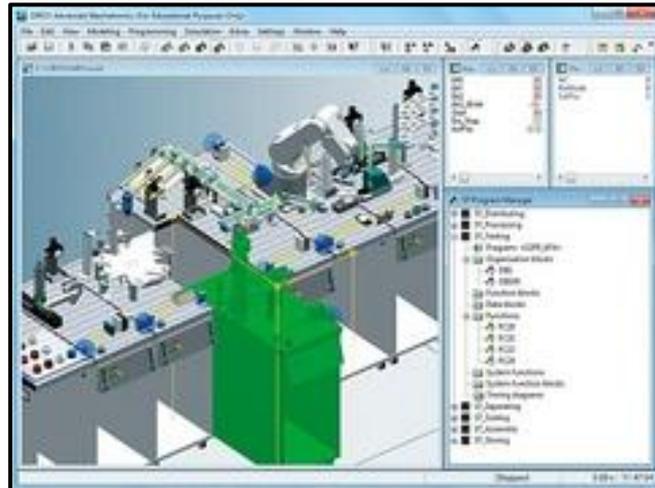


Figura 3.9. Interfaz CIROS Advanced Mechatronics

### 3.5.6 CODESYS

Se trata de un entorno de desarrollo para la programación de controladores conforme con el estándar industrial internacional IEC 61131-3 [15]. Dicho estándar conforma los seis tipos de lenguajes de aplicación para aplicaciones:

- IL (Lista de instrucciones): Similar a la programación en ensamblador o AWL
- ST (Texto estructurado): Codificación similar a PASCAL o C/C++
- LD (Diagrama Ladder): KOP
- FBD (Diagrama de bloques de función): Mediante bloques, FUP
- SFC (Bloques de función secuenciales): Grafcet

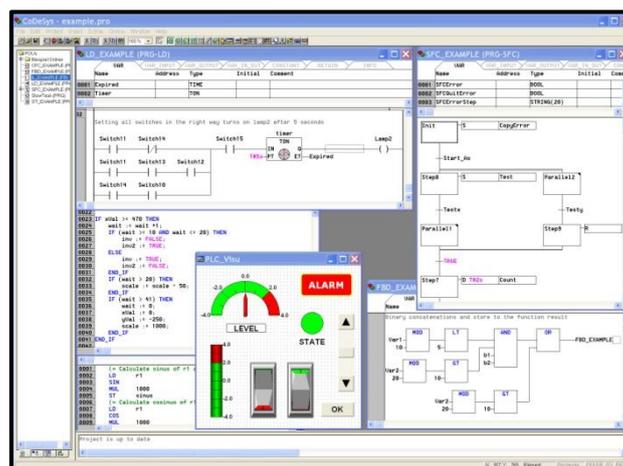


Figura 3.10. Interfaz CODESYS

Esta es una opción gratuita pero no nos permite importar los archivos generados en Autodesk Inventor. Se puede usar para la programación sin tener a mano el autómatas y se puede simular. Por lo que sería una opción para simular los estados del autómatas.

### 3.5.7 IRAI VIRTUAL UNIVERSE

Este software permite importar modelos CAD, programarlos y simularlos sobre la misma aplicación, además de poder conectarse con el simulador de STEP7, PLCSIM [16].

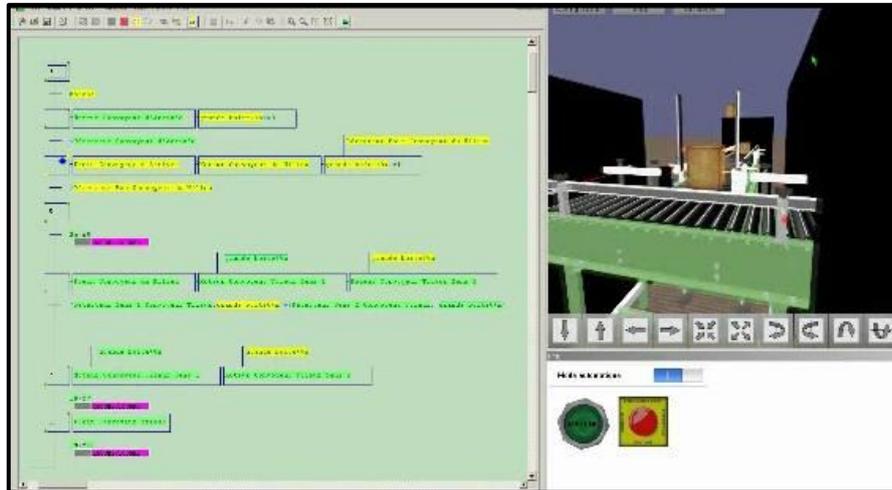


Figura 3.11. Interfaz VIRTUAL UNIVERSE

La página oficial ofrece una prueba de 30 días del programa pero al ser una prueba temporal y no poderse renovar se ha optado por buscar otra alternativa.

### 3.5.8 PC-SIMU

Se trata de un simulador gráfico gratuito que, junto con el simulador del S7-200, permite simular estaciones de trabajo mediante un código exportado en AWL. Sirve como idea de lo que se pretende en este Trabajo Fin de Grado, pero es en 2D y con figuras prediseñadas [17].

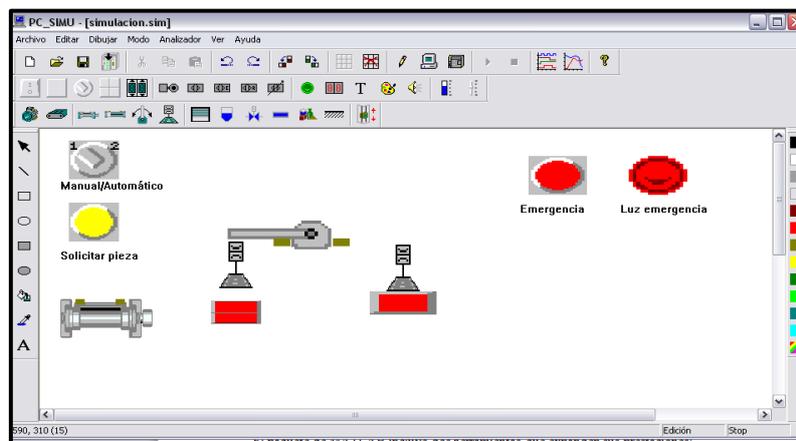


Figura 3.12. Interfaz PC-SIMU

### 3.5.9 MATLAB

MATLAB es un software matemático que se ha ido abriendo hacia múltiples aplicaciones como las aeroespaciales, mecánicas, físicas, de control, electrónicas, etc. [18].

Entre sus prestaciones se hallan: la manipulación y tratamiento de datos y funciones, la implementación de algoritmos, la creación de interfaces de usuarios (GUI) y la comunicación con programas en otros lenguajes y con otros dispositivos hardware.

El paquete de MATLAB incluye dos herramientas que expanden sus prestaciones:

- GUIDE: Editor de interfaces de usuario
- Simulink: Plataforma de simulación multidominio

A esto hay que añadir la posibilidad de exportar lo creado a C/C++ y la capacidad de importar elementos de otros software.

Para el presente Trabajo Fin de Grado se ha considerado la opción de usar Simulink, y una herramienta del mismo que es la librería Simmechanics de Simscape, la cual permite importar un ensamblaje realizado en Autodesk Inventor y generarlo en bloques de trabajo que pueden ser modificados y que permiten establecer el movimiento del ensamblaje.

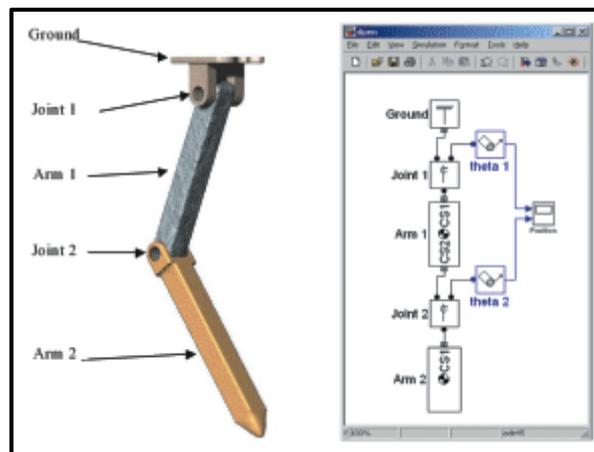


Figura 3.13. Ejemplo de uso de Simmechanics

### 3.6 Software especializado seleccionado para el presente Trabajo Fin de Grado

Tras estudiar los programas anteriormente mencionados se han elegido para la realización del Trabajo Fin de Grado los siguientes paquetes software:

1. Autodesk Inventor: Permite realizar un modelo tridimensional de la planta y una posterior simulación dinámica basada en parámetros de posición y tiempo. Además con él se pueden realizar estudios alternativos como son el cálculo de fuerzas y la resistencia de los materiales. Permite generar de forma prácticamente instantánea la documentación técnica en forma de planos. Por último, con la aplicación Inventor Publisher, se pueden realizar videos de la planta haciendo despieces y demás.
  
2. CIROS Mechatronics: Dicho software nos permite la simulación de manera virtual de la estación Festo de este Trabajo Fin de Grado mediante la programación en un autómatas Siemens S7-300. La planta bajo estudio en este Trabajo Fin de Grado en realidad está conectada a un autómatas S7-200, por lo que se ha realizado la programación de la estación en AWL para el S7-300 (para probar la simulación realizada por CIROS) y en KOP para el S7-200 (para comparar la simulación anterior con el comportamiento real de la planta en el laboratorio). El motivo principal por el que se usa este software es para comprobar el funcionamiento de un sistema de simulación e intentar obtener resultados similares con otra alternativa que sea gratuita para la universidad.
  
3. MATLAB/ Simulink: El uso de MATLAB en el presente Trabajo Fin de Grado se refiere únicamente a la herramienta Simulink. Con dicha herramienta y sus librerías se ha conseguido importar el modelo generado en Autodesk Inventor, simular un circuito de control en el cual están preparadas las entradas y salidas de un posible autómatas que se conectara a él y representar visualmente el movimiento de los actuadores usando dicho circuito de control.

En un futuro se puede partir de estas ideas y conseguir realizar un simulador de PLC y conectarlo al circuito de bloques generado en Simulink. Esto es lo único que no se ha podido conseguir en este proyecto ya que queda lejos del alcance de un ingeniero industrial, al ser una tarea más propia de la rama de informática. Ésta podría ser una posible opción, pero existen otras alternativas:

- Utilización de un servidor OPC: Está presente en la mayoría de programas de simulación, incluido el CODESYS, y Simulink posee una librería para dicho servidor.
- Realización de una Interfaz Externa, la cual permita usar los elementos de MATLAB como si fueran entradas del autómatas
- Diseño e implementación de un Simulador de Autómatas y conexión con Simulink
- Diseño e implementación de una aplicación externa, es decir poder obtener una simulación y ejecutarla externamente sin tener que abrir MATLAB

## Capítulo 4

### Autodesk Inventor

#### 4.1 El modelado paramétrico de sólidos

Ante el éxito cosechado por las aplicaciones de Diseño Asistido por Computador (CAD) y el avance de las tecnologías de la información, se ha conseguido que varias personas en diferentes lugares del mundo puedan trabajar en el mismo proyecto. En un principio los diseños se realizaban mediante programas CAD 2D que no permitían observar de manera visual la forma final del mismo. Se optó finalmente por el modelado paramétrico tridimensional de sólidos que tiene las siguientes características:

- Ofrece una visualización del diseño mejorada al llevarse a cabo en 3D de forma nativa
- La implementación de restricciones geométricas y dimensionales al modelo, en la que el usuario determina las características finales del mismo
- Los planos bidimensionales se obtienen a partir de la información utilizada en la creación del modelo tridimensional
- Las herramientas de modelado paramétrico nos permiten cualquier modificación del producto
- Realización de revisiones mediante análisis dinámicos y/o estructurales además de simulaciones.

En el diseño paramétrico, el modelo que se visualiza en pantalla es el resultado de las ecuaciones que definen las relaciones geométricas, las dimensionales y las obtenidas de las relaciones entre cotas.

#### 4.2 Autodesk Inventor

Existen múltiples aplicaciones de diseño paramétrico en el ámbito de la ingeniería de diseño industrial como son: Autodesk Inventor, Solidworks, SolidEdge, Catia, Pro/Engineer, I-Deas ó Unigraphics. La elección de Autodesk Inventor para este Trabajo de Fin de Grado se basa en las siguientes cuestiones:

- Autodesk Inventor dispone de una interfaz sencilla para la generación de bocetos y dispone además de herramientas bien definidas y con su correspondiente ayuda.
- Es posible crear diseños adaptativos, es decir, imaginemos que tenemos un tornillo enroscado en un agujero, pues si modificamos el diámetro del tornillo, el agujero se modifica para acomodarse a la nueva dimensión

- Mediante el formato .DWF es posible publicar en la red diseños en 3D para visualizar y revisar los mismos de forma remota sin necesidad de disponer de licencias de la aplicación.
- Autodesk pone a disposición de los estudiantes de la llamada licencia educacional, lo que permite a alumnos y profesores a disfrutar no solo de Autodesk Inventor sino de varios productos como AutoCAD, Autodesk Electrical, Robot Structural Analysis, etc.

A continuación se muestran algunas de las características más relevantes de éste software, así como una breve explicación de cada una de ellas.

### **1- Prototipado digital.**

Autodesk Inventor nos proporciona la capacidad de crear y explorar un producto entero antes de elaborarlo. Dicho software facilita obtener beneficios de los prototipos digitales mediante integración de modelos de AutoCAD 2D y 3D en un solo modelo digital. Dicho modelo digital crea una representación virtual del producto final que facilita al usuario diseñar, visualizar y simular su producto sin depender de prototipos físicos

### **2- Ingeniería y productividad en el diseño.**

Autodesk Inventor ofrece una amplia gama de herramientas para facilitar la transición del diseño 2D al 3D. La mejora continua que ofrece Autodesk se hace notar en cada nuevo producto que sale al mercado y mejora al anterior, es decir que corrigen los fallos que los usuarios han notado y notificado a la empresa. A parte de ello los ensamblajes y de piezas creadas por el usuario o importadas de otros software de modelado paramétrico encajan sin fallos y nos permiten ver los grados de libertad de que disponen cada una de las piezas.

### **3.- Automatización del diseño.**

Autodesk Inventor se basa en las normas de diseño y herramientas de automatización para acelerar el proceso de diseño mediante la automatización de tareas comunes, permitiendo a los usuarios centrarse en la intención del diseño en lugar de estar manualmente modelando de la geometría de todo el producto. El software Inventor capta los requerimientos funcionales de un diseño para dirigir la creación automática de componentes inteligentes y acelerar los ciclos de diseño. Mediante la herramienta iLogic podemos usar el diseño basado en reglas para ayudar a cualquier usuario con un lenguaje de trabajo que se basa en sentencias condicionales muy simples.

### **4- Ventajas en la producción de presentaciones.**

El software nos permite crear de manera rápida y sencilla animaciones y presentaciones de gran calidad que permite mejorar la comunicación entre diseñadores y clientes. Autodesk ha desarrollado un gran apartado técnico en cuanto a visualización, ilustración y herramientas de animación directamente en el espacio de trabajo predeterminado, lo que aporta una representación realista en el diseño en todo momento. Es sencillo crear escenas lo más realistas posibles gracias al sombreado dinámico, el control de la iluminación precisa y la biblioteca de texturas incluidas en alta resolución. Los productos de Autodesk Design Suite ofrecen una amplia capacidad de visualización mediante la manipulación directa de Inventor, lo que permite comunicar la intención del diseñador y la experiencia de su diseño.

### **5- Facilidad en el intercambio de archivos con otras aplicaciones CAD.**

Autodesk Inventor hace que sea posible la reutilización de los activos valiosos del diseño a través de un amplio conjunto de conversores de diferentes aplicaciones CAD que nos permiten tanto leer como escribir sobre dichos archivos. En el caso de archivos en formato DWG (AutoCAD) nos permite importar dichos archivos y explotarlo en 3D en una sola representación digital del producto final. Además incluye la opción de exportar e importar archivos STEP. Estos archivos son un estándar de intercambio de información para la producción y representación de productos. También incluyen herramientas específicas para diseñadores y fabricantes que trabajan con arquitectos, constructores y contratistas. El Building Information Modeling (BIM) junto con la funcionalidad del Exchange permite el intercambio de datos entre el inventor y los productos Autodesk Revit y AutoCAD Architecture.

### **6- Diseños y documentación.**

El software permite generar la documentación necesaria para interpretar todo el proceso de ingeniería y de fabricación de un prototipo validado digitalmente para reducir errores y entregar los planos en el menor tiempo posible. Con el entorno de documentación se consigue maximizar la reutilización de los activos de dibujo 2D de AutoCAD y crear los bocetos con mayor rapidez. Autodesk Inventor tiene unas vistas de diseño en las cuales se nos muestran las diferentes perspectivas ( frontales, laterales, isométrica, de detalle, de punto de vista, de sección auxiliar) y con solo pulsarla nos proyecta la geometría como queremos. Inventor genera además listas de piezas automatizadas y asociativas, así como la lista de materiales que está desarrollada específicamente para la fabricación. Por tanto, Autodesk Inventor permite crear verdaderos bocetos DWG basados en los diseños 2D y 3D a partir de cualquier fuente de tipo CAD

### **7- Simulación.**

Autodesk Inventor ofrece la posibilidad de optimizar y validar el rendimiento del producto antes de su construcción. El entorno de simulación proporciona soporte para la simulación de movimiento, así como el análisis de elementos finitos, estáticos y modales (FEA) de piezas, ensamblajes y los marcos de soporte de carga. A su vez, también incluye Autodesk Moldflow, usado para la simulación de inyección de plástico moldeado por las herramientas de simulación, con el fin de validar el diseño de moldes de inyección para piezas de plástico

### **8- Autodesk 360.**

Los productos de la marca Autodesk da una mayor ventaja al usuario ayudándolo a aumentar la movilidad, mejorar la colaboración y optimizar la forma de trabajar, gracias al almacenamiento de documentos, basados en compartir y visualizar proyectos en la red. Se trata de ampliar la creatividad y la simulación más allá del escritorio, poniendo a prueba el desempeño de múltiples opciones de Autodesk 360. Esta herramienta hace que sea fácil crear productos de mayor calidad y diseños más sostenibles que reduzcan los costes.

### **9- Gestión de datos integrado.**

El software Autodesk Inventor viene acompañado de Autodesk Vault, software que se encarga de la gestión centralizada de datos que permite a los grupos de trabajo almacenar de forma segura y gestionar el trabajo en cursos de diseño de datos y documentos relacionados.

### 4.3 Entorno de operaciones

En este entorno se haya la competencia de realizar las piezas, cada una de ellas por separado para luego ser unidas en el entorno de ensamblaje. Dicho entorno nos permite dibujar el modelo deseado en 2D para luego ser extruido o revolucionado para obtener la forma en 3D deseada.

Al crear un nuevo archivo, el programa ejecutará automáticamente el entorno de boceto en el cual se permite crear, editar, restringir y acotar la geometría para el diseño de la pieza deseada. El entorno de boceto posee las siguientes herramientas que nos permiten realizar lo mencionado anteriormente:

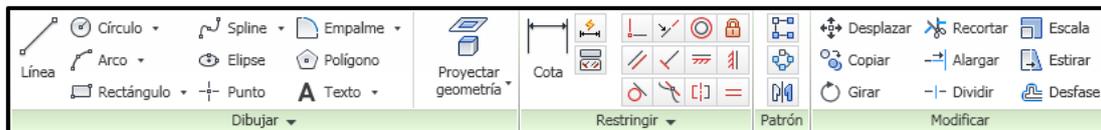


Figura 4.1. Herramientas en el entorno de boceto

Una vez se haya finalizado el boceto, se accede al entorno de modelado de piezas en el cual se permite dar forma y volumen a la pieza que se quiere crear para darle su aspecto en 3D. Se puede modificar la pieza desde el entorno de modelado de piezas que dispone de las siguientes herramientas:

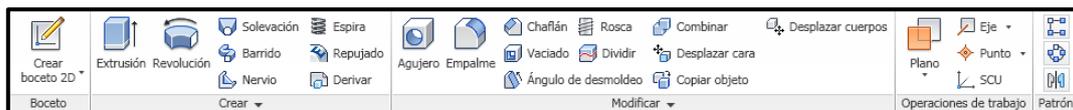


Figura 4.2. Herramientas en el entorno de modelado de piezas

Una vez se haya modelado la pieza, el fichero que la contiene tiene una extensión “.ipt” (*inventor parts*), que habrá que tener en cuenta para el entorno de ensamblaje.

La mejor forma de entender los conceptos anteriores es la de modelar una de las piezas usadas en éste proyecto. Se trata de la base del motor que lleva el brazo robótico con ventosa.

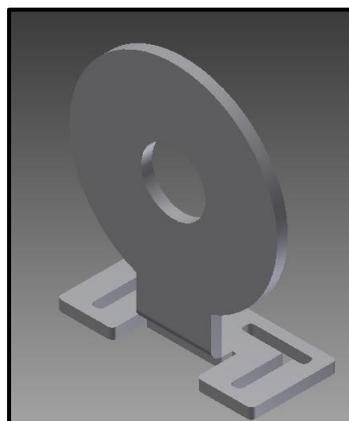


Figura 4.3 Modelo 3D creado en Autodesk Inventor

En primer lugar, crearemos un nuevo proyecto a partir de la plantilla “Normal.ipf”. Se generará un boceto sobre el que dibujaremos la vista de la pieza deseada. En la figura 4.4 se muestra un ejemplo.

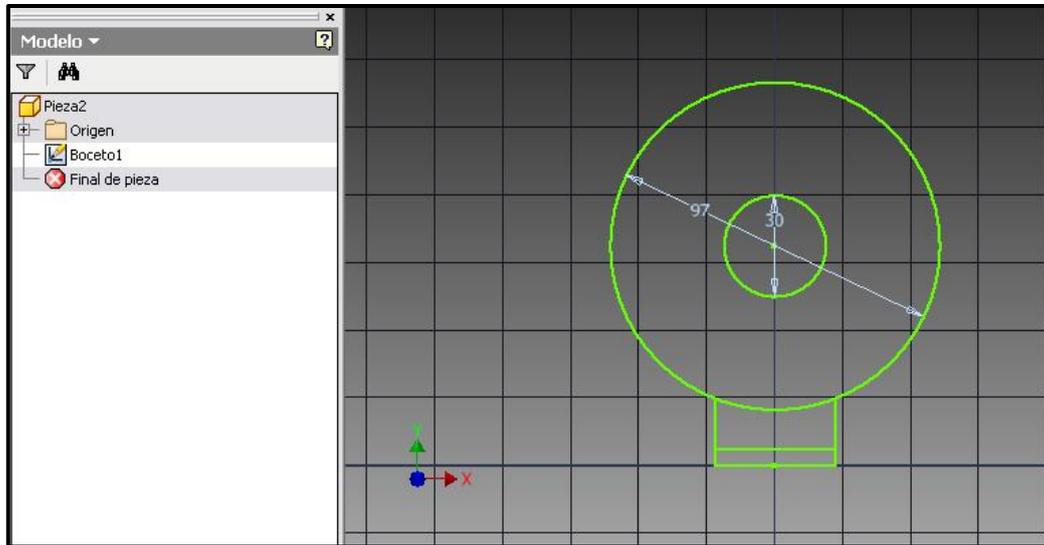


Figura 4.4. Boceto de la pieza

Una vez realizado el boceto, se da por finalizada la edición del boceto y nos encargamos del entorno de modelado de piezas, en el cual podemos darle volumen y editar como queramos. Primero mediante la herramienta *extrusión*, podemos dar volumen a la pieza. Podemos decir en qué sentido irá dicha extrusión, es decir, hacia fuera, hacia dentro o hacia los dos lados teniendo en cuenta que por cada lado irá la mitad de la medida indicada. En la figura 4.5 podemos ver como se aplica la extrusión a la pieza:

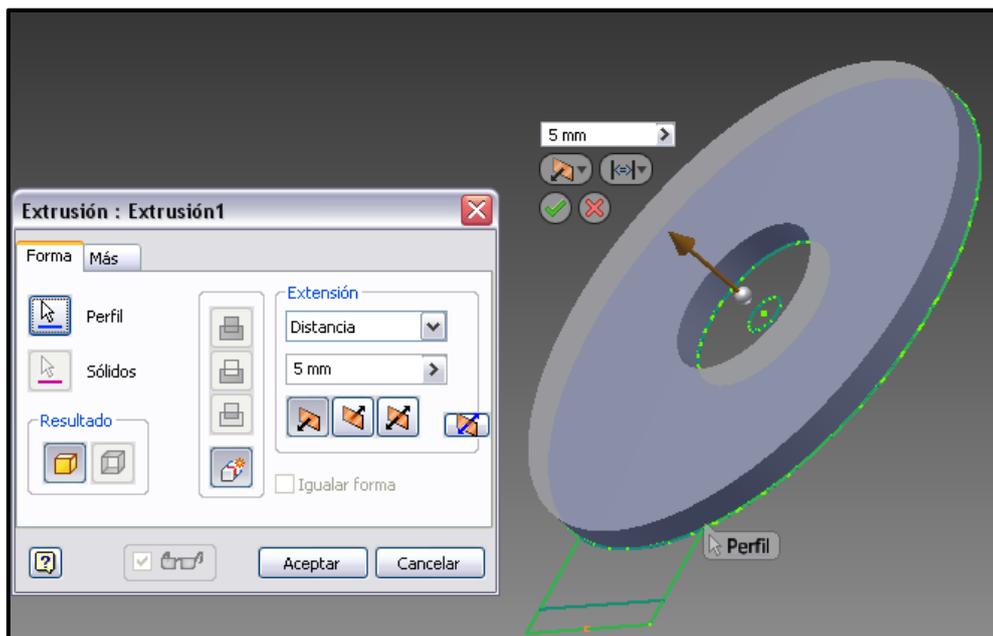


Figura 4.5. Extrusión de la pieza

Hemos comprobado que la pieza que hemos generado en el boceto no está completa. Faltaría la base y sus características. Se usará para esto la herramienta plano (figura 4.6). Dicha herramienta nos permite añadir características a las piezas tales como agregar partes nuevas creando un boceto a partir de la pieza ya existente para complementarla o crear agujeros o muescas.

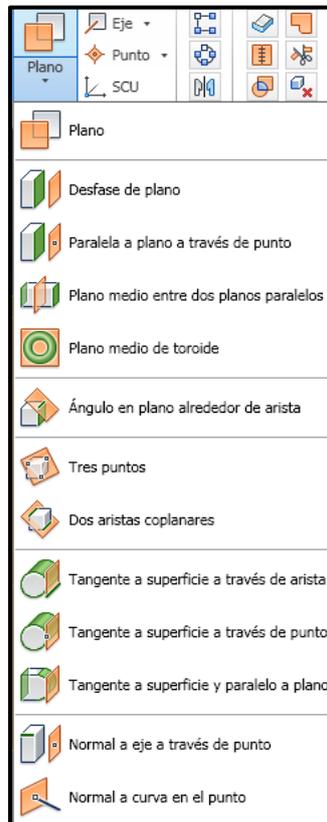


Figura 4.6. Herramienta de plano

Aplicando esta herramienta a la pieza que queremos crear tendríamos algo como esto:

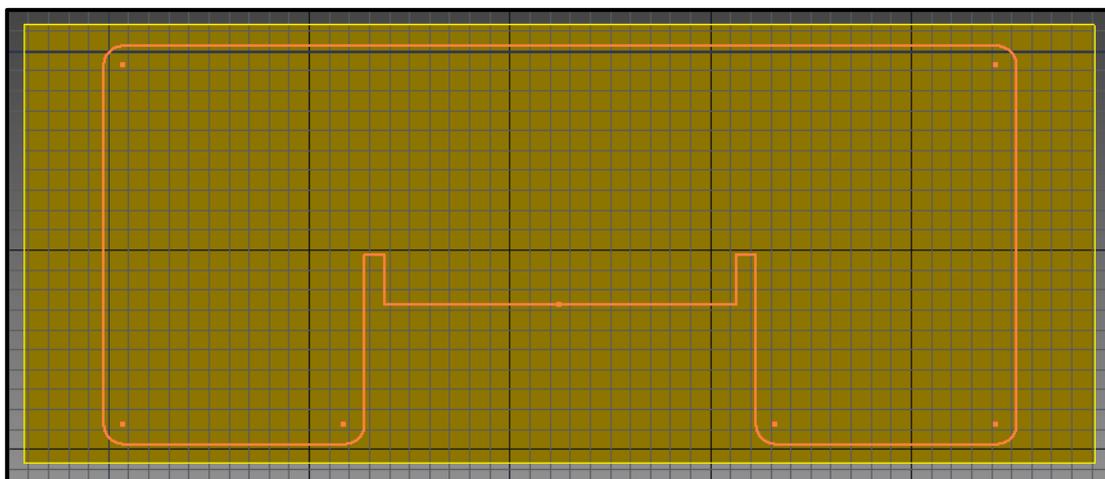


Figura 4.7. Herramienta de plano

Si aplicamos extrusión a la pieza que hemos elaborado en el boceto del plano, tendremos algo parecido a lo que se muestra en la figura 4.8:

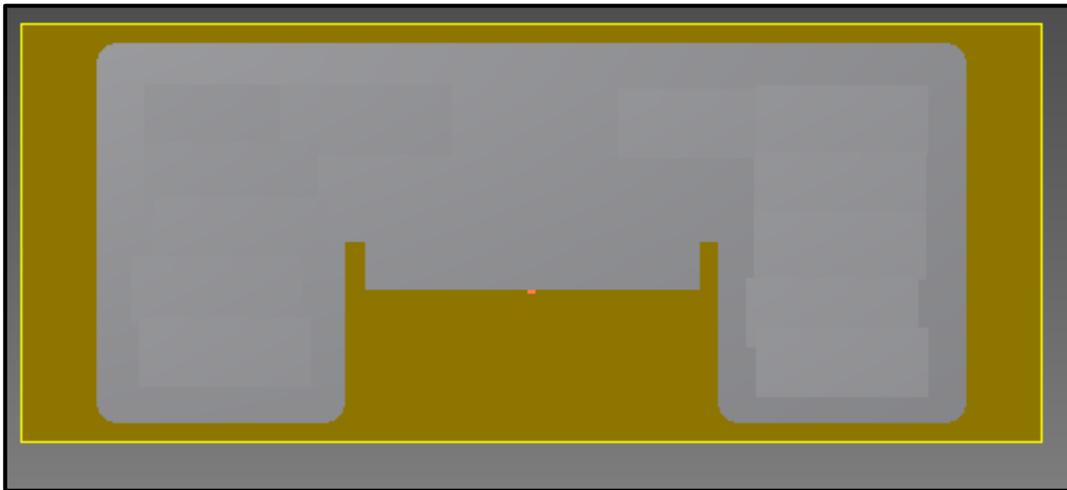


Figura 4.8. Extrusión de plano

Para terminar de realizar la base, debemos realizar las muescas para introducir los tornillos. Para ello tomamos el mismo plano y le añadimos las muescas en el boceto de éste. (figura 4.9).

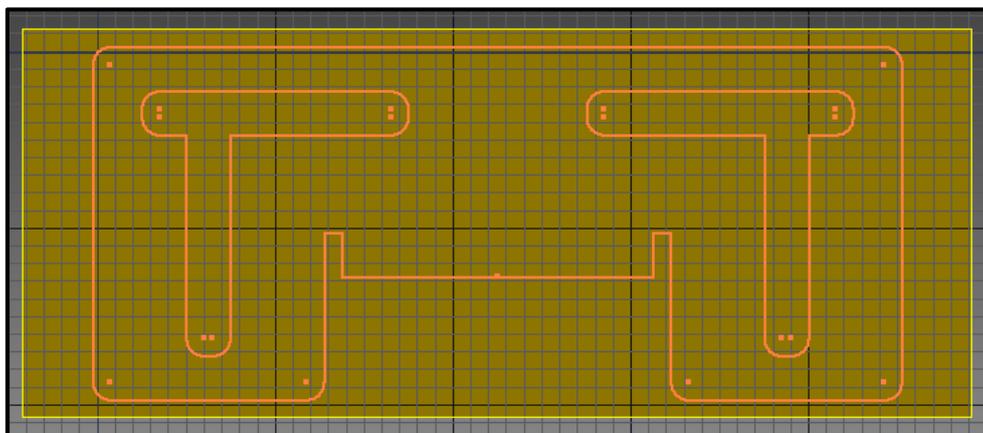


Figura 4.9. Boceto con muescas

Una vez hayamos creado el boceto final de la base, debemos realizar los agujeros de las muescas. Para ello se utiliza la herramienta *extrusión*, pero en este caso se tratará de una extrusión de corte, tal como se muestra en la imagen. Esto permite realizar agujeros y otro tipo de figuras como las muestras descritas con anterioridad.(figura 4.10)

Además debemos tener en cuenta el sentido de la extrusión, y la distancia a la que queremos hacerla. En el caso de agujeros circulares, mediante la herramienta agujero. Podemos crear el agujero sin tener que recurrir al plano.

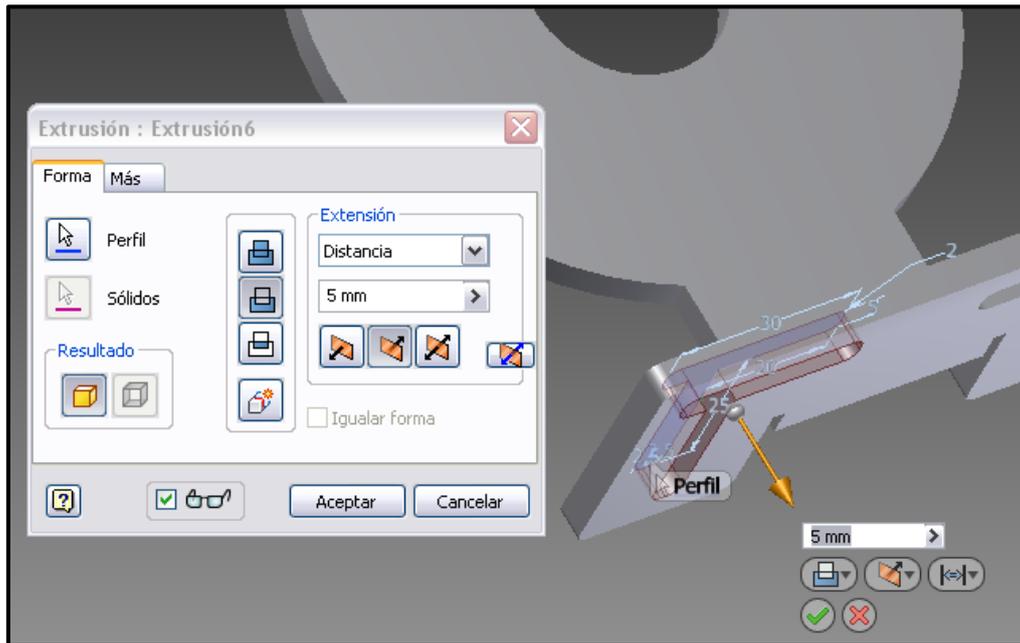


Figura 4.10. Extrusión de corte

Por último, para esta pieza debemos realizar la unión entre la parte superior y la base, para ello usaremos la herramienta *empalme*, la cual nos permite darle la forma curva a la unión que presenta. Dicha herramienta se utiliza escogiendo la arista o el contorno al cual queremos darle forma, y dándole el valor que creamos oportuno adoptará una curvatura u otra. En el caso de la pieza, podemos observar su implementación en la figura 4.11.

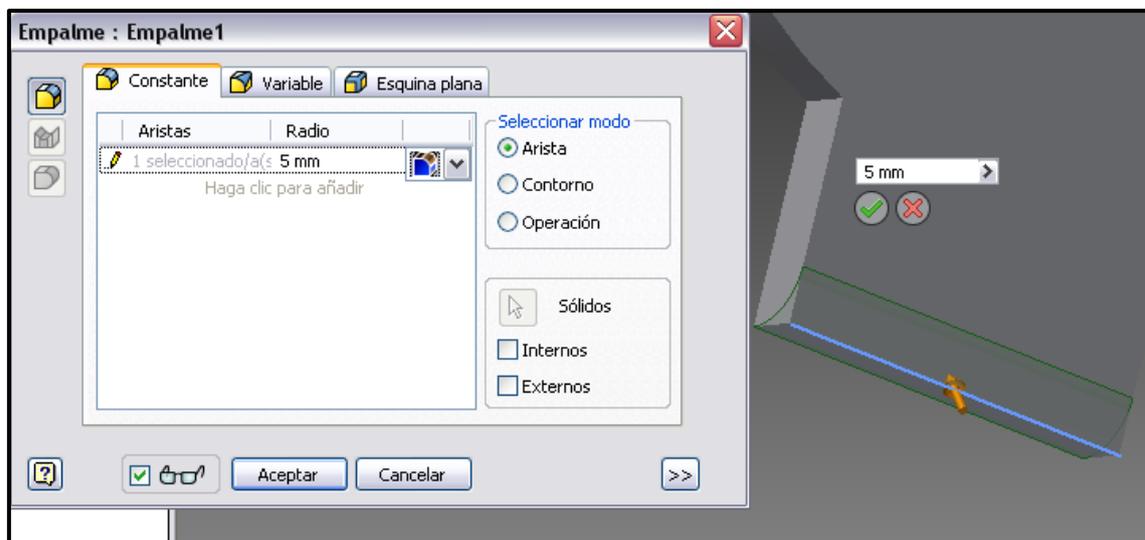


Figura 4.11. Empalme

Una vez se han realizado todos los pasos anteriores obtenemos la pieza dada, la aplicación del resto de piezas es similar. Existen varias herramientas que no se han utilizado debido a que no ha sido necesario.

La pieza final con el empalme incluido se puede observar en la Figura 4.12.

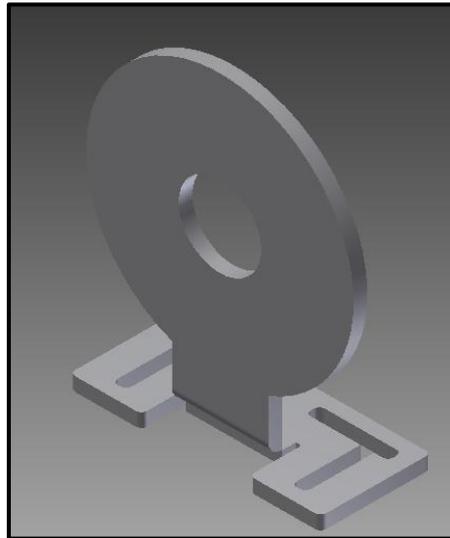


Figura 4.12. Pieza final

#### 4.4 Entorno de ensamblaje

Una vez se hayan realizado todas y cada una de las piezas que usaremos en nuestro proyecto, procederemos a unirlos en el ensamblaje. Para ello se abre un archivo de ensamblaje (Figura 4.13).

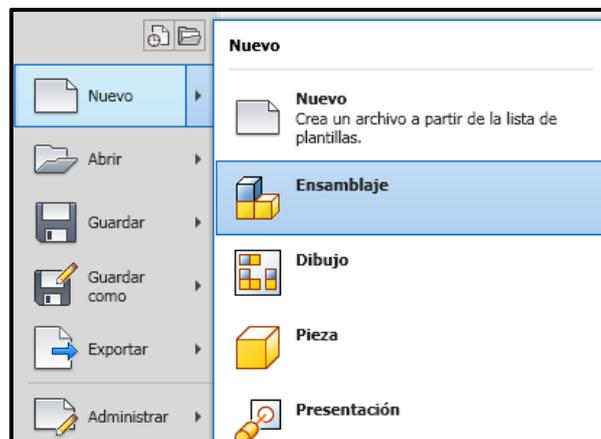


Figura 4.13. Creación de nuevo ensamblaje

Los ensamblajes se pueden crear a partir de piezas separadas e incluso insertar subensamblajes, es decir, ensamblajes previamente creados para unirlos al ensamblaje que deseemos.

Las modificaciones realizadas en las piezas que han sido insertadas en el entorno de ensamblaje, se actualizarán en el ensamblaje. Para añadir componentes al ensamblaje

nos dirigimos al comando Insertar en la pestaña Ensamblar, tal como se muestra (Figura 4.14).

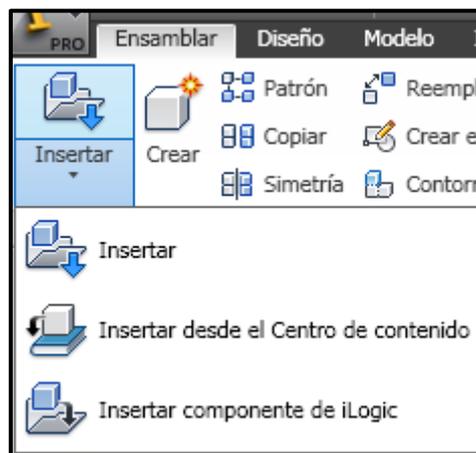


Figura 4.14. Insertar componentes del ensamblaje

Las piezas y los subensamblajes se unen de la manera deseada mediante una serie de restricciones o condiciones de montaje que serán definidas por el usuario. Dichas restricciones controlarán la ubicación y el movimiento de los componentes en el entorno. Las restricciones se asignan mediante el cuadro de diálogo de la figura 4.15 y 4.16

Existen varios tipos de restricciones como se puede observar en la imagen.

- **Restricciones de ensamblaje:**

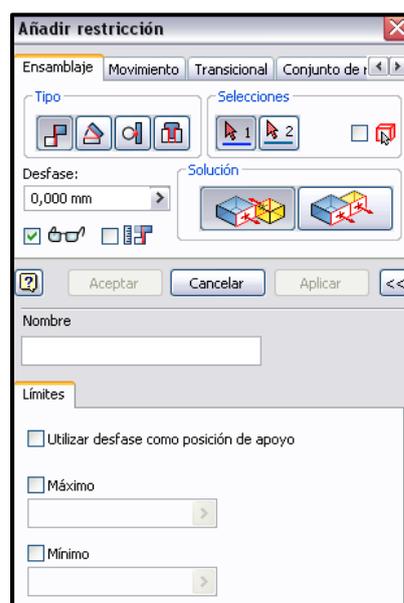


Figura 4.15. Restricciones de ensamblaje

-  Coincidencia: Sitúa las caras escogidas de forma perpendicular entre ellas, pudiéndose elegir entre piezas enfrentadas o piezas con caras adyacentes alineadas. Con este tipo de restricción se eliminará un grado de libertad de desplazamiento y dos de rotación
-  Ángulo: Sitúa dos caras de dos componentes indicadas con un ángulo especificado
-  Tangente: Se aplica para planos, cilindros, esferas y conos para que coincidan en un punto de tangencia especificado. Puede ser interior o exterior.
-  Insertar: Esta restricción sitúa dos ejes de diferentes piezas en la misma posición, con la opción de orientar las piezas de dicha inserción en el sentido especificado y tener la opción de incluir un desfase

- **Restricciones de movimiento**



Figura 4.16. Restricciones de movimiento

-  Rotación: Indica la rotación de una parte seleccionada con otra especificando un radio para tal rotación, dicho radio indica lo que rota el segundo componente cuando lo hace el primero.
-  Rotación-traslación: Indica que el primer elemento seleccionado rota en relación con una traslación de otra parte del ensamblaje, especificando una distancia. Dicha distancia nos indica cuanto se mueve la segunda pieza seleccionada cuando la primera realiza una revolución completa

Se debe intentar utilizar el menor número de restricciones usadas en el ensamblaje. Para ello nos dirigimos a *Opciones de aplicación* y una vez dentro iremos a la pestaña *Ensamblaje* para marcar la casilla *Activar análisis de redundancia de restricciones*. De ésta forma se nos indicarán las restricciones que se consideren adecuadas para suprimir

mediante el icono  ubicado a la izquierda de la restricción en cuestión. Para eliminar dicha restricción se pulsa el botón derecho del ratón y se selecciona la opción suprimir.

Para el caso de errores de restricción, aparecerá el icono . En este caso se accede al botón derecho en la restricción y se selecciona recuperar. Tal como se muestra en la Figura 4.17.

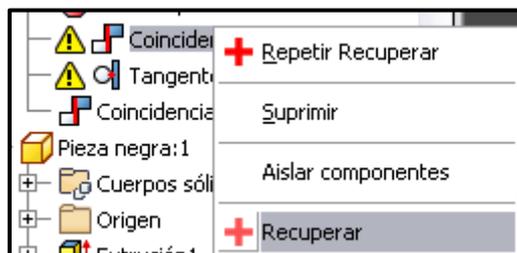


Figura 4.17. Error de restricción y recuperación

Es aconsejable además fijar uno o varios componentes por ensamblaje para optimizar el rendimiento de resolución.

Para ello se selecciona el componente que se pretende fijar, se pulsa botón derecho y se selecciona la opción fijar, tal como aparece en la Figura 4.18

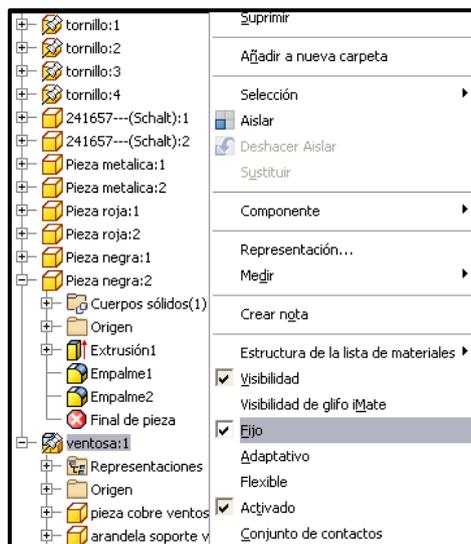


Figura 4.18. Fijación de piezas

En el mismo menú contextual podemos acceder a *iProperties*, donde podremos visualizar los grados de libertad de los componentes ensamblados una vez se hayan aplicado las restricciones correspondientes.

Se abre un cuadro de diálogo en el cual nos dirigiremos a la pestaña *Incidencia* y posteriormente marcaremos la casilla *Grados de libertad*. (Figura 4.19)

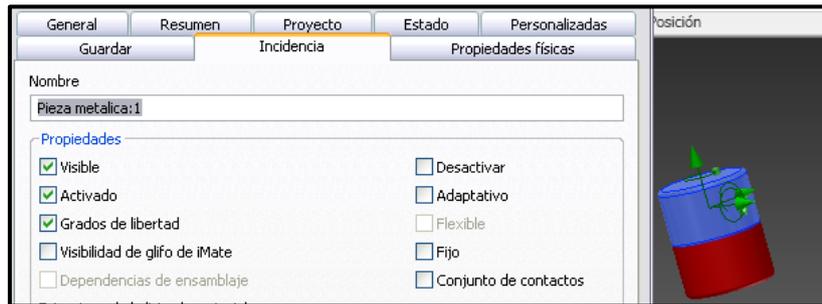


Figura 4.19. Activación de grados de libertad

### 4.5 Ensamblaje de la Estación de Almacén y Distribución de Piezas

A continuación se muestran los pasos que se han llevado a cabo a la hora de ensamblar la estación de almacenaje y distribución de piezas.

En primer lugar hemos insertado en el entorno de trabajo todas las piezas que serán ensambladas (Figura 4.20).

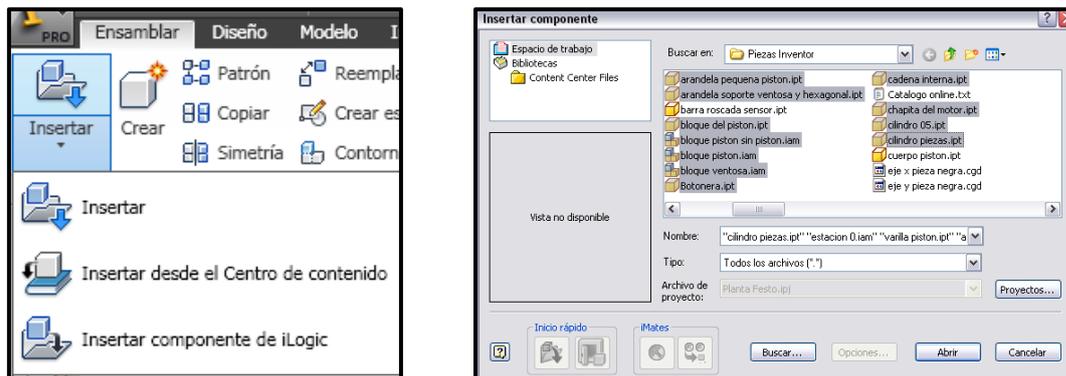


Figura 4.20. Insertar componentes para el ensamblaje

Lo primero que debemos hacer es fijar una pieza y, cuando tengamos todas las piezas insertadas y la pieza fijada, en éste caso la mesa con botonera (Figura 4.21). Se aplicarán a continuación todas las restricciones necesarias.

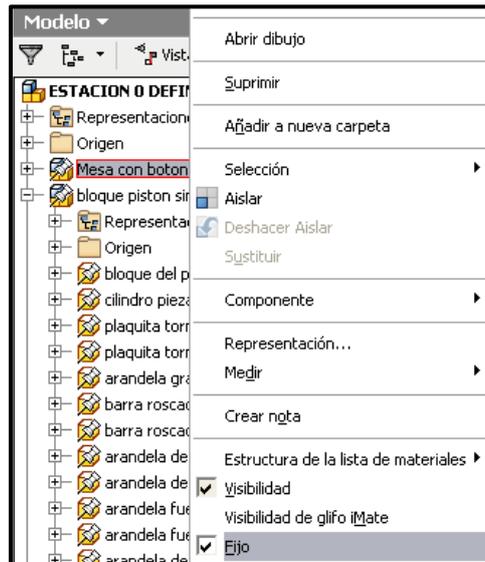


Figura 4.21. Fijación de mesa con botonera

En primer lugar haremos las restricciones de coincidencia, con la cual como hemos dicho antes, se eliminará un grado de libertad de movimiento y dos de rotación. En primer lugar se selecciona el punto que queremos hacer coincidir (Figura 4.22) y posteriormente se asignará el lugar donde se quiere ubicar el punto asignado (Figura 4.23).



Figura 4.22. Asignación del primer punto de coincidencia



Figura 4.23. Asignación del segundo punto y final de la coincidencia

La coincidencia no es únicamente un punto, se puede tomar también un eje tal como se muestra en la Figura 4.24. Se puede colocar tanto en el interior como en el exterior de un orificio teniendo en cuenta el desfase que se requiera (Figura 4.25)

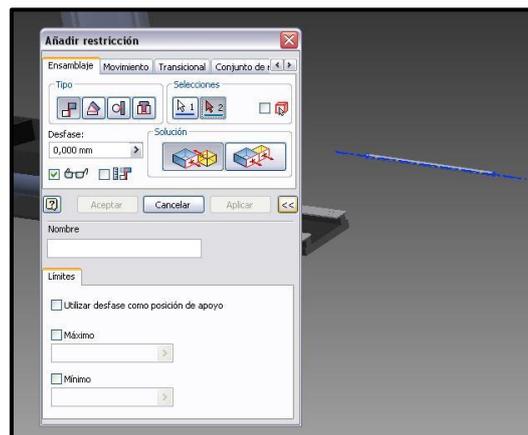


Figura 4.24. Restricción coincidencia de ejes

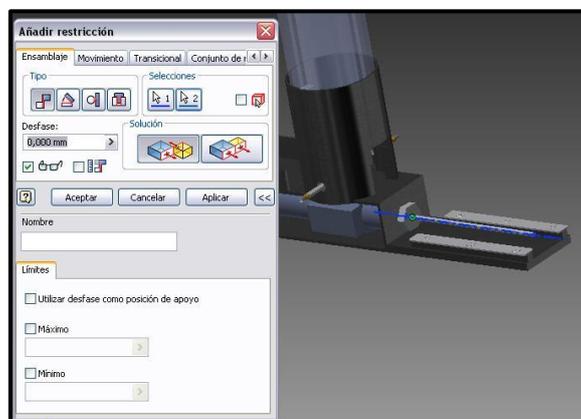


Figura 4.25. Asignación del segundo punto y final de la coincidencia de ejes

Se incluye la restricción insertar, la cual sitúa las operaciones cilíndricas con caras planas perpendiculares con respecto al eje del cilindro. En nuestro caso servirá para la inserción de tornillos y piezas cilíndricas en un agujero como es el caso de la estructura de la ventosa, tal como se muestra en la Figura 4.26, en la cual se muestra además el desfase escogido de -27mm ya que la pieza está introducida alrededor de esa medida en la estructura.

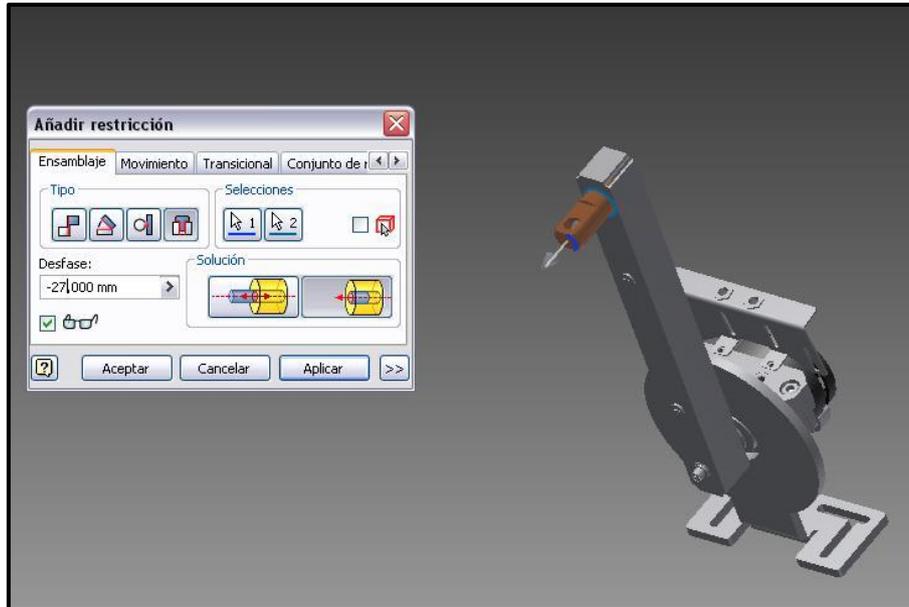


Figura 4.26. Restricción insertar

Al pistón además se le añade una restricción de rotación-traslación para que su movimiento únicamente sea horizontal y no gire ni cree ángulos verticalmente. Figura 4.27. Por su parte, al bloque de la ventosa que gira se la añadirá una restricción de rotación ya que los únicos grados de libertad que tiene son de rotación. Tal como se muestra en la Figura 4.28.

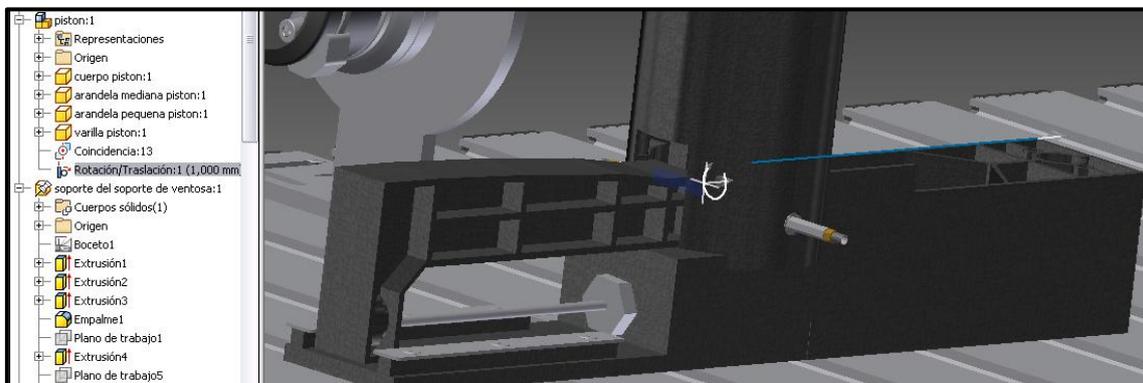


Figura 4.27. Restricción rotación-traslación en el pistón

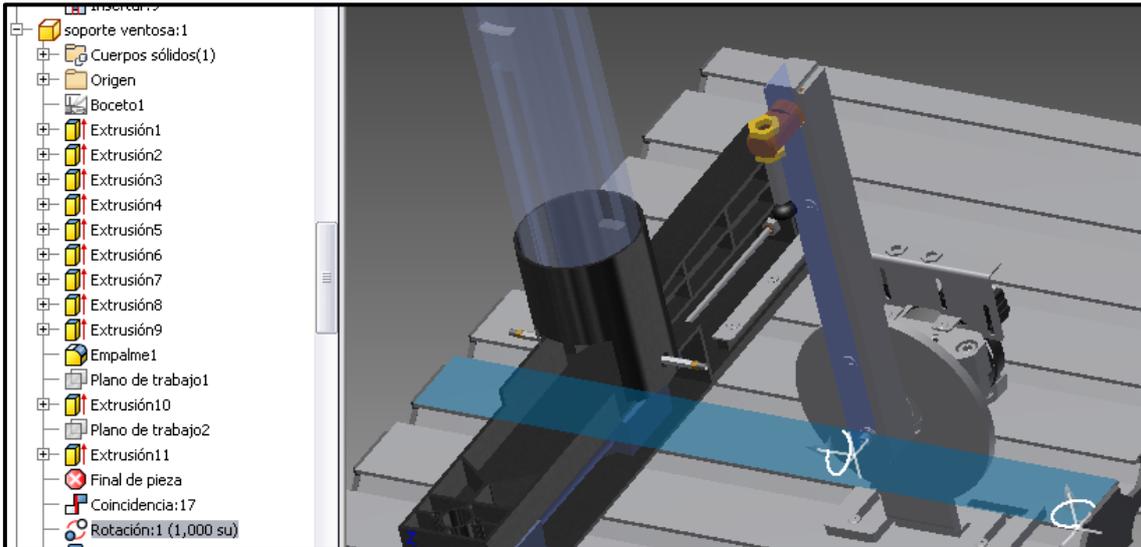


Figura 4.28. Restricción rotación-traslación en el pistón

Las demás restricciones se aplican de la misma manera que las anteriormente mencionadas. Se obtiene por último un resultado como el de la Figura 29.

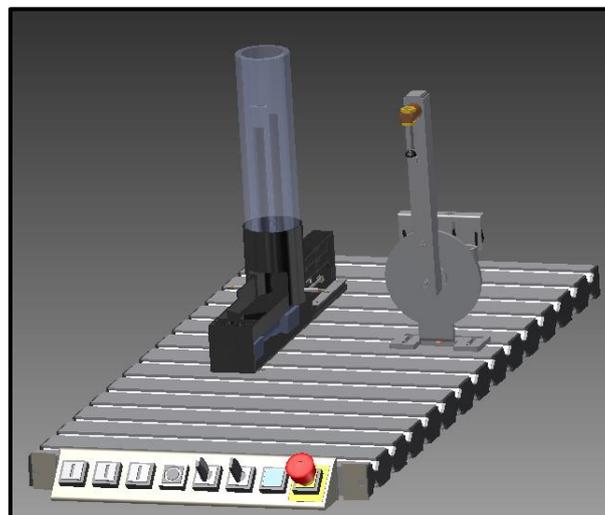


Figura 4.29. Estructura final de la estación de almacenaje y distribución

## 4.6 Entorno de simulación

La simulación en Autodesk Inventor nos permite comprobar el funcionamiento del prototipo digital creado a partir de una serie de movimientos que le imponemos a partir de la simulación dinámica, dicha simulación únicamente es válida para los modelos ensamblados y no para piezas sueltas.

La simulación se encuentra en la barra *Entorno* y se selecciona *Simulación Dinámica*, tal como se muestra en la *Figura 4.30*.



Figura 4.30. Pestaña Entornos de Autodesk Inventor

Una vez se haya ejecutado la simulación dinámica, las restricciones anteriormente generadas en el entorno de ensamblaje se convertirán automáticamente en uniones estándar, con ellas se podrán definir tanto la posición inicial como final de la trayectoria que queramos simular. En el caso de que dichas uniones no nos interesen para la ejecución de la simulación se pueden deshacer que las uniones sean convertidas en uniones estándar por defecto.

Para ello nos dirigimos a *Configuración de simulación dinámica* y elegimos si marcar o no la opción *Convertir automáticamente restricciones en uniones estándar*. Tal como se muestra en la *Figura 4.31*.

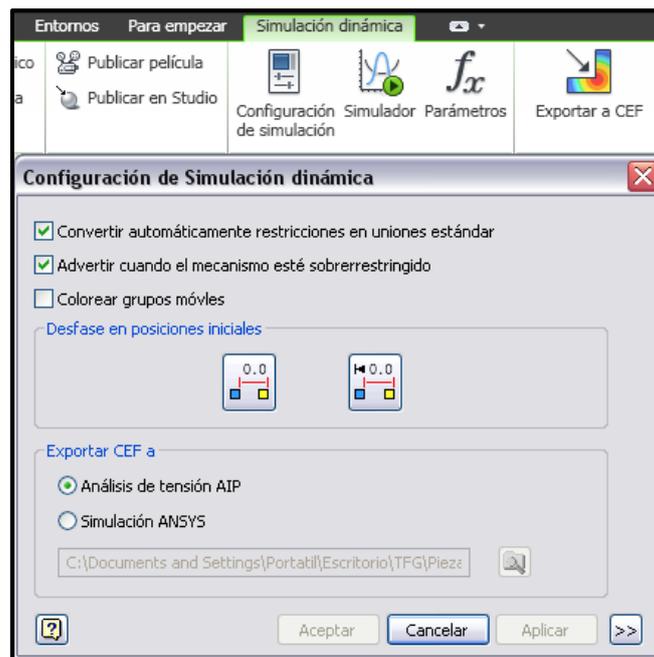


Figura 4.31. Elección de conversión automática de restricciones en uniones estándar

Al ejecutar la simulación dinámica, aparece el siguiente menú contextual a la izquierda donde se enumeran las uniones que se han creado (Figura 4.32).

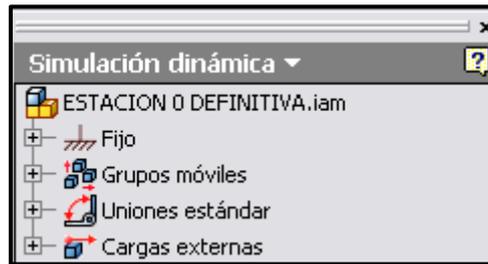


Figura 4.32. Menú contextual de simulación dinámica

Podremos definir los siguientes elementos:

- Elementos fijos: O bien se han fijado en el ensamblaje o bien no poseen grados de libertad ninguno ya que sus restricciones han limitado todos los movimientos posibles tanto de traslación como de rotación.
- Los grupos móviles son las piezas a las cuales se le han aplicado las restricciones correspondientes en el entorno de ensamblaje y se comportan como un único elemento con movimiento en el entorno de simulación.
- Las uniones estándar representan las uniones entre los distintos elementos son las que permiten movimiento en este entorno, es la unión de dos grupos móviles.
- Cargas externas, son fuerzas que se podrían añadir como es el caso de la gravedad.

Para aplicar el movimiento que queramos al pistón a través del bloque donde se introducirá para expulsar las piezas se toma en primer lugar el grupo móvil "piston:1". Si lo señalamos se mostrarán las uniones asociadas a dicho grupo, tal como se muestra en la Figura 4.33.

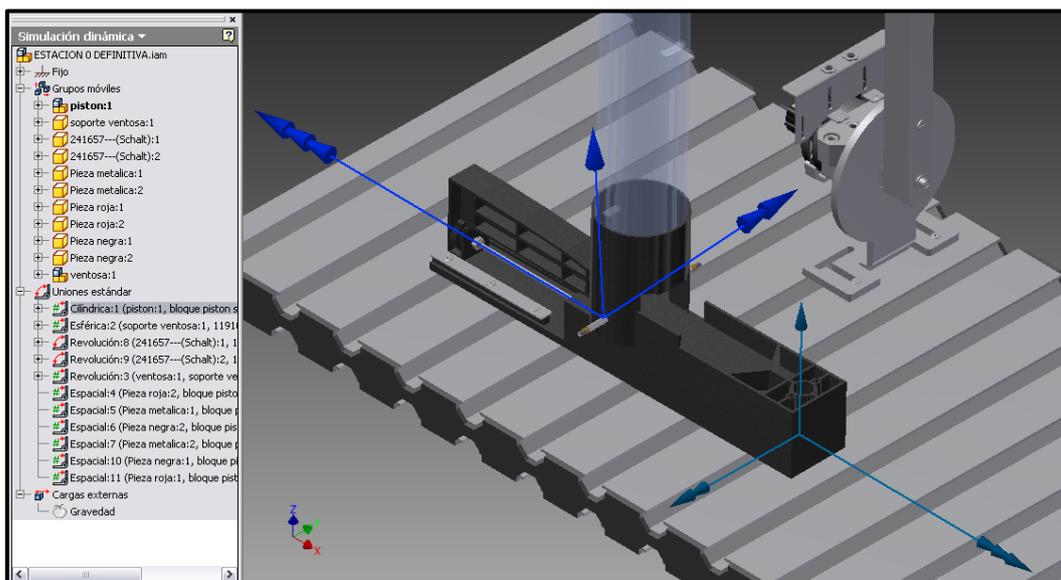


Figura 4.33. Selección grupo móvil piston

Si seleccionamos la unión estándar "Cilíndrica:1" y pulsamos botón derecho en ella entraremos en el menú de la Figura 4.34 y Figura 4.35, donde podremos imponer los

movimientos que realizará, en este caso el pistón. En los demás casos se haría exactamente igual, únicamente cambiando parámetros. Además se podrá bloquear los grados de libertad en caso de no ser necesarios su uso.



Figura 4.34. Condiciones iniciales de la unión estándar

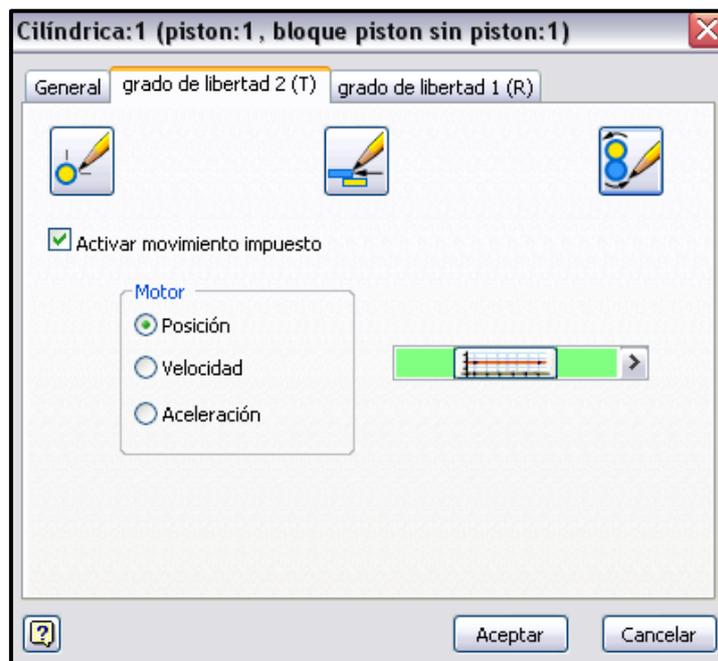


Figura 4.35. Edición del movimiento impuesto

En la anterior imagen podemos observar que los movimientos impuestos pueden ser de traslación o de rotación. En este caso al estar restringido únicamente a un grado de libertad de traslación y a uno de rotación, solamente podremos imponer el movimiento en dichos grados de libertad. Realmente sólo utilizaremos el grado de libertad de traslación ya que no nos interesa que el pistón rote.

El tipo de movimiento que podemos imponer se puede hacer teniendo en cuenta las posiciones en instantes de tiempo determinados o bien dependiendo de aceleraciones o de velocidades, en nuestro caso usaremos *posición* y pulsaremos .

Nos aparecerá una gráfica que nos permitirá añadir posiciones en determinados instantes de tiempo hasta crear una gráfica similar a la de la Figura 4.36

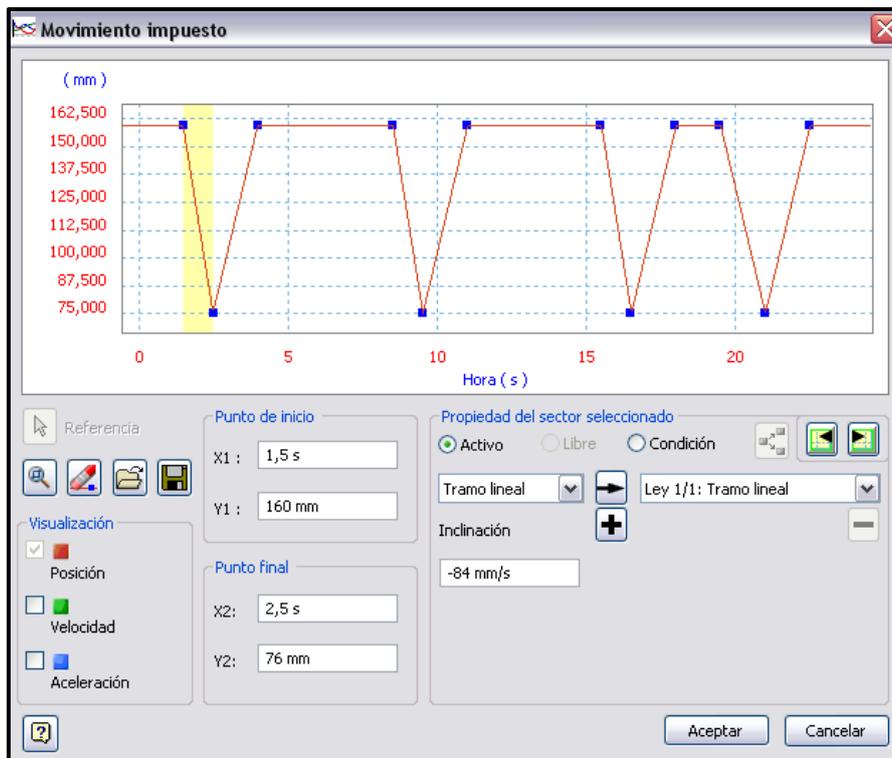


Figura 4.36. Movimiento impuesto de traslación del pistón

Existen una serie de complementos para ayudarnos en el cuadro de diálogo de los movimientos impuestos: realizar zoom sobre una parte específica de la gráfica, borrar, abrir una gráfica guardada previamente con posiciones, aceleraciones o velocidades y guardarla.



En el caso de rotación, se seguirán los mismos pasos, teniendo en cuenta que ahora el movimiento no será lineal de traslación sino circular y por tanto habrá que dar las

medidas en grados correspondientes. En la Figura 4.37 se muestra para el caso del giro del brazo con la ventosa, que solo tiene rotación.

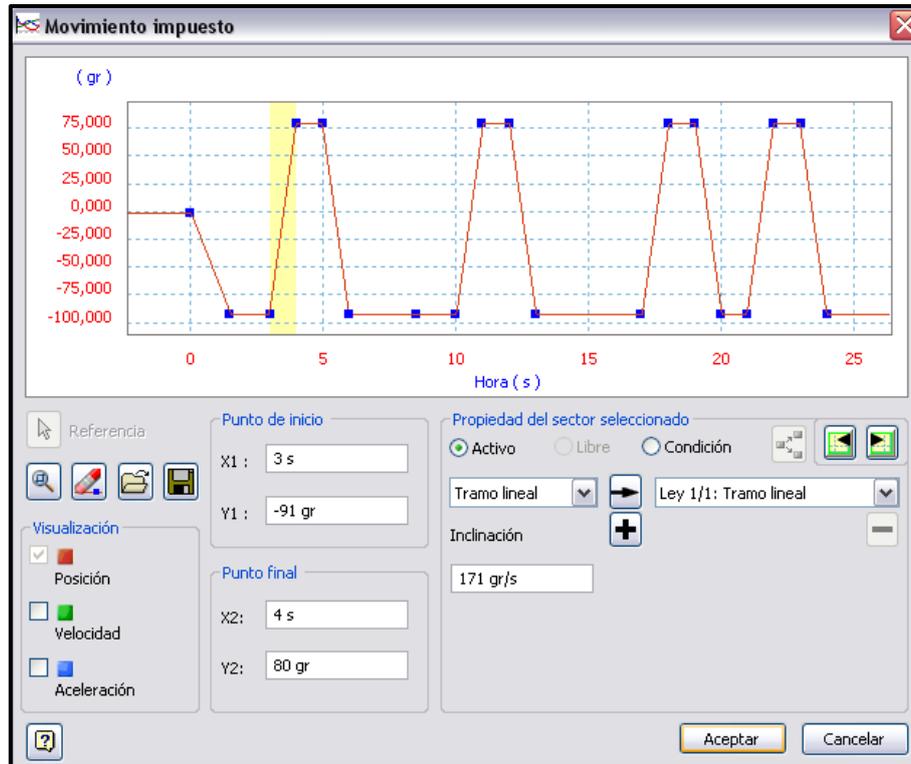


Figura 4.37. Movimiento impuesto de rotación del brazo

Una vez finalizada la construcción de las gráficas de posiciones, salimos del modo de construcción y nos dirigimos al modo de simulación donde aparecerá el cuadro de mandos del simulador (Figura 4.38).



Figura 4.38. Cuadro de mandos del simulador

Dispone de las siguientes opciones:



Modo de construcción: Nos permite volver a editar los movimientos impuestos mencionados anteriormente.



Ejecutar o volver a reproducir la simulación

-  Desactivar o activar actualización de pantalla durante una simulación
-  Salto al final de la simulación
-  Reproducción de la simulación que se está ejecutando en un bucle continuado

Por último tenemos unos valores numéricos y una barra tal como se muestra (Figura 4.39)

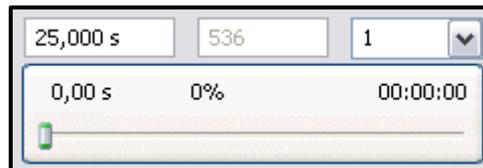


Figura 4.39. Valores variables de la simulación

Dichos valores nos indican:

- Tiempo final: Define el tiempo en el que se ejecuta la simulación, en nuestro caso es de 25 segundos, por defecto su valor es 1 segundo
- Imágenes que se guardan durante la simulación: Varía automáticamente a la vez que varía el tiempo final, por defecto el valor es 100 imágenes cuando el tiempo final es de 1 segundo
- Fotogramas: Controla el campo de visualización de fotogramas, es decir, si el valor es 1 se muestran todos los fotogramas, en cambio si el valor es de 5 se muestra uno de cada 5 fotogramas
- Barra de simulación: En la barra se indican, el tiempo inicial, el porcentaje de simulación realizado y el tiempo total de la simulación, se ejecutará a la vez que se ejecute la simulación.

### Problemas al realizar la simulación

Los problemas que se han tenido a la hora de simular han tenido que ver sobre todo con las rotaciones de los elementos y sus restricciones:

- ◆ El pistón por ejemplo se introducía bien por el bloque para empujar la pieza pero realizaba giros ya que no se había limitado a que solo tuviera traslación y no rotación.
- ◆ Un problema similar ocurrió con el bloque de la ventosa, en el cual, cuando el brazo giraba, la estructura que lo soportaba se deformaba, ello era debido a que no se habían fijado los componentes que no tenían movimiento.
- ◆ Por último, se presentaron problemas con las piezas, a las cuales si se le hacía una restricción por el tubo del bloque del pistón, realizaba bien el proceso del pistón pero a la hora de llegar el brazo, no era posible unirlo con la ventosa, para ello no se le pusieron restricciones frente a ningún elemento pero sí se le

hizo una restricción espacial a cada una de las piezas, únicamente de traslación para poder guardar las posiciones de la pieza y poder usarlas en los movimientos impuestos (Figura 4.40)

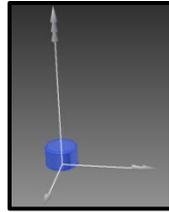


Figura 4.40. Restricción espacial sobre pieza

## 4.7 Entorno de Inventor Estudio

Una vez se haya ejecutado la simulación, podemos hacer un video con la animación que le hemos impuesto a la simulación, para ello nos dirigiremos a *Publicar en Studio* (Figura 4.41)



Figura 4.41. Acceder al entorno de Inventor Studio

Dentro del entorno, podremos acceder a la escala de tiempo y seleccionar *Opciones de animación* (Figura 4.42). Indicaremos la duración de nuestra simulación, en nuestro caso 25 segundos y velocidad constante (Figura 4.43)

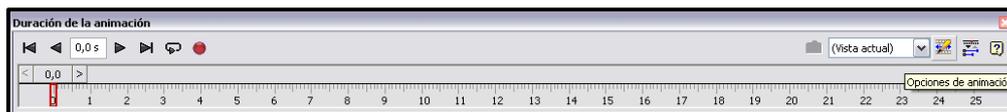


Figura 4.42. Barra de duración de la animación

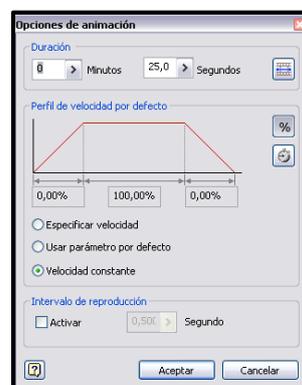


Figura 4.43. Opciones de animación

El siguiente paso consiste en animar los parámetros de la simulación, para ello nos dirigimos a *Animar parámetros* tal como se muestra (Figura 4.44)



Figura 4.44. Animar parámetros

Una vez dentro de *Animar parámetros*, se pulsa en *Especificar* para establecer el tiempo, definiendo los valores de tiempo inicial y de duración, también se debe fijar el valor fin de acción, el cual debe ser multiplicado por 100 debido a que se necesitan 100 fotogramas por segundo para renderizar. La simulación del presente TFG es de 25 segundos por lo que el número de fotogramas será de 2500 (Figura 4.45)



Figura 4.45. Especificación valores de tiempo de simulación

Una vez hemos especificado los valores de tiempo, elegiremos las cámaras que vamos a usar, para ello pulsamos botón derecho y seleccionamos *Crear cámara según vista* (Figura 4.46)



Figura 4.46. Crear cámara según vista

Al realizar éste paso, se generará una cámara, que podremos modificar mediante la indicación *Animar cámara* (Figura 4.47)

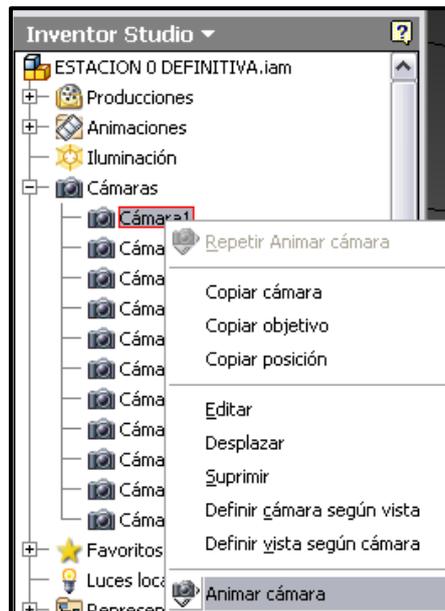


Figura 4.47. Animar cámara

Una vez se hayan creado las cámaras, con esta herramienta se puede regular el tiempo de simulación con el que estará la cámara seleccionada activa. Además se podrá dar movimiento a la cámara, indicando la pestaña *Plataforma giratoria* (Figura 4.48)

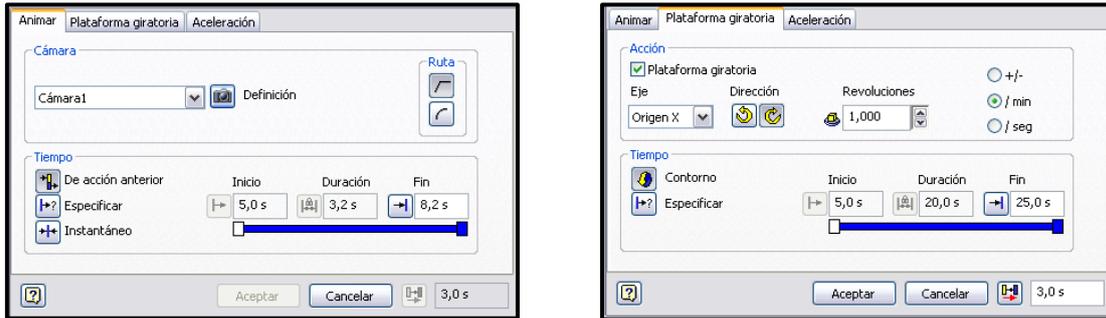


Figura 4.48. Animar cámara y plataforma giratoria

Una vez se han establecido los parámetros para el diseño del video, nos dirigimos al *Productor de video*, situado en la pestaña *Renderizar*. Nos aparecerá en una escala de tiempo, las cámaras en formas de imágenes ubicadas en una escala de tiempo, si tenemos indicada la pestaña *Tomas* (Figura 4.49). En la pestaña *Transiciones*, se nos permite introducir elementos al video que permitan suavizar la transición de una cámara a otra.

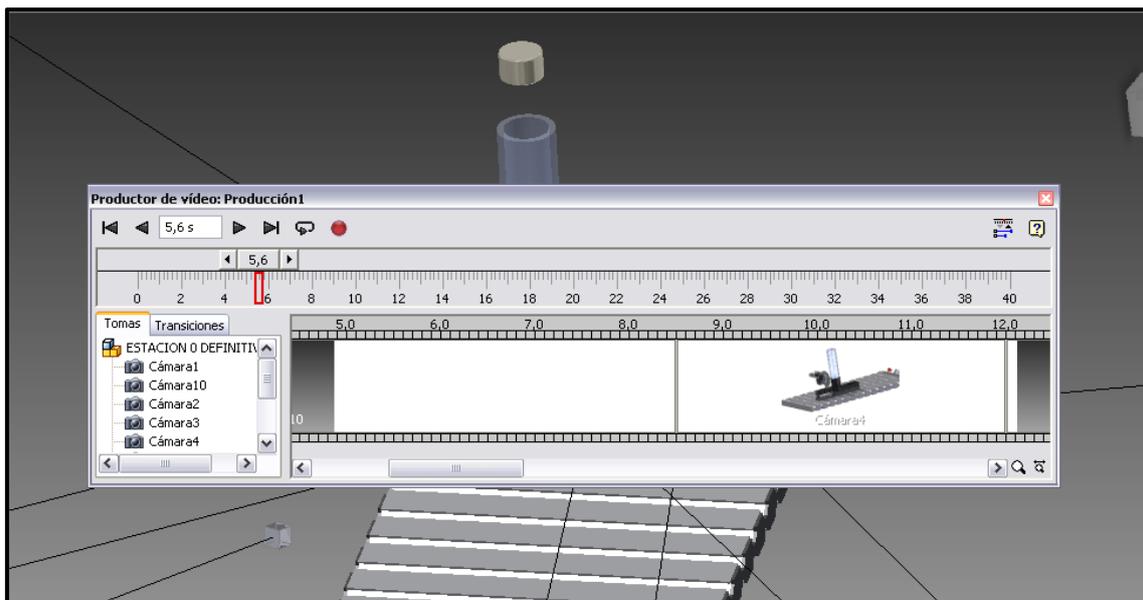


Figura 4.49. Productor de video

Una vez hemos terminado de producir el video, se procede a *Renderizar la animación* (Figura 4.50). Se abre una ventana en la que se pueden elegir los parámetros que queremos para la renderización. Se definirá el tiempo y también se puede escoger el tipo de suavizado que tendrá la simulación, dando un aspecto mejorado al mismo. Una vez decretados todos los parámetros, debemos tener en cuenta que tenemos la opción de *Vista preliminar: Sin renderización*, la cual nos permite comprobar que el vídeo tiene los parámetros que le hemos asignado. Ejecutamos renderizar, teniendo en cuenta que éste proceso puede tardar bastante tiempo en realizarse. (Figura 4.51)

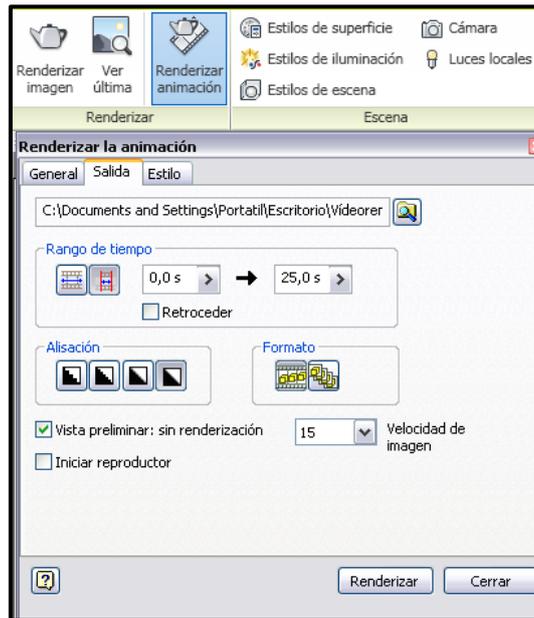


Figura 4.50. Salida de renderización

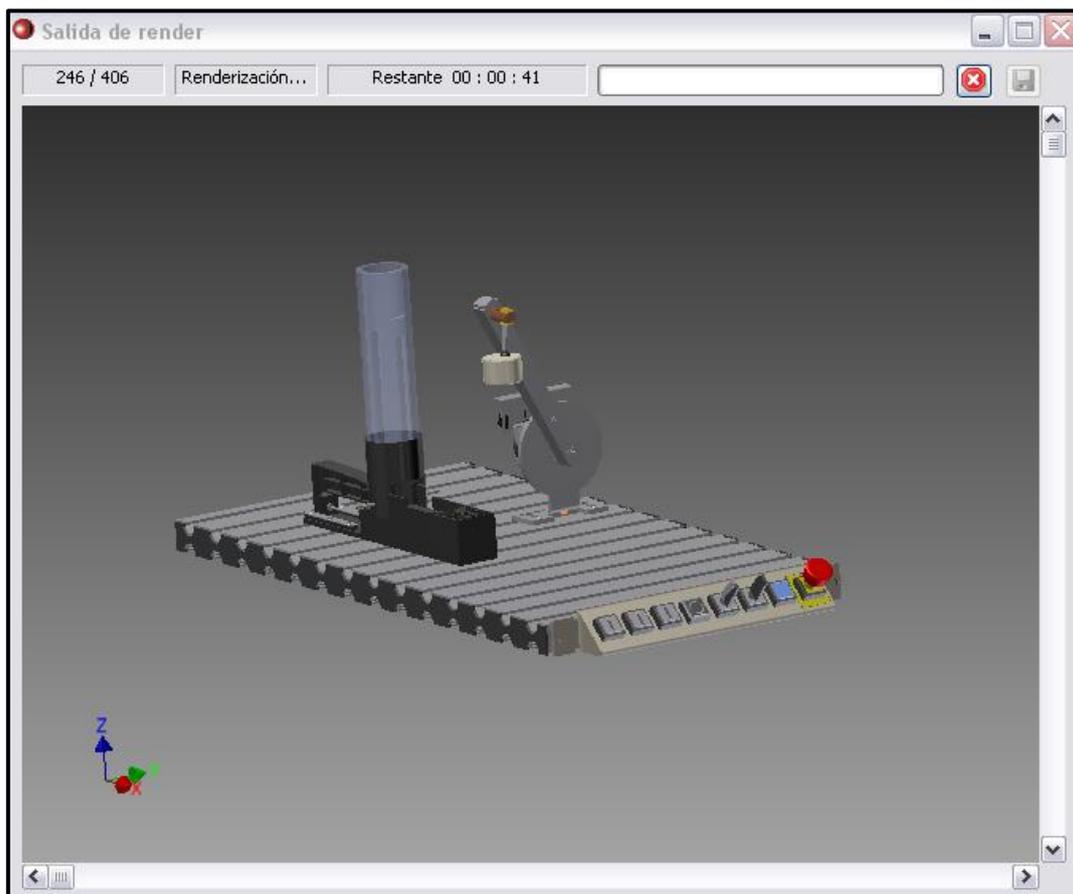


Figura 4.51. Renderización en curso

## 4.8 Entorno de documentación

Mediante el entorno de documentación es posible generar de manera sencilla, rápida y eficaz planos de los elementos diseñados en Autodesk Inventor. Con ésta herramienta se pueden reducir posibles errores a la hora de diseñar y se pueden realizar los modelos en un corto espacio de tiempo.

Los planos permiten aportar documentación técnica sobre los objetos representados sin haber tenido contacto visual con el mismo, lo que permite crear a partir de él un modelo tridimensional.

Autodesk Inventor nos permite generar de forma semiautomática las especificaciones técnicas de cualquier pieza o ensamblaje creado sobre un plano a partir de una vista base. Los ficheros creados en el entorno de documentación tendrán el formato .IDW (Inventor Drawing)

Para la creación de los planos, lo realizaremos de manera externa al ensamblaje o la pieza en cuestión, para ello seleccionamos un nuevo fichero (Figura 4.52)

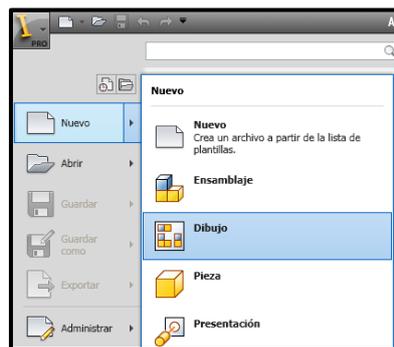


Figura 4.52. Creación de nuevo documento de Dibujo

Al crear un nuevo documento, se nos abrirá una plantilla por defecto en formato A3, con marco incluido y con un cajetín normalizado ISO. (Figura 53)

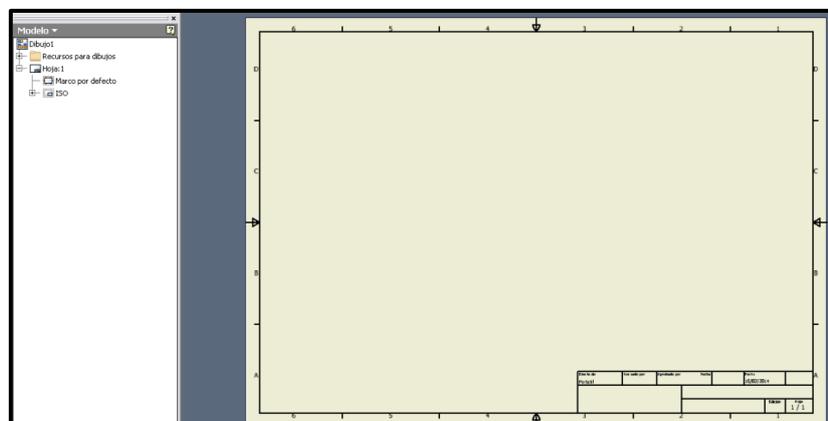


Figura 4.53. Plantilla creada por defecto

Los anteriores elementos se pueden modificar, definiendo unos nuevos macros y cajetines y cambiando el formato de hoja. (Figura 4.54)

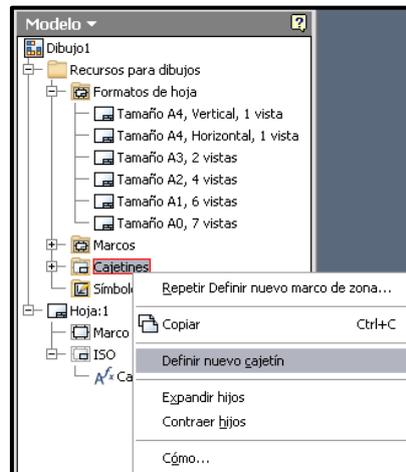


Figura 4.54. Definición de nuevo cajetín

Como primer paso para generar la vista en el plano de un objeto, se debe establecer una vista base (Figura 4.55)



Figura 4.55. Creación de base

Al pulsar se nos abre la ventana, vistas de dibujo, en el que se puede indicar el tipo de vista que queremos dar inicialmente de la pieza, estilo de proyección y la escala, así como la orientación de la pieza o ensamblaje. (Figura 4.56)

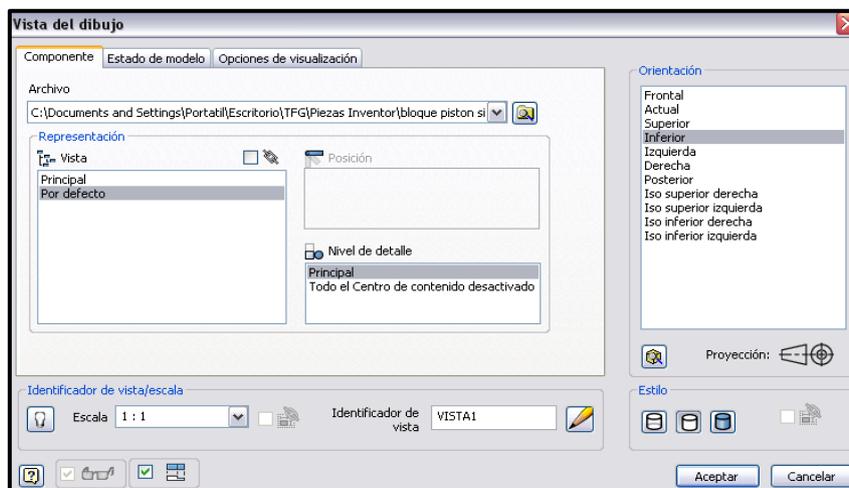


Figura 4.56. Vistas de dibujo

En los estilos, se nos permite escoger como se verá la pieza, es decir mostrando líneas ocultas, sin mostrarlas y el último para ver el componente en sombreado. Se procede con la colocación de las piezas en el plano.

En este sentido Autodesk Inventor es muy intuitivo y se puede observar que desde que se coloca una pieza en perspectiva, directamente se nos generan las vistas sobre el plano, así como sus proyecciones de alzado, planta y perfil (Figura 4.57)

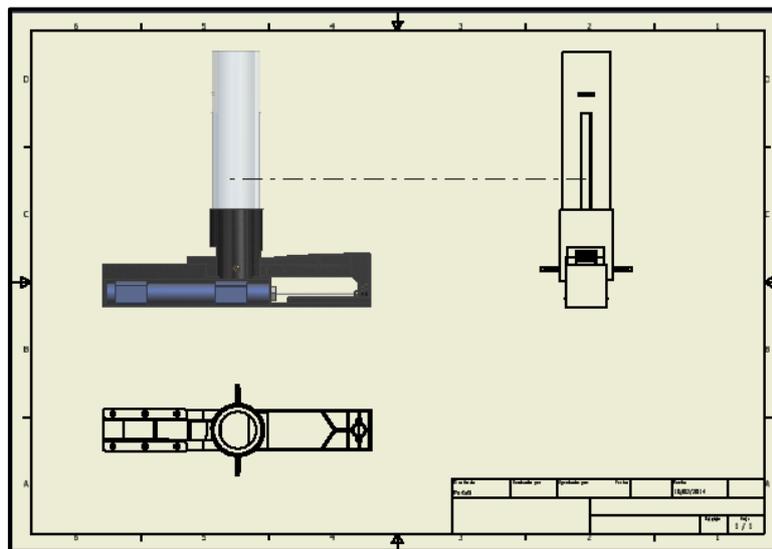


Figura 4.57. Alzado, planta y perfil del bloque del pistón

El siguiente trata de insertar el cajetín. Para ello hemos descargado de la web del Centro, el formato .DWG. En primer lugar se borra el cajetín instalado por defecto y se guarda un nuevo cajetín, ello nos llevará hacia un entorno de boceto en el cual podremos cargar el cajetín en formato ACAD. (Figura 4.58). Una vez hayamos modificado el boceto a nuestra conveniencia, terminamos el boceto.

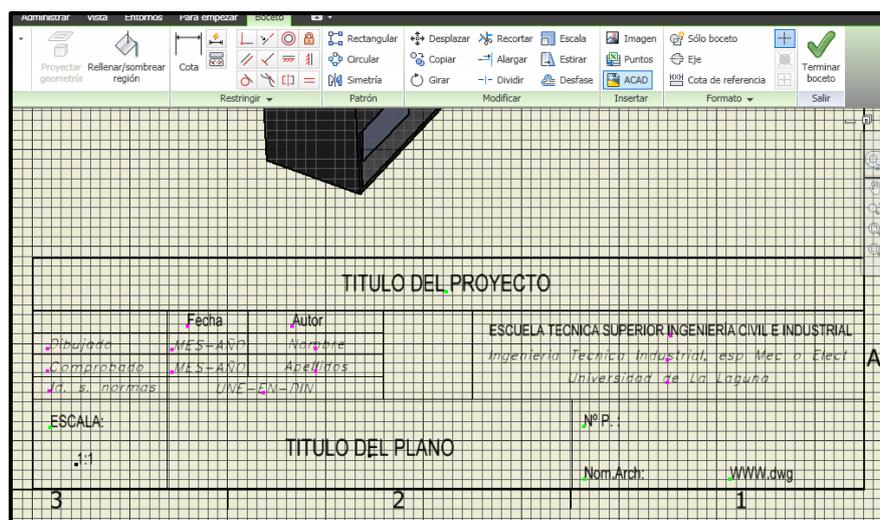


Figura 4.58. Importación plantilla del cajetín

Modificado el cajetín y creado el plano con las vistas que nos interesen podremos imprimirlo o exportarlo a PDF y podremos usar y modificar cuantas veces queramos tanto el cajetín como las piezas creadas (Figura 4.59)

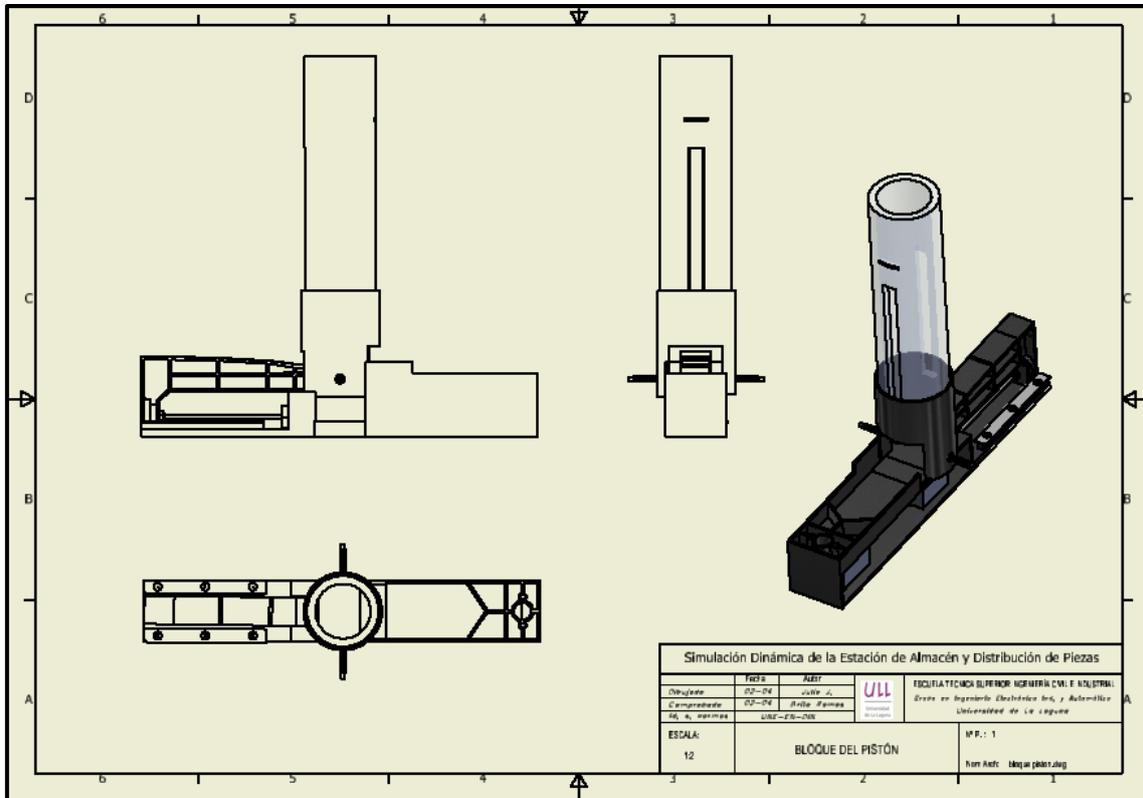


Figura 4.59. Plano creado con vistas elegidas y cajetín

Los planos de trabajo realizados de la Estación de Almacén y Distribución de Piezas se encuentran en el Anexo IV.

## 4.9 Entorno de presentación

Éste entorno nos permite realizar la vista explosionada de un ensamblaje que queramos, de este modo se puede obtener tanto imágenes estáticas como animaciones de la construcción del ensamblaje. Las presentaciones realizadas se guardarán en formato .IPN (Inventor Presentation).

Al igual que en el entorno de Inventor Studio, se pueden insertar tantas vistas como se crea conveniente, la presentación nos ayuda a observar cómo se unen e interactúan las piezas de un ensamblaje, además de poder comprobarse los objetos internos del ensamblaje que no son visibles desde el exterior.

Para iniciar una nueva presentación, debemos saber que es independiente del ensamblaje y de la documentación, por lo que cerramos dichos elementos y abrimos uno nuevo (Figura 4.60).

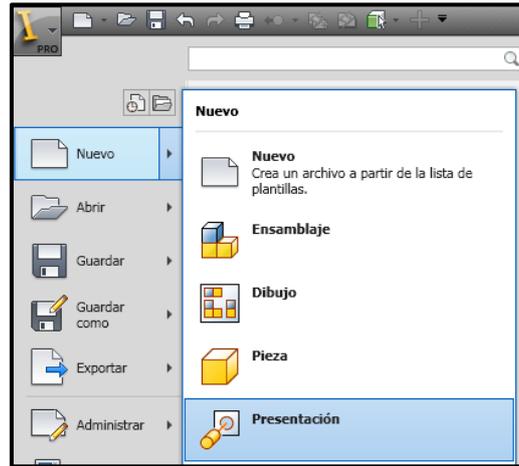


Figura 4.60. Nuevo archivo de presentación

Al abrir la nueva presentación, no aparece nada sino el comando *Crear vista*, con el cual se hace la construcción de la vista explosionada (Figura 4.61).

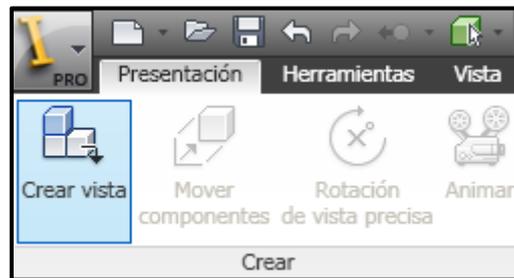


Figura 4.61. Comando crear vista

A continuación se debe escoger el ensamblaje dirigiéndonos al directorio donde lo tenemos guardado. A la hora de generar las vistas, se pueden explosionar tanto de forma automática como manual. Si se selecciona de forma automática, nos pide un parámetro que especifica la distancia a la que se quiere explosionar las piezas entre sí. (Figura 4.62).

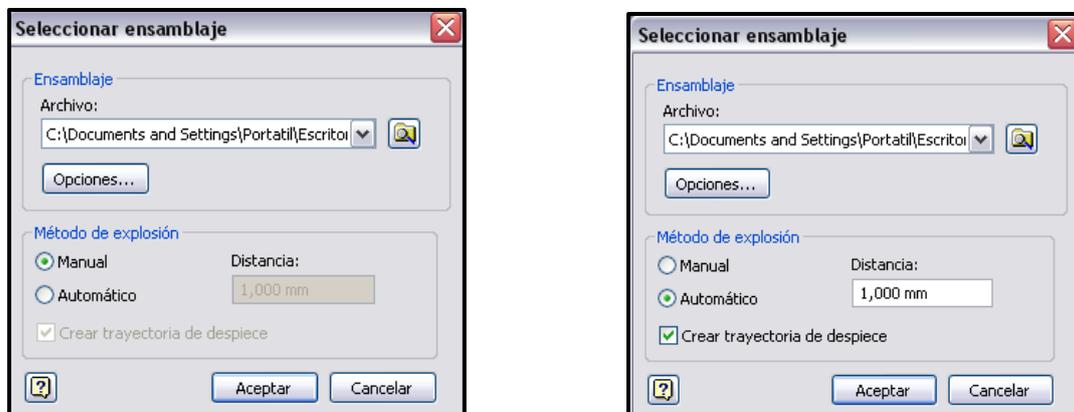


Figura 4.62. Explosión manual y automática

Seleccionando la opción manual, se deben crear las vistas que queremos explotar una a una. Para ello nos dirigimos al comando *Mover componente* (Figura 4.63)

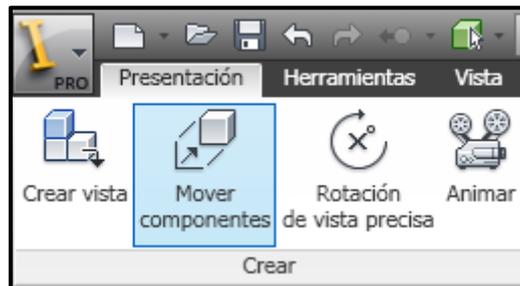


Figura 4.63. Mover componentes

Se abrirá un cuadro de diálogo en el que debemos de establecer una referencia, *Dirección*, una vez establezcamos la referencia, nos aparecerá marcada dicha referencia con los sistemas de referencia x,y,z. Ahora seleccionaremos los componentes que queremos mover y seleccionamos en qué dirección queremos moverlos teniendo en cuenta el sistema de referencia mencionado, elegimos la distancia y validamos. Automáticamente nos mostrará el resultado del movimiento y podremos modificarlo sobre la marcha (Figura 4.64)

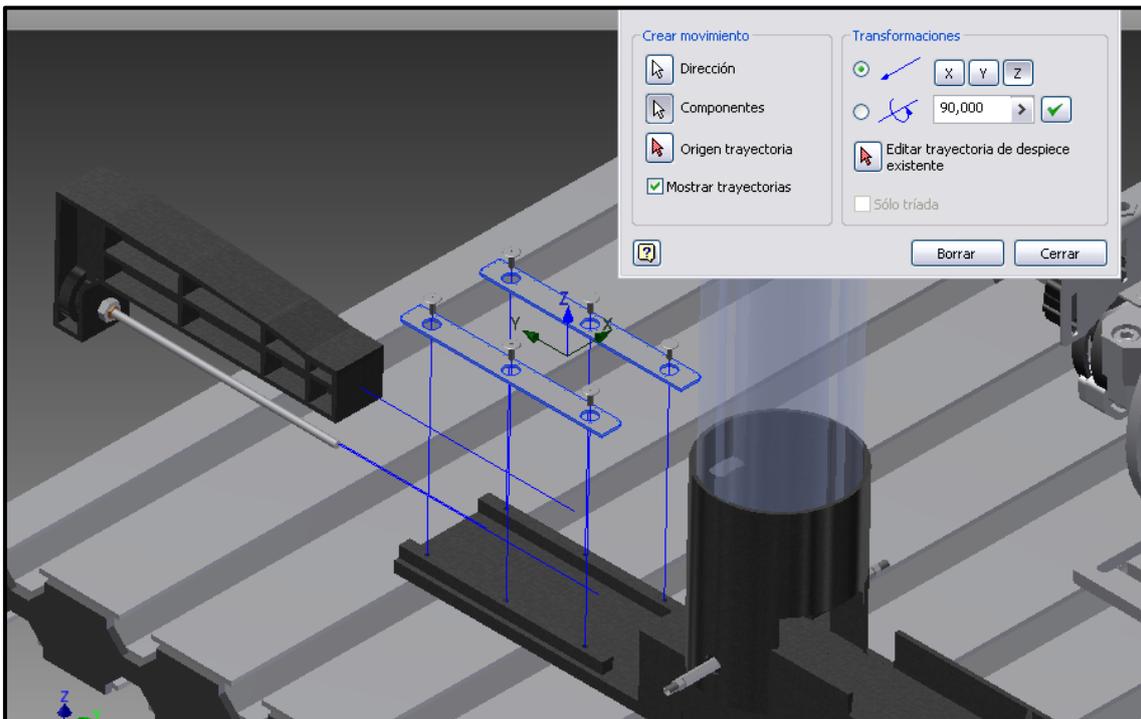


Figura 4.64. Desplazamiento de componentes

Una vez se han terminado de desplazar los componentes que nos interesen, podemos realizar una película o animación mediante el comando *Animar*. Una vez entremos nos aparecerá un cuadro de diálogo en el cual podremos decidir en qué momento se produce cada movimiento mediante los comandos *Subir* y *Bajar* (Figura 4.65).

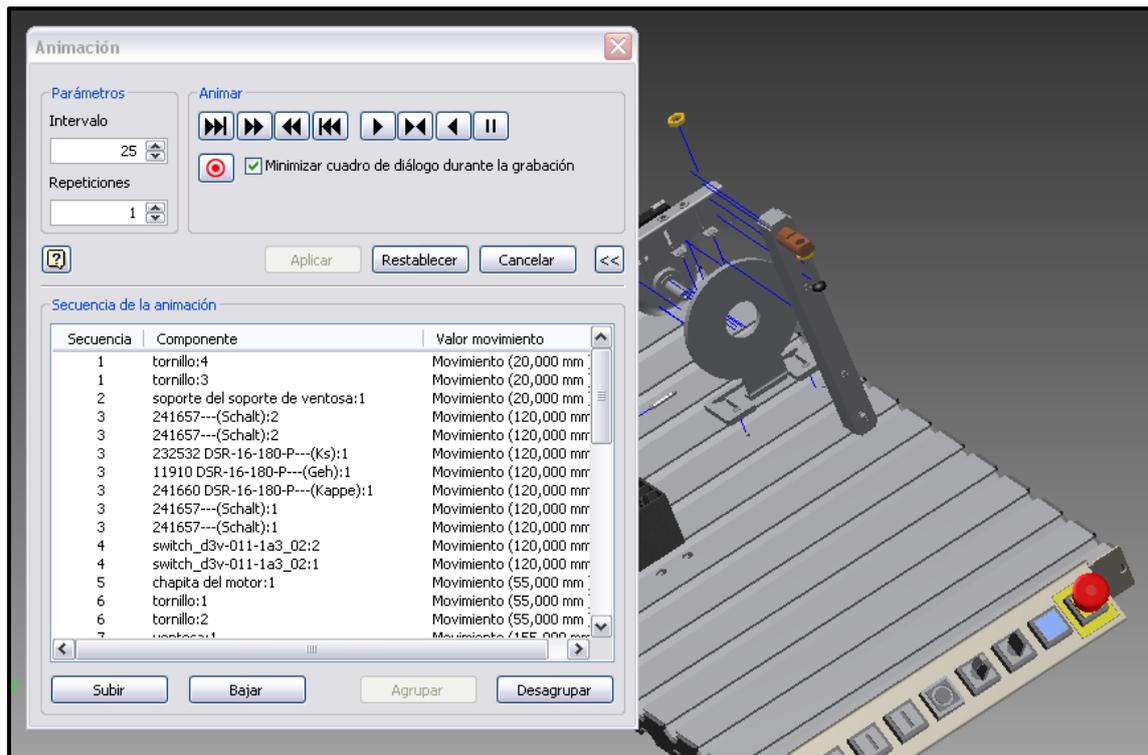


Figura 4.65. Panel de control de la animación

## 4.10 Inventor Publisher

El software Inventor Publisher, es un programa independiente que permite realizar presentaciones de un producto. Se puede decir que tiene la misma finalidad que el entorno de presentación mostrado en el anterior apartado, pero con la diferencia en que éste resulta más completo debido a la posibilidad de inserción de elementos como son imágenes, flechas, resaltar elementos, etc.

Inventor Publisher permite además importar muchos tipos de documentos tipo CAD como pueden ser los de Autodesk Inventor, AutoCAD, SolidWorks, CATIA, Google SketchUP, ProENGINEER, etc.

Las presentaciones realizadas en Autodesk Inventor Publisher constan de un esquema o secuencia de trabajo, denominado storyboard, dónde cada uno de los elementos del storyboard representa un estado del ensamblaje o despiece.

El programa nos permite crear videos en formato .AVI, crear imágenes, archivos DWF, PDF además permite publicar y visualizar las presentaciones 3D en dispositivos móviles como móviles, tablets, etc.

Una vez ejecutamos el software nos aparece una ventana como se muestra (Figura 4.66)

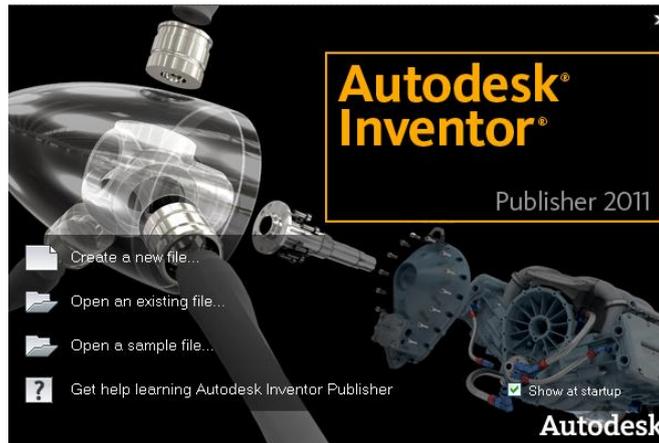


Figura 4.66. Crear nuevo archivo en Inventor Publisher

1. Se selecciona la opción **Create a new file...**
2. Nos aparecerá una ventana emergente para escoger el archivo de ensamblaje que queramos
3. Una vez hallamos abierto el ensamblaje, éste nos aparecerá en el área de publicación, seleccionamos **Manual Explode** para realizar el despiece.
4. Una vez que se ha realizado el despiece, se procede a crear la presentación. Ella se basa en una serie de capturas de pantallas las cuales muestran el desarrollo del ensamblaje. En cada una de dichas capturas se pueden realizar cambios como pueden ser: cambiar el color de los elementos, hacer desaparecer piezas, cambiar el ángulo de la cámara, incluir texto o imágenes, etc.
5. A la izquierda del área de publicación se encuentra la pestaña **Canvas** en la cual se encuentran todas las piezas y desde ahí se puede desactivar la visibilidad del elemento seleccionado, así como variar su color y otras opciones. (Figura 4.67)

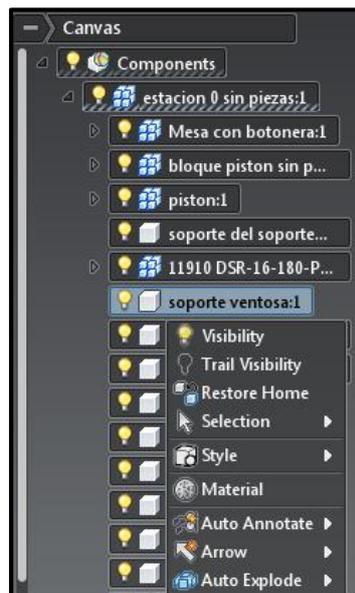


Figura 4.67. Menú Canvas

En un principio hemos hecho un despiece de la pieza, ahora lo que haremos es rearmar la estructura de la estación 0 paso a paso, para ello escogeremos los componentes que deseamos mover a su posición de inicio y pulsamos **Restore Home**.

Cada vez que se quiera realizar un nuevo movimiento, se debe realizar un nuevo **Snapshot**, por lo que iremos guardando imágenes para luego ser visualizadas en un reproductor asignándole los instantes de tiempo que consideremos oportunos.

Una vez hemos terminado, la interfaz será similar a la imagen (Figura 4.68), donde se puede observar todos los Snapshot en el orden que le hemos asignado.

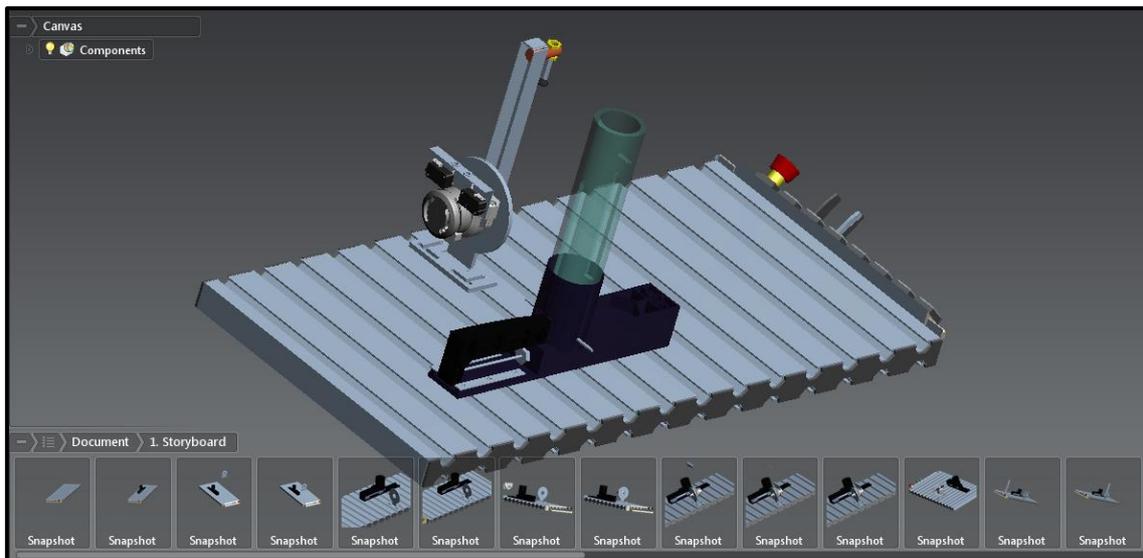


Figura 4.68. Vista final de la presentación

Podemos asignarle los tiempos en los que transcurren las diapositivas desplegando el menú **Show Timing**, lo que nos permite decir cada cuanto pasan las diapositivas del Storyboard (Figura 69)

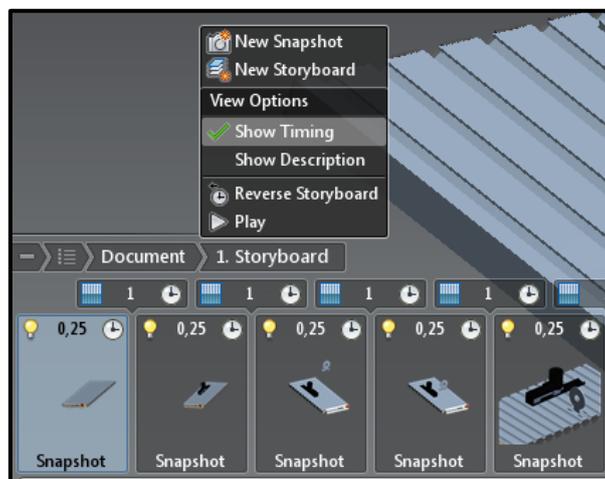


Figura 4.69. Show Timing

Una vez acabado el Storyboard, podremos hacer el vídeo y exportarlo a múltiples plataformas (Figura 4.70)

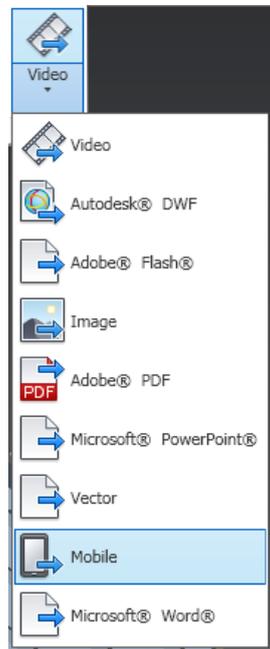


Figura 4.70. Publicar video

## Capítulo 5

### Ciros Mechatronics

#### 5.1 Introducción

El programa de Festo CIROS Mechatronics [19] es un software de simulación tridimensional que permite simular el funcionamiento de las plantas creadas por la empresa Festo que han sido incluidas en el programa. Este software se trata de un subprograma del CIROS Automation Suite, el cual engloba 5 programas con las características reflejadas en la tabla 5.1.

	<b>CIROS® Robotics</b>	<b>CIROS® Mechatronics</b>	<b>CIROS® Adv. Mechatr.</b>	<b>CIROS® Production</b>	<b>CIROS® Studio</b>
	Programación y simulación de robots	Programación y simulación de PLC	Programación y simulación de x células de PLC	Automatización industrial Gestión de producción	Modelación Simulación
Representación en 3D	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
Simulación (multirobots)	<b>X</b>			<b>X</b>	<b>X</b>
Simulación (Mitsubishi Compiler)	<b>X</b>				<b>X</b>
Simulación (KUKA, ABB, Adept-Compiler)					<b>opcional</b>
Interface Mitsubishi Controller					<b>X</b>
Células de aprendizaje Robotics + interface de usuario	<b>X</b>				
Células de aprendizaje Mechatronics + interface de usuario		<b>X</b>	<b>X</b>		
Simulación (1 PLC + descarga)		<b>X</b>	<b>X</b>		<b>X</b>
Simulación (varios PLC + descarga)			<b>X</b>		<b>X</b>
Simulación (varios PLC)	<b>X</b>		<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>
Simulación		<b>X</b>	<b>X</b>		

(entorno de aprendizaje de búsqueda de fallos)					
Modelización (CAD – Importación, mecanismos)					<b>X</b>
Modelización (editor de composición + biblioteca de sist. prod. modular)			<b>X</b>		
Interface OPC (configuración libre)					<b>X</b>
Interface OPC con configuración fija		<b>X</b>	<b>X</b>		<b>X</b>
Entorno de control manual		<b>X</b>	<b>X</b>		
Ventanas de células de trabajo configurables	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>		<b>X</b>
Central de mando (sin controlador HW)				<b>X</b>	
Gestión de producción				<b>X</b>	<b>X</b>

Tabla 5.1. Comparativa software CIROS Automation Suite

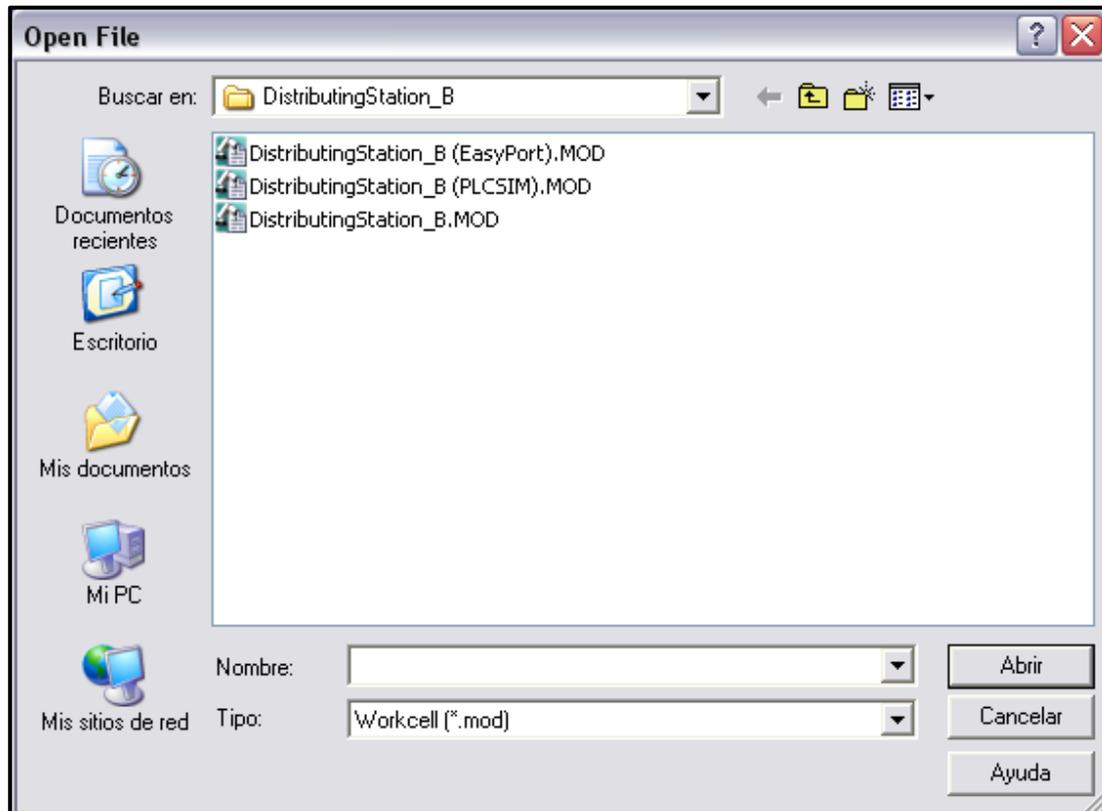
Para simular las plantas que se tienen en la Universidad se puede utilizar el software CIROS Mechatronics, pero existen dos inconvenientes: 1) el elevado coste de cada una de las licencias de CIROS Mechatronics hace inviable montar un laboratorio de simulación con un número mínimo útil de puestos, 2) no permite simular nuevas plantas. Si se desea crear una nueva planta en un modelo CAD y simularla es necesario utilizar el software CIROS Studio, pero este paquete tiene un coste aún superior al del CIROS Mechatronics. Por lo tanto, para conseguir simular nuevas plantas de un modo similar a como lo hace CIROS Mechatronics debemos investigar nuevas alternativas, como se comentará más adelante en la memoria.

## 5.2 Manejo del programa

El programa trabaja con modelos de procesos correspondientes a varias estaciones educativas de automatización de la empresa Festo. A la hora de instalar el programa, se instalan a su vez las celdas de trabajo o workcells por defecto en el siguiente directorio:

**C:\Program Files\didactic\CIROSMechatronics.en\Samples**

Una vez localizada la estación buscada, se abre la carpeta, que contiene 3 archivos (Figura 5.1)



*Figura 5.1. Abrir archivo*

Se procede a explicar cada una de las posibles opciones:

- **PLCSIM:** Es un software de unión entre el editor de programas S7-300 o CodeSys y el entorno de simulación de CIROS Mechatronics, mediante el cual se puede simular en tiempo real las líneas de código generadas en un editor de S7-300 (Figura 5.2).

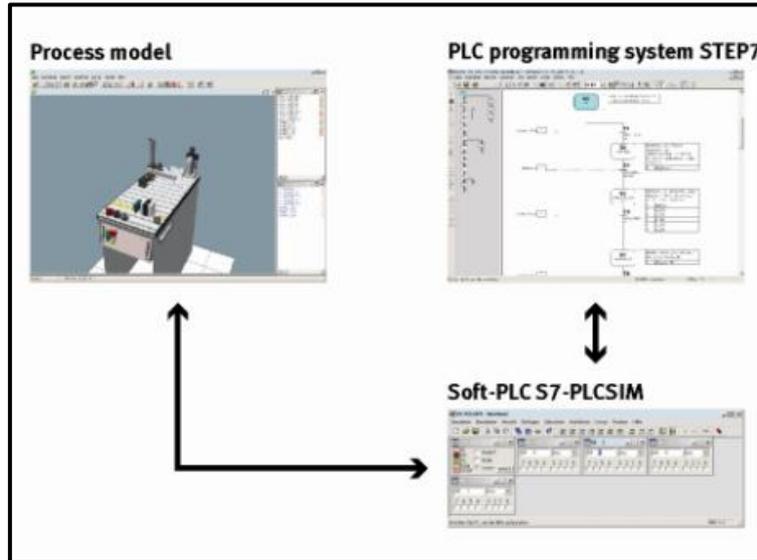


Figura 5.2. Intercambio de información mediante PLCSIM

- EasyPort: Si se usa el PLC externo real para controlar la planta modelada se debe disponer de un cable de intercambio de datos. Mediante el EasyPort se transmiten las señales de E/S del PLC a través de una interfaz serie o USB al servidor OPC EzOPC (Servidor Festo para la interconexión de ambas interfaces, ver Figura 5.3).

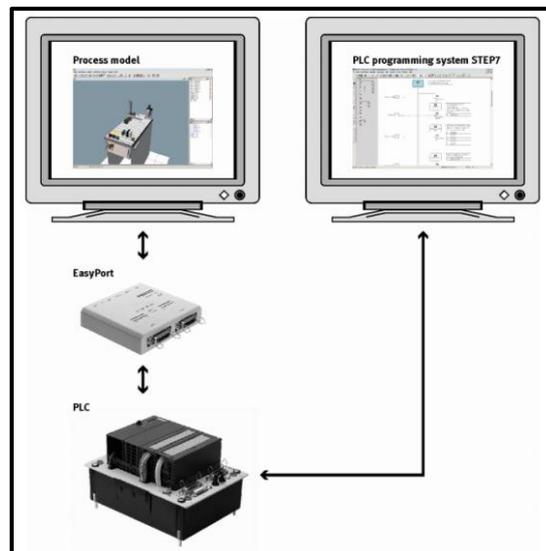


Figura 5.3. Intercambio de información mediante EasyPort

- PLC interno: Se trata de un PLC incorporado en el programa, el cual nos permite ejecutar proyectos realizados en S7-300 con la extensión “.s7p” y verificar su funcionamiento en la planta. Ésta es la opción que escogeremos ya que las anteriores opciones son con software y hardware que no tenemos disponible.

Otra forma de abrir el archivo de simulación deseado es mediante el asistente que aparece al abrir el programa, que muestra las características de la planta. Se abre pulsando sobre **Abrir el modelo de referencia** (Figura 5.4).

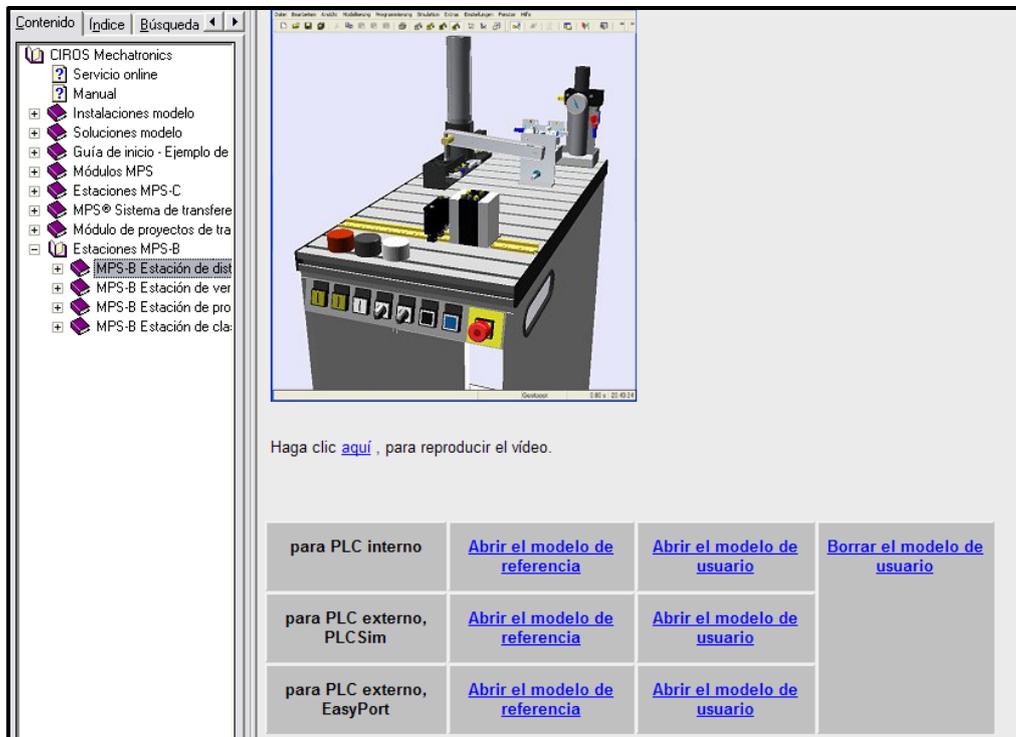


Figura 5.4. Abrir el modelo de referencia

### 5.3 Simulación mediante PLC interno

Mediante el PLC interno integrado en el software CIROS Mechatronics se pueden ejecutar programas realizados en todos los lenguajes que acepta el S7-300 (KOP, AWL, FUP y GRAPH). A continuación se detallan los pasos necesarios para implementar el código que se ha generado previamente en el software del S7-300

#### 1º) Comprobar que el proceso está siendo controlado por PLC interno

Para ello se selecciona en el menú *Modeling* y luego *Switch external PLC <-> internal PLC...* Aparece una ventana en la que se puede cambiar el tipo de PLC por los mencionados en el anterior apartado, si aparece PLC y el símbolo del Step 7 (la huella con el 7) significa que se está trabajando con la opción de PLC interno (Figura 5.5).

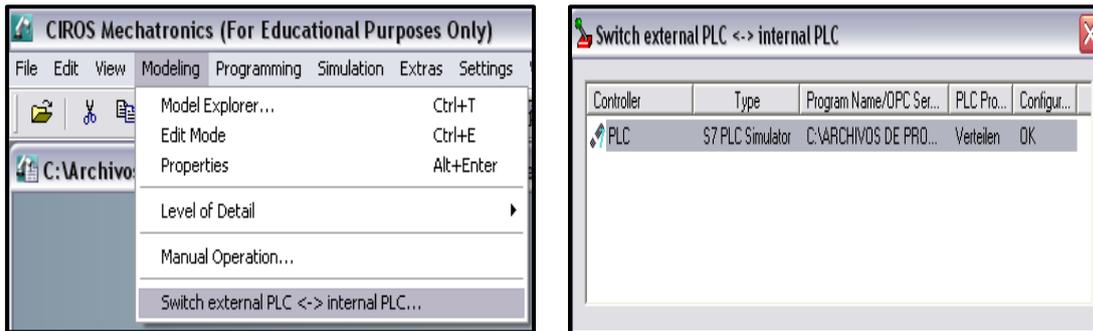


Figura 5.5. Tipo de PLC

## 2º) Cargar el código de programación

Para ello se selecciona en el menú *Programming* y luego *S7 Program Manager*. Una vez hecho eso se abre una ventana (Figura 5.6).

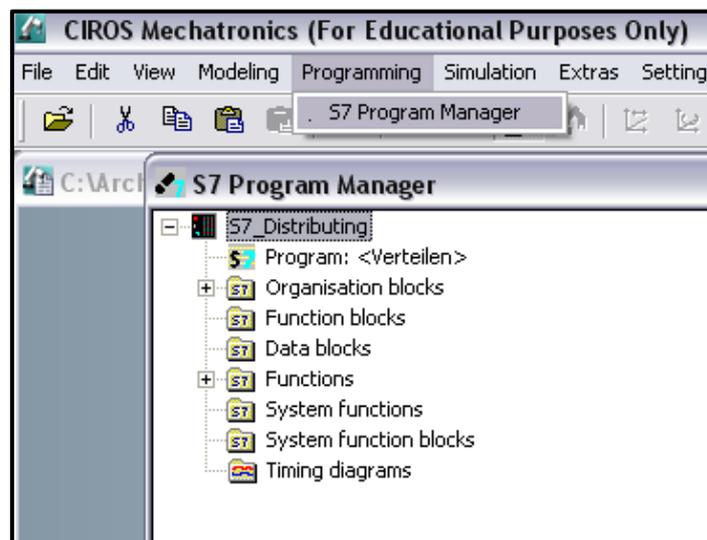


Figura 5.6. S7 Program Manager

Pulsando con el botón derecho del ratón sobre la opción *Program:<Verteilen>* y eligiendo la opción *load* se abre una nueva ventana que permite la carga del archivo .s7p. Una vez hayamos cargado el archivo, se pueden ver los bloques creados en AWL haciendo doble click (Figura 5.7).

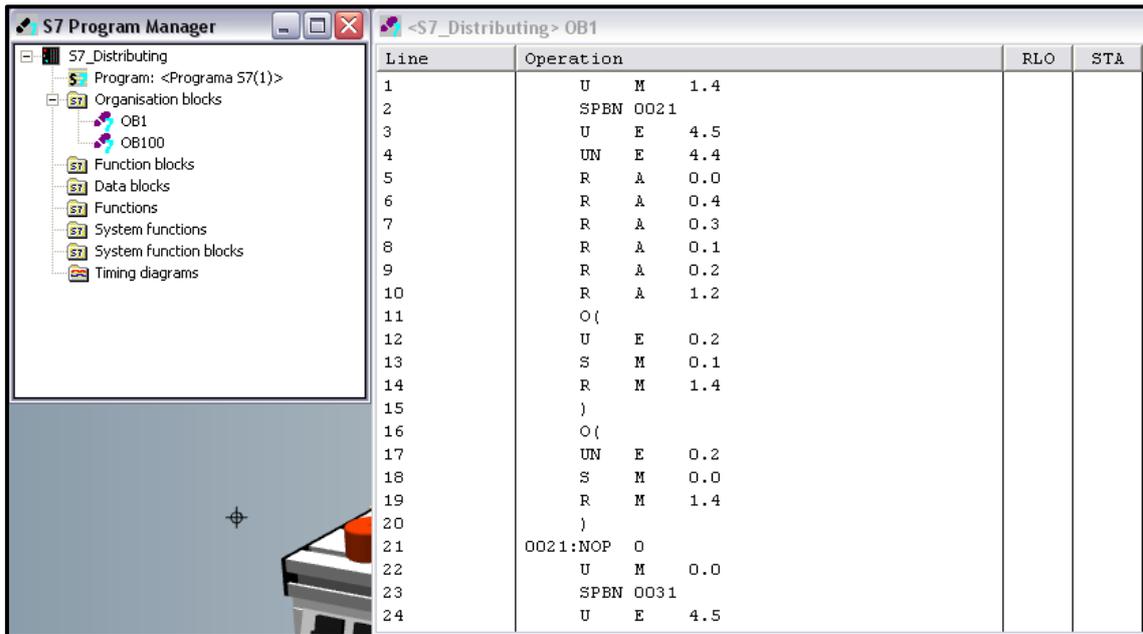


Figura 5.7. Bloque de organización del programa

Los códigos generados en la programación de la estación objeto de este Trabajo Fin de Grado tanto para S7-200 como S7-300 se encuentran en los Anexos I y II de esta memoria.

### 3º) Ejecutar la simulación

Para simular se elige en el menú la opción *Simulation* y posteriormente *Start* (Figura 5.8). Cuando se hace esto la estación se coloca en su posición inicial. Para añadir una pieza se pulsa sobre una pieza del color deseado y ésta se añadirá automáticamente en el almacén de piezas

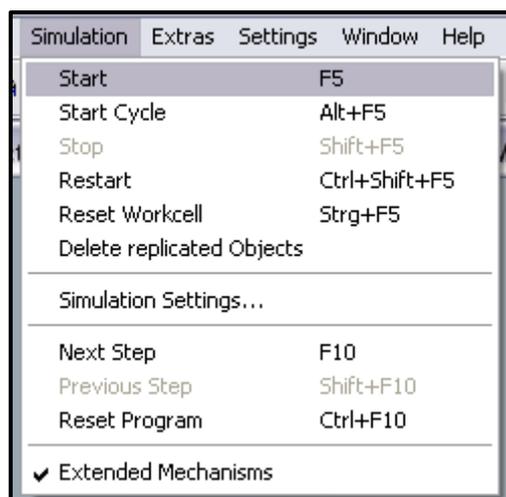


Figura 5.8. Inicio de la simulación

## 5.4 Opciones de visualización

En la barra de herramientas del programa hay elementos que permiten mover la planta modelada, girar la cámara por la estación y hacer zoom de la vista (Figura 5.9).



Figura 5.9. Herramientas de visualización recuadradas en rojo

Esto es útil si se desea en algún instante comprobar movimientos que quizás desde la vista inicial no son apreciables (Figura 5.10).

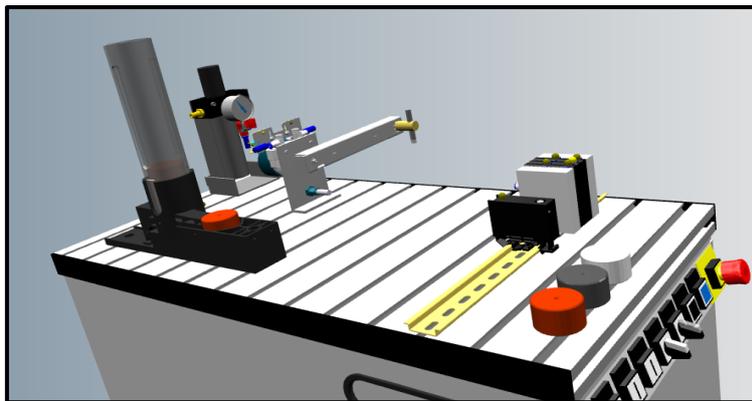


Figura 5.10. Cambio de vista para comprobación de salida de pieza

## 5.5 Inputs/Outputs

Es posible comprobar el estado de las entradas y salidas del PLC en cada instante mediante la visualización de Entradas y Salidas. Para ello se selecciona en el menú *View* y luego *Inputs/Outputs*. De este modo aparecen los estados de cada una de las variables (Figura 5.11).

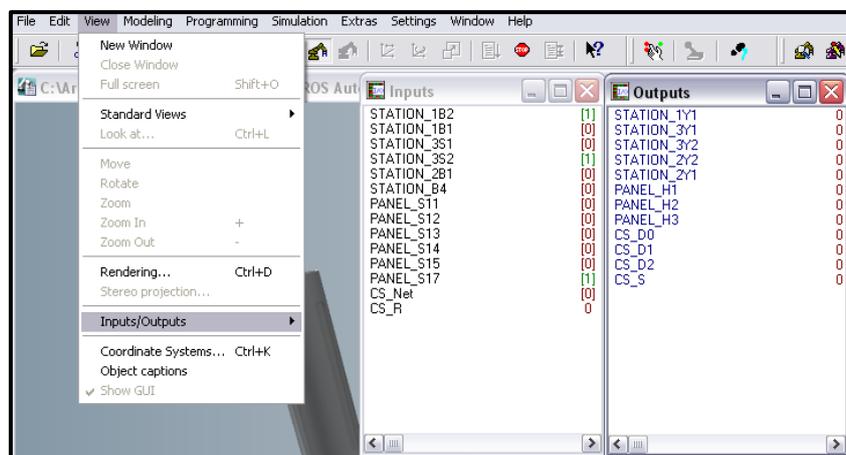


Figura 5.11. Entradas y Salidas

## 5.6 Manual Operation

Con esta aplicación se puede manejar y observar el desarrollo de la simulación del proceso controlando directamente los pulsadores e interruptores de la consola de control. Es decir, permite ejecutar manualmente, paso a paso, la ejecución de la simulación activando las entradas y salidas en el orden que desee el usuario.

Esta opción se activa en el menú, en *Modeling* y luego *Manual Operation*, a través de una ventana que es un panel de control (Figura 5.12).

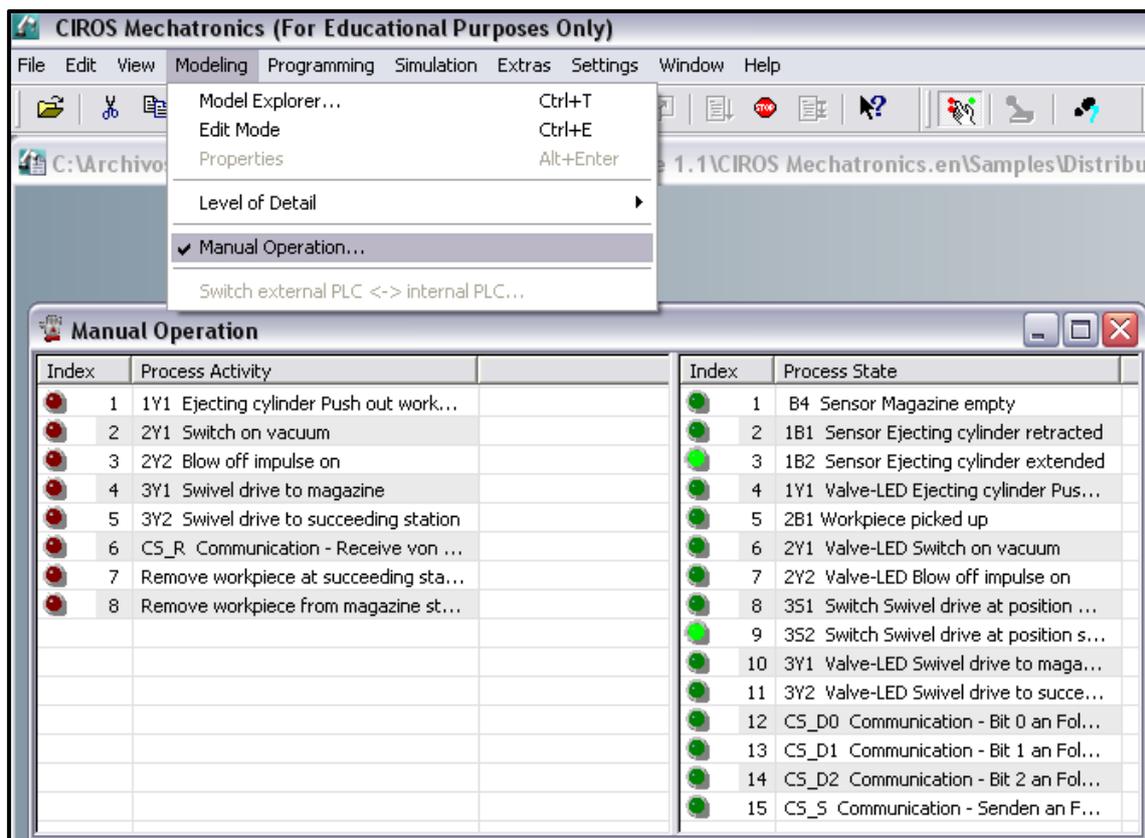


Figura 5.12. Manual Operation

Se pueden manipular tanto las entradas como las salidas del PLC:

- Process State: Son las entradas, ya sean sensores, pulsadores, interruptores, etc de la estación, están marcadas con un indicador verde
- Process Activity: Son las salidas, es decir, los actuadores, luces, etc, marcadas con un indicador rojo

Se pueden forzar en cualquier momento tanto las entradas como las salidas, así como ver los valores que tienen los sensores tanto digitales como analógicos. Para esto último se pulsa con el botón derecho del ratón sobre el sensor y se selecciona *Configure List* y luego *Show values*.

### 5.7 Tabla de Símbolos para S7-300

A la hora de realizar el programa se debe tener en cuenta a qué entradas y salidas se asignan los símbolos. CIROS Mechatronics trabaja con unos símbolos ya definidos (Figura 5.13). Se puede observar la equivalencia con la tabla de símbolos usada en el programa creado en este Trabajo Fin de Grado en un S7-300 (Figura 5.14)

Status	Symbol	Adresse	Datentyp	Kommentar
	_1Y1	A 0.0	BOOL	Ausschiebezylinder nach vorn
	_3Y1	A 0.1	BOOL	Schwenkantrieb zu Position Magazin
	_3Y2	A 0.2	BOOL	Schwenkantrieb zu Position Folgestation
	_2Y2	A 0.3	BOOL	Vakuum aus
	_2Y1	A 0.4	BOOL	Vakuum ein
	_H1	A 4.0	BOOL	Leuchtmelder Start
	_H2	A 4.1	BOOL	Leuchtmelder Grundstellung/Richten
	_H3	A 4.2	BOOL	Leuchtmelder Magazin leer
	CS_D0	A 8.0	BOOL	Kommunikation - Bit 0 an Folgestation
	CS_D1	A 8.1	BOOL	Kommunikation - Bit 1 an Folgestation
	CS_D2	A 8.2	BOOL	Kommunikation - Bit 2 an Folgestation
	CS_S	A 8.7	BOOL	Kommunikation - Senden an Folgestation
	_1B2	E 0.0	BOOL	Ausschiebezylinder hinten
	_1B1	E 0.1	BOOL	Ausschiebezylinder vorn
	_3S1	E 0.2	BOOL	Schwenkzylinder in Position Magazin
	_3S2	E 0.3	BOOL	Schwenkzylinder in Position Folgestation
	_2B1	E 0.5	BOOL	Werkstueck angesaugt
	_B4	E 0.6	BOOL	Magazin leer
	_S11	E 4.0	BOOL	Taster Start
	_S12	E 4.1	BOOL	Taster Richten
	_S13	E 4.2	BOOL	Magazin quittieren
	_S14	E 4.3	BOOL	Schalter Tippen(1)/Automatik(0)
	_S15	E 4.4	BOOL	Taster Stop
	_S17	E 4.5	BOOL	NOT-AUS
	CS_Net	E 8.3	BOOL	Kommunikation - Folgestation aktiv
	CS_R	E 8.4	BOOL	Kommunikation - Receive von Folgestation

Figura 5.13. Tabla de símbolos de CIROS Mechatronics

Símbolo	Dirección	po de dato	Comentario
AUT/MANUAL	E 4.3	BOOL	
Complete Restart	OB 100	OB 100	
Cycle Execution	OB 1	OB 1	
Emergencia	E 4.5	BOOL	
Emergencia Alternativa	E 4.4	BOOL	
Luz emergencia	A 1.2	BOOL	
Mover destino	A 0.2	BOOL	
Mover origen	A 0.1	BOOL	
Pieza	E 0.6	BOOL	
Pieza en Ventosa	E 0.5	BOOL	
Piston	A 0.0	BOOL	
Piston Dentro	E 0.0	BOOL	
Piston Fuera	E 0.1	BOOL	
Posicion Destino	E 0.3	BOOL	
Posicion origen	E 0.2	BOOL	
Solicitar pieza	E 4.0	BOOL	
Soplar	A 0.3	BOOL	
Succion	A 0.4	BOOL	

Figura 5.14. Tabla de Símbolos del programa realizado en este Trabajo Fin de Grado

## Capítulo 6

# Simulación de la planta con MATLAB

### 6.1 ¿Por qué MATLAB?

MATLAB es un software matemático con un lenguaje de programación propio, denominado lenguaje M. Permite el análisis de datos, desarrollar algoritmos y crear modelos o aplicaciones [20]. El software Matlab, del cual la Universidad de La Laguna posee licencia, permite importar los diseños creados con Autodesk Inventor y establecer parámetros para realizar simulaciones.

En el presente Trabajo Fin de Grado no se usa la programación directamente sobre MATLAB, sino una programación basada en bloques mediante la herramienta del programa denominada Simulink.

### 6.2 Simulink

Simulink es un entorno de programación visual residente en el entorno de programación MATLAB. Es un entorno de diagramas de bloques basado en modelos que ofrece las siguientes características:

- Creación del modelo: Crear modelos jerárquicos con bloques de biblioteca predefinidos
- Simulación del modelo: Simulación del comportamiento del sistema y monitorización de resultados
- Análisis de resultados de simulación: Obtención de resultados y depuración
- Gestión de proyectos: Se pueden gestionar archivos, componentes y grandes cantidades de datos para el proyecto
- Conexión con hardware para la realización de pruebas en tiempo real.

Simulink dispone de múltiples librerías, las cuales se pueden dividir en los siguientes grupos:

- Bloques matemáticos y lógicos
- Modelado basado en eventos
- Modelado físico
- Análisis y diseño de sistemas de control
- Procesamiento de señales y comunicaciones
- Generación y verificación de código
- Simulación y test en tiempo real
- Monitorización y análisis de resultados de simulación

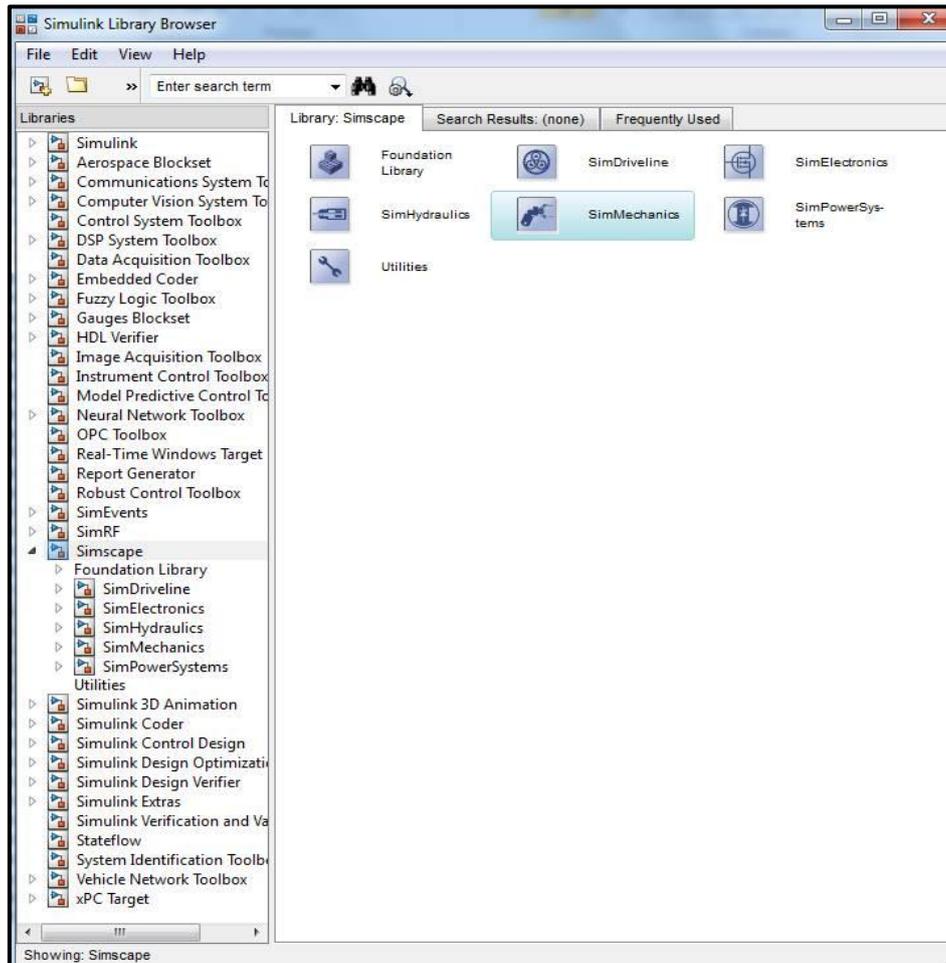


Figura 6.1. Librerías disponibles en Simulink

En el presente Trabajo Fin de Grado se usan las siguientes:

- Simmechanics: Pertenece a la librería Simscape de modelado físico y permite importar un diseño CAD, en nuestro caso el de Autodesk Inventor
- Simulink: Es la herramienta matemática y lógica que contiene la mayor parte de elementos necesarios para este Trabajo Fin de Grado, desde elementos integradores hasta conmutadores.

### 6.3 Proceso de exportación de Autodesk Inventor a Simulink

En primer lugar se debe instalar el complemento para Autodesk Inventor de Simmechanics [21], desde

[https://www.mathworks.es/products/simmechanics/download\\_smlink.html](https://www.mathworks.es/products/simmechanics/download_smlink.html)

Una vez descargado el complemento, se abre MATLAB y nos situamos en la carpeta que contiene el archivo comprimido “.zip”. Se ejecutan los dos códigos que se muestran en la figura 6.2 y con eso estaría instalado el complemento en Autodesk Inventor.

```
>> install_addon('smlink.r2013a.win32.zip')
Installing smlink...
Extracting archive smlink.r2013a.win32.zip to C:\Program Files\MATLAB\R2013a...
Adding directories for smlink to path...
Installation of smlink complete.

To view documentation, type "doc smlink".
>> smlink_linkinv
Registering dll: regsvr32 "C:\Program Files\MATLAB\R2013a\bin\win32\cl_inventor2sm.dll"
fx >> |
```

Figura 6.2. Instalación complemento Simmechanics

El siguiente paso consiste en ejecutar Autodesk Inventor y dirigirse a una nueva pestaña que se ha creado denominada Complementos. En ella aparecerá la posibilidad de exportar en primera o segunda generación (Figura 6.3).



Figura 6.3. Exportar Simmechanics a formato de Simulink

La tecnología de segunda generación ofrece un lenguaje en diagrama de bloques rediseñado centrado en definiciones de componentes locales para apoyar una reutilización y el desarrollo de las librerías, además de poder utilizarse para la visualización y animación 3D que dispone la primera generación. Es decir, la segunda generación traduce lo creado en Autodesk Inventor a bloques que se pueden modificar a conveniencia del usuario, por ejemplo añadiendo o quitando elementos.

Una vez exportado el archivo, se genera un diagrama en bloques de Simulink. En dicho diagrama estarán presentes los elementos creados en Autodesk Inventor, sus uniones y restricciones (Figuras 6.4 y 6.5).

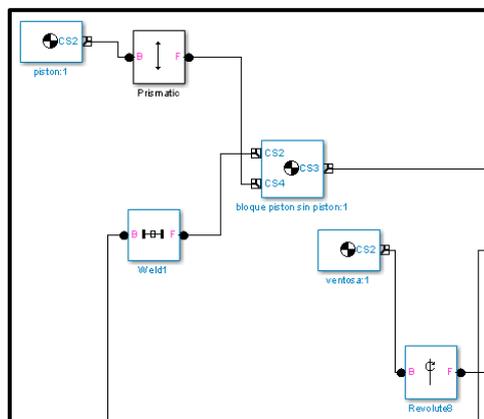


Figura 6.4. Fragmento de diagrama de bloques Simulink

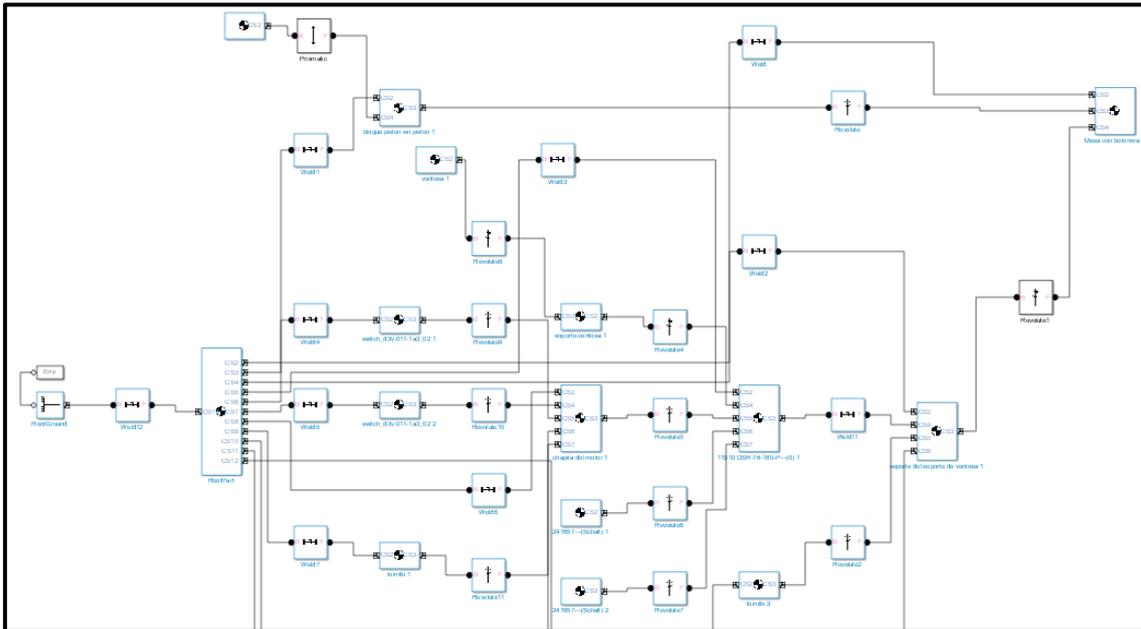


Figura 6.5. Diagrama de bloques importado de Autodesk Inventor

En la figura 6.4 se puede apreciar que hay varios tipos de elementos:

- Cuerpo: Está representado por un cuadrado con un círculo en su interior y es el modelo tridimensional creado en Autodesk Inventor. Se puede modificar el color en sus parámetros, si es un ensamblaje cambiará el color de todo el ensamblaje.
- Restricción: El tipo de restricción que tiene el cuerpo. Se importa desde Autodesk Inventor, pero se puede modificar. En el caso del presente Trabajo Fin de Grado se han usado las siguientes:
  - Prismatic: Se desplaza en un solo eje, el que el usuario escoja
  - Weld: Es una restricción que deja el elemento fijo sin movimiento
  - Revolute: Permite realizar un giro sobre un eje
  - Six-DoF: Para elementos sin restricciones como es el caso de las piezas que tienen todos los grados de libertad, permite realizar movimientos en todos los ejes además de rotación.

Una vez obtenido el modelo generado en bloques, se deben usar las herramientas que permitan el movimiento deseado. Para ello la librería Simmechanics tiene un elemento denominado Joint Actuator, que en realidad es un actuador que trabaja sobre la restricción.

Dicho actuador exige una posición, una velocidad y una aceleración. Podemos obtener la velocidad y la aceleración como derivadas primera y segunda de la posición. Para la posición se usa en primer lugar un Slider Gain, que permite seleccionar los valores de ganancia entre un rango que el usuario desee, y así poder comprobar el movimiento que efectúa el cuerpo al que se desea mover (Figuras 6.6 y 6.7).

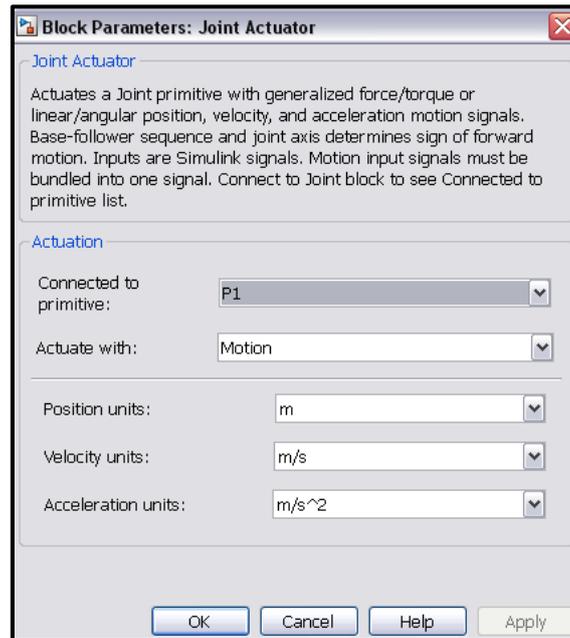


Figura 6.6. Parámetros del bloque Joint Actuator

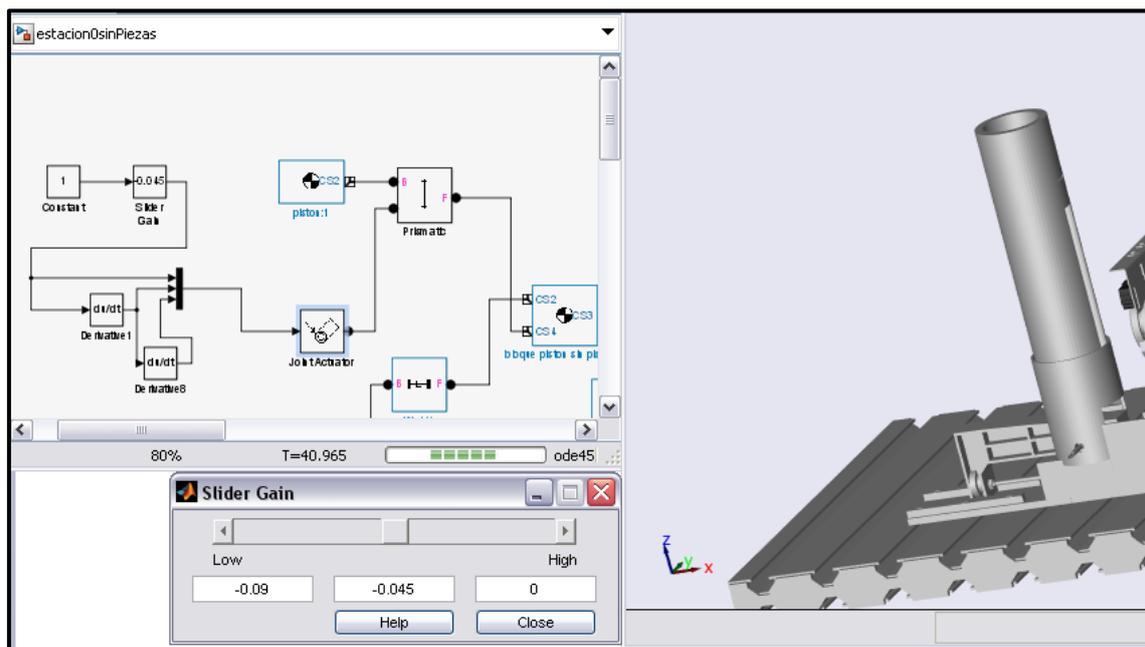


Figura 6.7. Control del pistón mediante Slider Gain

Mediante el Slider Gain se han obtenido las posiciones XYZ en las que interesa que se represente el modelo. Ahora bien, lo que se pretende es tener un modelo automático, es decir, que no sea manejable mediante un slider sino mediante una señal digital. Además se desea obtener un diagrama de bloques menos engorroso que el inicial exportado por Autodesk Inventor. En el siguiente apartado se indica cómo realizar esto.

## 6.4 Desarrollo del modelo final en Simulink

### 6.4.1 Creación de un subsistema

En la librería Ports & Subsystems se escoge la herramienta Subsystem, que permite realizar un diseño del diagrama de bloques más organizado (Figura 6.8).

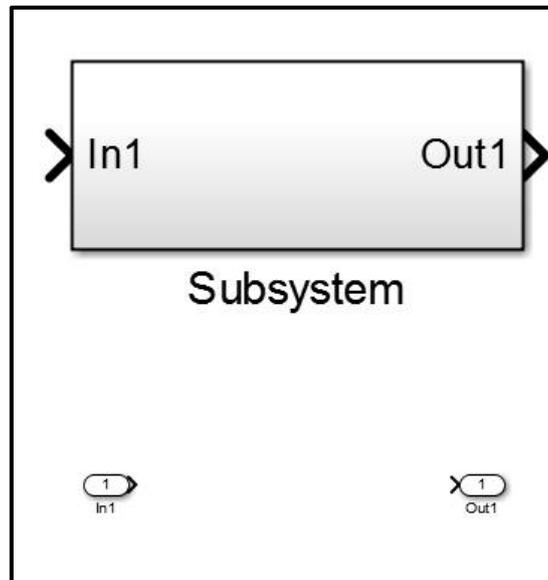


Figura 6.8. Herramienta subsystem y composición

Esta herramienta se basa en el uso de puertos de entrada y de salida, lo que hace que lo que esté en el interior del subsistema pueda obtener datos externamente y ofrecer una salida dependiendo del tipo de dato que le llegue.

Para el caso del presente Trabajo Fin de Grado se han implementado tres subsistemas, uno para la simulación del autómatas, otro para el bloque de control que determinará tanto la velocidad como las posiciones a las que ha de llegar el actuador, y el bloque de Simmechanics donde se encuentra el diseño importado de Autodesk Inventor.

### 6.4.2 Creación del bloque de control

Los actuadores que tiene esta planta que exigen un movimiento que sea visible en la simulación son los siguientes:

- Pistón: Se trata de un pistón de simple efecto, cuando le llega un '1' lógico se inicia el movimiento y con un '0' vuelve a la posición de reposo
- Brazo robótico: Se trata de un cilindro de doble efecto, por lo que necesitará dos actuadores, uno para moverlo a posición de origen y otro para destino.

La planta presenta los actuadores de succión y soplar de la ventosa, pero al no interferir en los movimientos, no tendrán elementos de control.

Sabiendo que ya hay posiciones declaradas, y que mediante el slider anterior se ha decidido entre qué valores se moverá el actuador, se traducirán esos valores a un sistema de control. Este sistema de control es el que hará que el mecanismo se mueva donde se desee cuando le llegue un '1' o un '0' lógico.

Para el caso del pistón, únicamente se desplazará por el eje X. Inicialmente está en la posición 0 y llegará, cuando se active el actuador, hasta la posición -0.09. Para ello se usa un bloque sumador que combina la salida Q0.0 del PLC con una ganancia de -2, y una constante. La ganancia de -2 viene porque si se activa, su valor prevalece ante el 1 de la constante. Se ha fijado una ganancia de -2 pero puede ser una ganancia de 2 usando un bloque que suma y resta.

A continuación se usará un bloque de ganancia que controlará el tiempo en el cual el pistón llegará hasta la posición final, y un bloque integrador. Este último realizará la función que antes hacía el slider pero esta vez lo hará de manera automática. El principio de haberlo escogido es que teniendo una constante sólo tendremos una posición, si se integra dicha constante se obtendrá una recta, y dicha recta vendrá dictaminada por los puntos de saturación que se escojan (Figura 6.9 y 6.10).

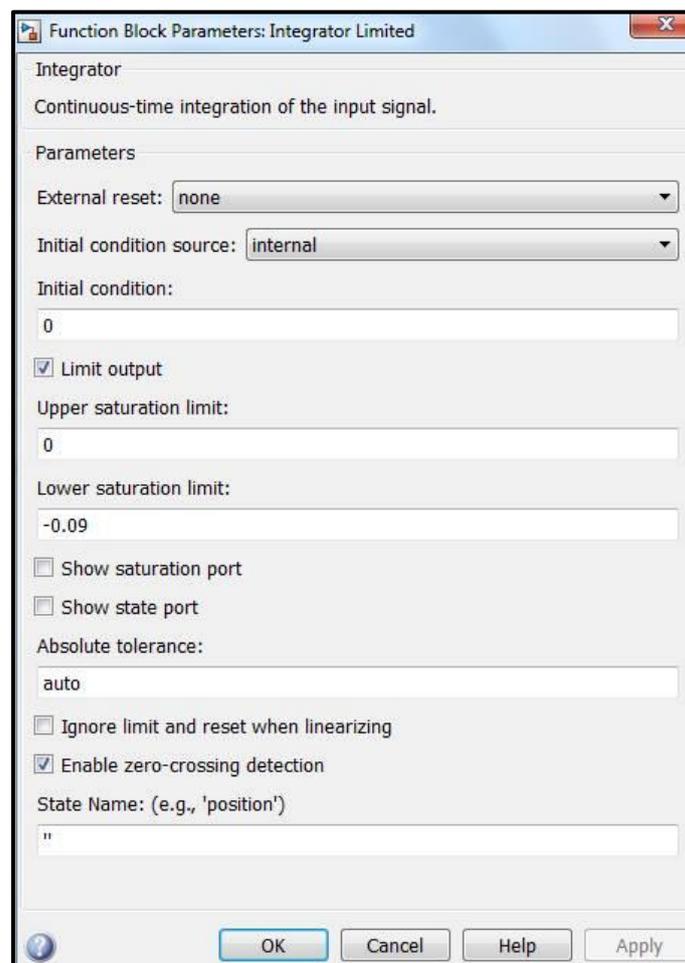


Figura 6.9. Parámetros del bloque Integrator Limited

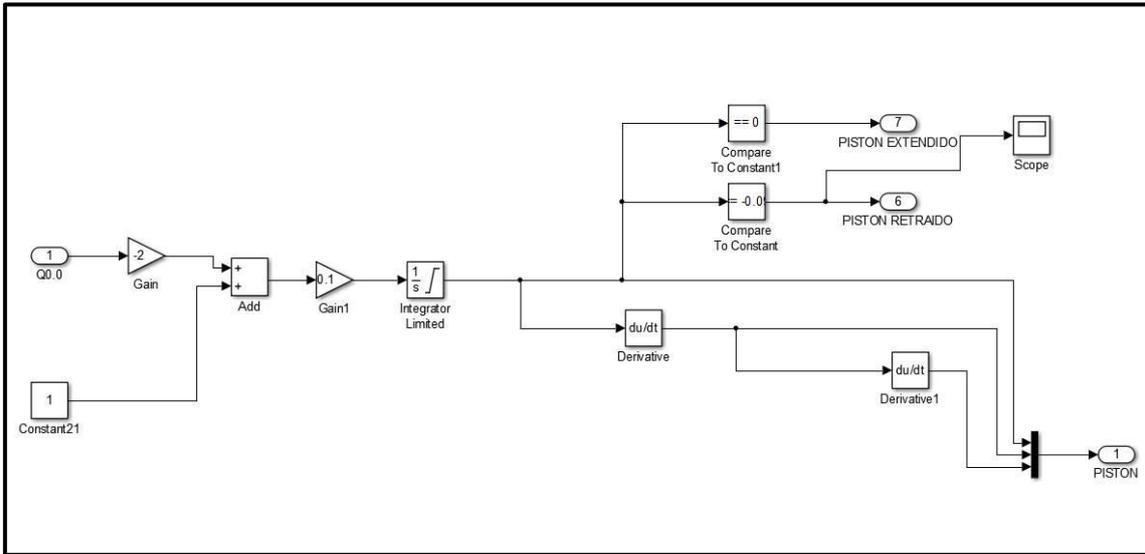


Figura 6.10. Sistema de control del pistón

En el esquema de la figura 6.10 se pueden ver los bloques anteriormente mencionados. A la salida del integrador se obtiene lo mismo que ofrecía el slider, es decir, la posición, la velocidad y la aceleración. Redirigiéndolo al actuador se conseguirá que el pistón se mueva como se desee.

Además los bloques “Compare To Costant” comparan el valor de una posición, y en caso de que sea correcto, devuelven un ‘1’ lógico. Con esto se obtienen los sensores de posición del pistón.

En el caso del brazo y la ventosa, al ser de doble efecto, se sustituye la constante por la salida correspondiente. La implementación del diagrama es similar cambiando los valores tanto de ganancia, de integración y de comparación. Además de añadir que el movimiento del bloque de la ventosa será similar al del brazo. Las salidas de succión y de soplar no necesitan ningún tipo de control por lo que se dejan igual (Figura 6.11).

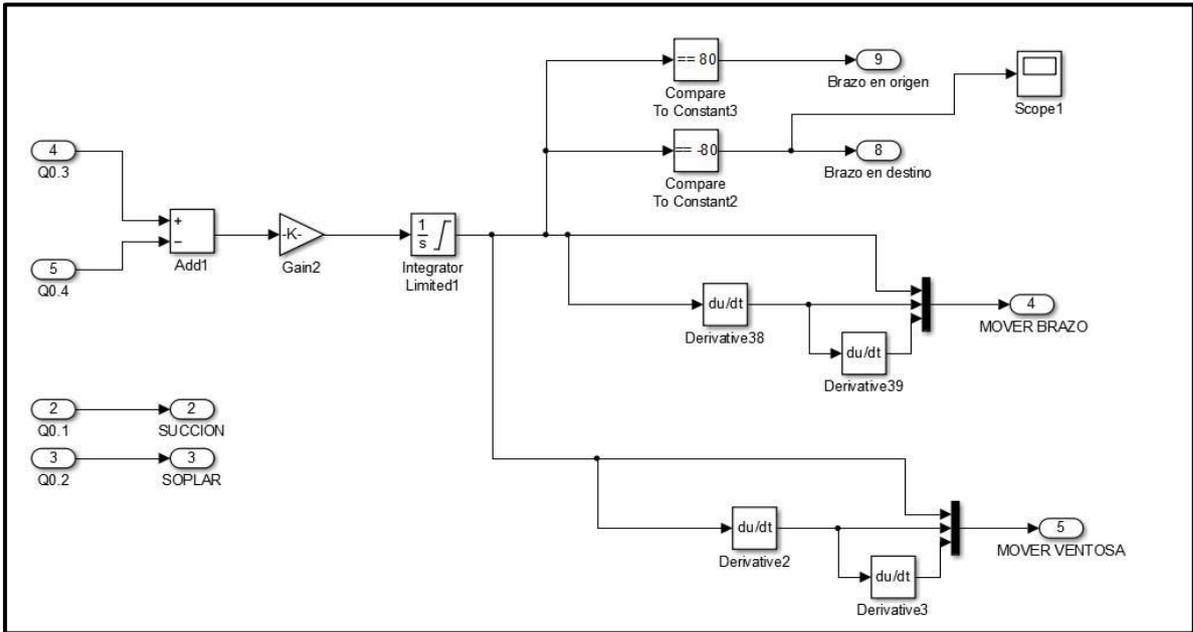


Figura 6.11. Sistema de control del brazo y la ventosa

### 6.4.3 Creación del bloque Simmechanics

En este bloque únicamente se han añadido puertos de entrada y salida que pueden ser manipulados por el resto de bloques. Es decir, el bloque de control envía la señal a este bloque y éste se encarga de realizar el movimiento impuesto por el bloque de control. Se trata de un subsistema de múltiples bloques, por lo que se mostrarán partes de dicho subsistema ya que no se puede apreciar en una sola imagen la totalidad del mismo (Figura 6.12).

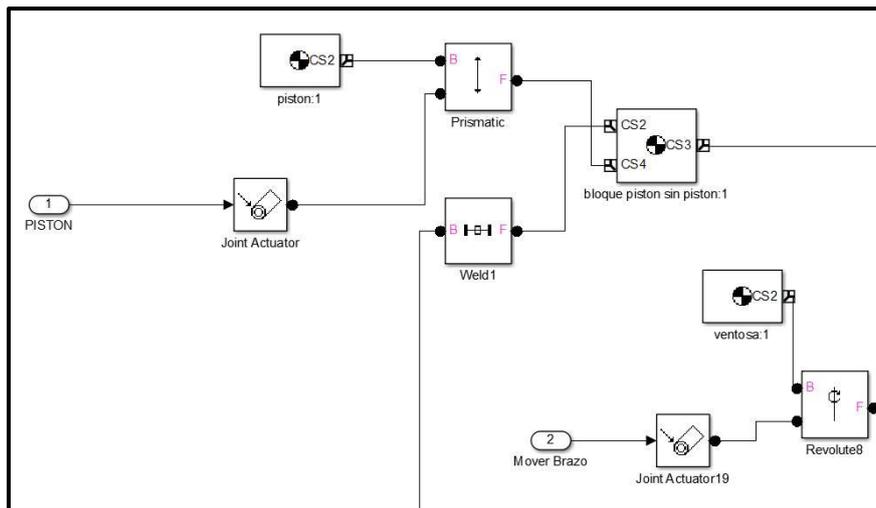


Figura 6.12. Llegada de la señales pistón y mover brazo al actuador

Para conocer el estado de las piezas se han colocado comparadores en las posiciones XYZ que nos interesan. Por ejemplo, para saber si la pieza está ubicada en la posición en la cual se detecta pieza, se debe comparar si la posición está correctamente en el eje YZ. Para ello se compara dicha posición y mediante una puerta lógica AND se confirma que la posición es correcta. La herramienta Scope permite visualizar la señal, al ser digital si está activa dará un 1 y si no estará a 0 (Figura 6.13).

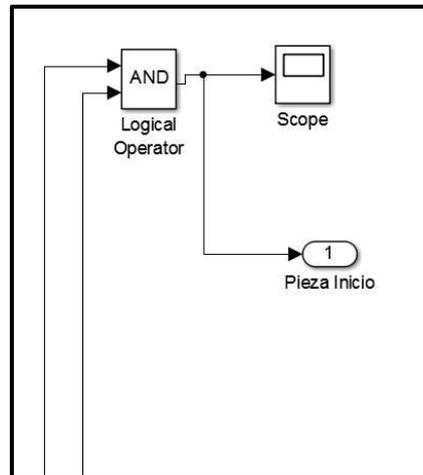


Figura 6.13. Detección de pieza en inicio

#### 6.4.4 Creación del bloque PLC

Se ha creado el bloque con las entradas y salidas del PLC. No se ha encontrado la forma de solucionar la programación de dicho bloque por lo que el mismo está preparado para cualquier uso o modificación. En el caso del presente proyecto, se han usado interruptores “Manual Switch”, que pueden ser pulsados sobre el diagrama en bloques de Simulink y forzar un ‘1’ lógico a la salida correspondiente del autómata del bloque PLC. Dicha señal será enviada al bloque de control que se encargará de enviar la señal al actuador para realizar el movimiento correspondiente. (Figura 6.14)

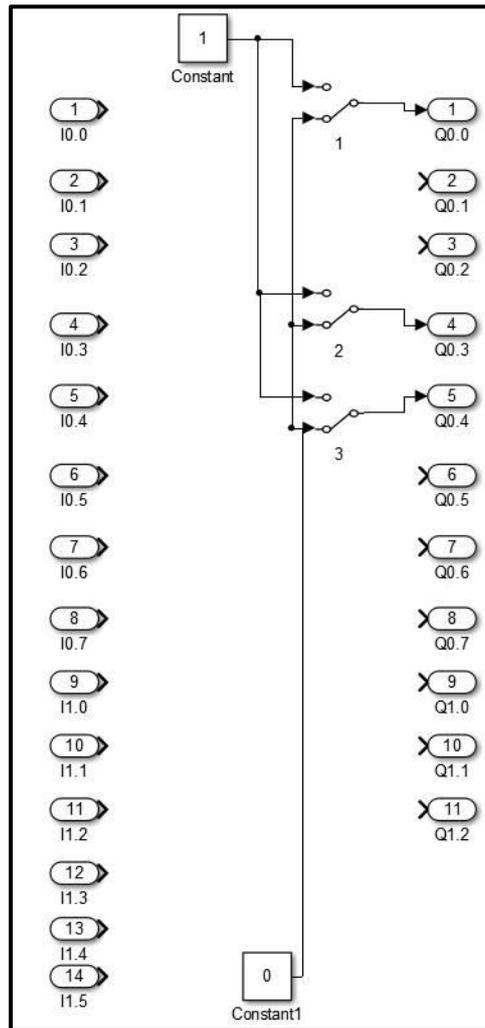


Figura 6.14. Bloque PLC

### 6.4.5 Bloque general

En este caso se ha decidido que sea el usuario el que indique cuando quiere que baje una pieza a la planta. Para ello se ha incluido un conmutador que cuando se activa envía la orden a Simmechanics con su mecanismo de control para que la pieza baje.

Se han incluido puertas lógicas para realizar el movimiento de las piezas en estos casos:

- La pieza está en la posición inicial y la salida Q0.0 del PLC (Pistón) ha sido activada, con ello la pieza se moverá a la vez que el pistón
- El pistón ha empujado en su totalidad a la pieza y Q0.4 está activa, por lo que la pieza llegará hasta la posición de destino a la vez que el brazo

En la Figura 6.15 se muestra el diseño final, remarcando las conexiones antes mencionadas

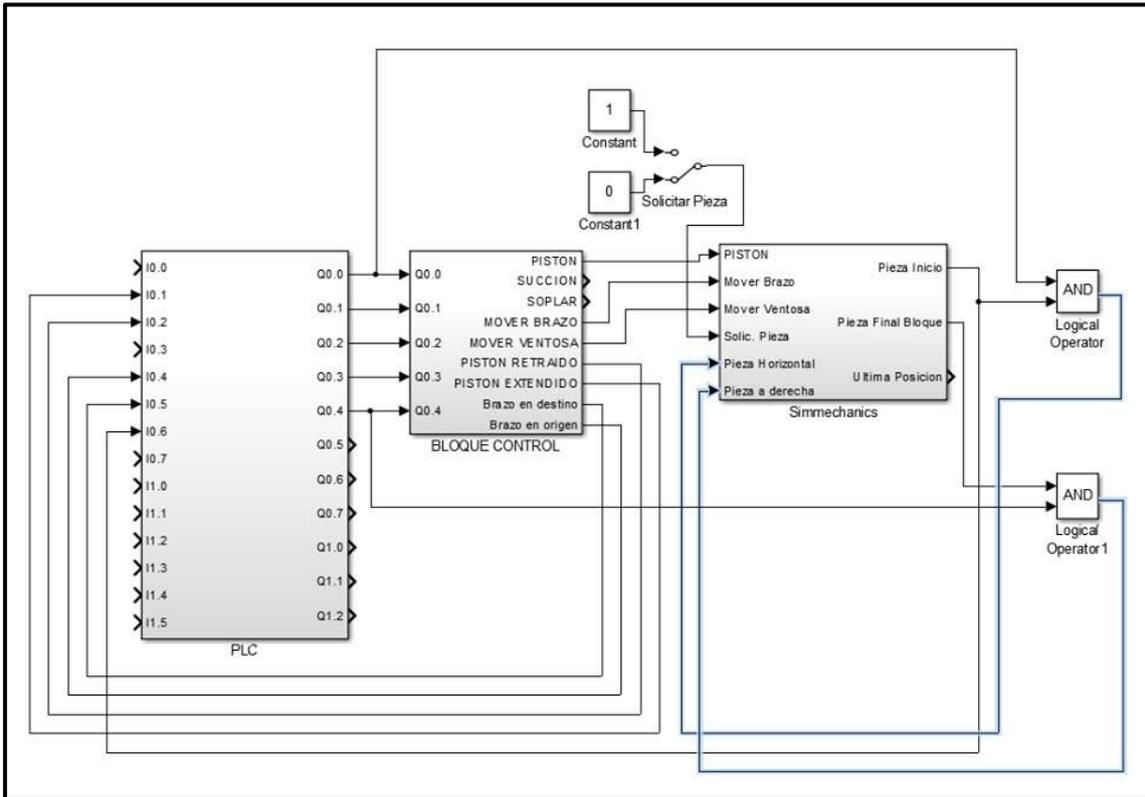


Figura 6.15. Bloque general

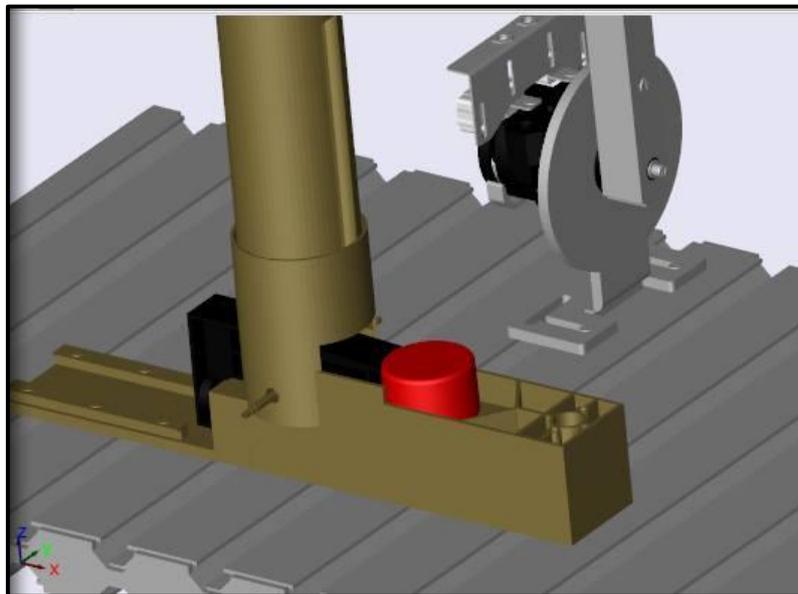


Figura 6.16. Simulación bloque general

## Capítulo 7

# Comparación de la planta real con la planta simulada

### 7.1 Funcionamiento de la estación de Almacén y Distribución de Piezas en CIROS Mechatronics

En primer lugar se explica la utilidad de cada uno de los botones e interruptores de la botonera en el modelo de CIROS Mechatronics (figura 7.1):

- Conmutador Automático / Manual: Con un '1' lógico está en Automático y con un '0' en manual, tiene asignada la entrada E4.3 del S7-300
- Solicitar pieza: Solo válido para el procedimiento Manual, el sistema estará parado hasta que se solicite una pieza y en ese caso solo se procesará una pieza. Tiene asignada la E4.0
- Pulsador de Emergencia: Con la señal de emergencia se para la ejecución. Este software no permite llevar los actuadores a condiciones iniciales después de una parada de emergencia, por lo que al pulsar este botón se bloquea la ejecución. Tiene asignada la E4.5

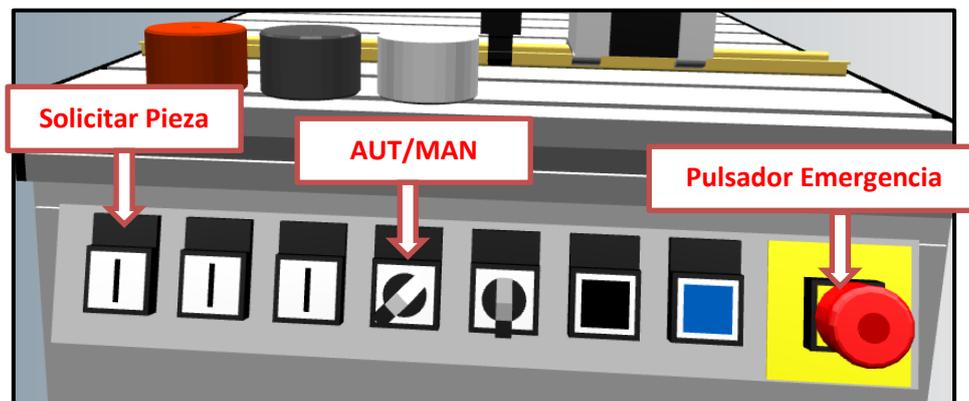
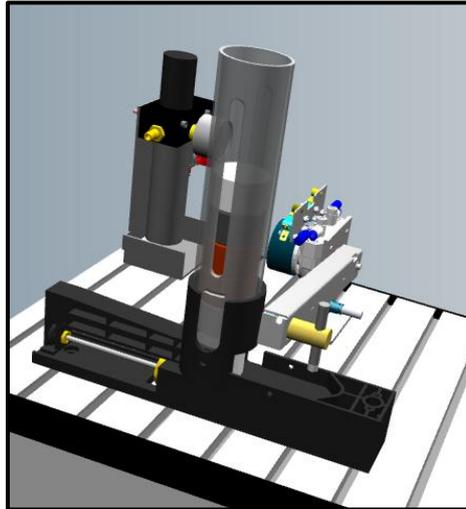


Figura 7.1: Botonera

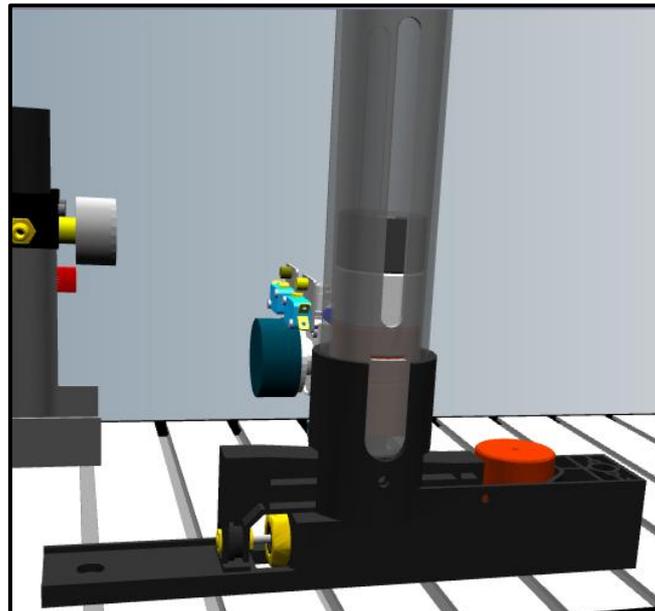
Para el comenzar el ciclo de funcionamiento de la estación se debe colocar una cantidad de piezas en el almacén pulsando sobre el color de la pieza deseada.

1. Una vez colocadas las piezas y arrancada la ejecución el programa, la estación se coloca en condiciones iniciales, es decir, todos los actuadores parados y el pistón retraído y el brazo en la posición de origen (figura 7.2).



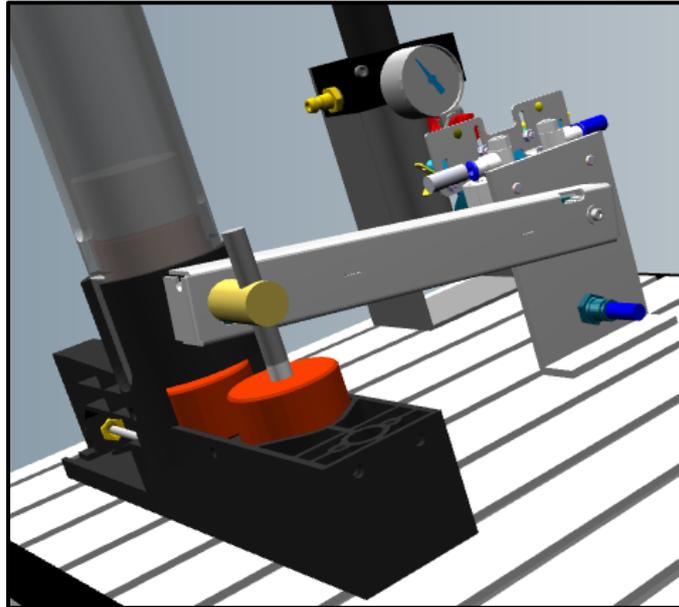
*Figura 7.2: Condiciones iniciales*

2. Se selecciona el tipo de proceso a realizar, es decir, automático o manual. Si es automático, el almacén se irá vaciando a medida que se procesen las piezas sin esperar. En el caso manual, las piezas irán de una en una con una confirmación por parte del operario mediante el botón solicitar pieza.
3. Una vez se ha decidido el paso anterior, el pistón se retrae y expulsa la pieza del almacén (figura 7.3).



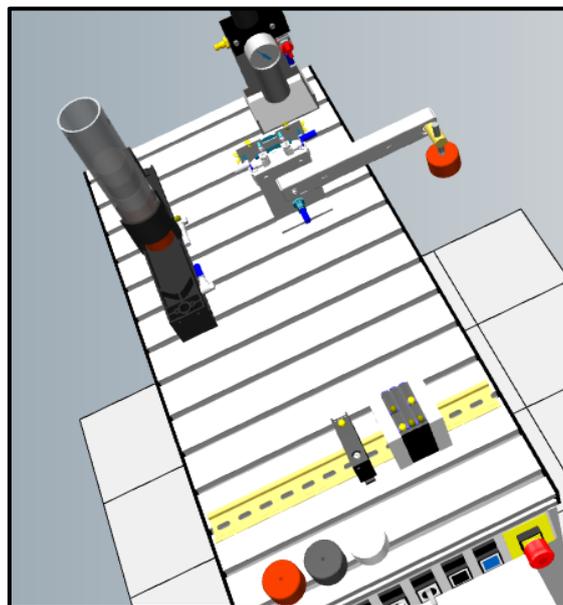
*Figura 7.3: Expulsión de la pieza del almacén*

4. Cuando la pieza ha sido expulsada, el brazo se lleva a la posición de origen y activa la ventosa para succionar la pieza (Figura 7.4).



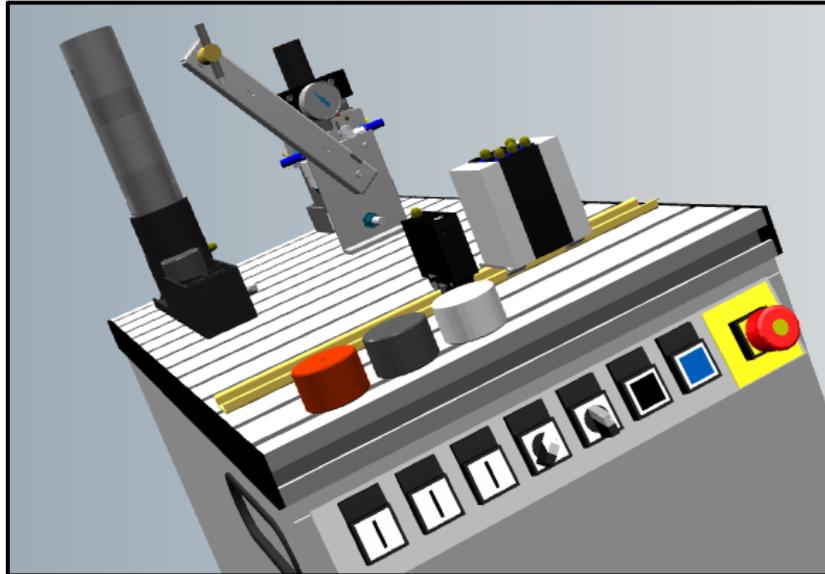
*Figura 7.4: Movimiento del brazo a posición de origen y acción de succión*

5. Una vez el sensor que detecta si hay pieza en la ventosa está activo, se lleva la pieza hasta la posición de destino, una vez allí se deja se succionar y se activa soplar para dejar caer la pieza (Figura 7.5).



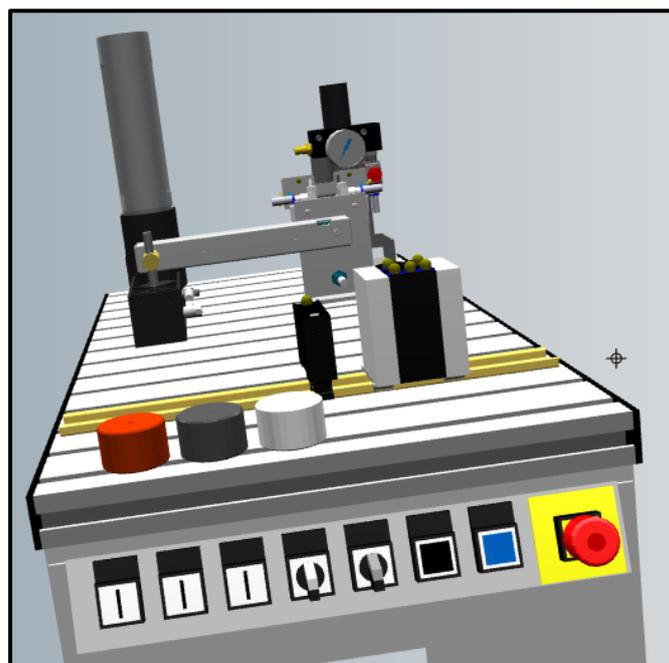
*Figura 7.5: Movimiento del brazo a posición de destino y acción de soplar*

6. En el caso de la parada de emergencia, al pulsar la seta de emergencia, aparece el problema de que no hay manera de volver a las condiciones iniciales, como se comentó anteriormente. En la imagen se puede apreciar que la seta ha sido pulsada y que el brazo está parado. Pero no se puede forzar a que vuelva a condiciones iniciales (Figura 7.6).



*Figura 7.6: Parada de emergencia*

La simulación con el software CIROS Mechatronics es bastante fiel a la realidad. La única diferencia encontrada es la mencionada en el caso de parada de emergencia. La planta real se ha programado de modo que al pulsar emergencia se vuelve al estado inicial y se espera a una pulsación de Start para recomenzar el ciclo. En la planta simulada no se reconoce bien la emergencia, y aunque los elementos se paran, no es posible realizar un rearme de la planta.



*Figura 7.7: Estación 0 con piezas en CIROS Mechatronics*

En la página web creada para el presente proyecto [7] se encuentran vídeos demostrativos del funcionamiento de esta planta en CIROS Mechatronics. Uno muestra el funcionamiento manual y otro el funcionamiento automático. En estos vídeos se puede ver cómo es la interfaz entre el usuario y el sistema, que permite interactuar con la botonera y girar el ángulo de visión si se desea.

## **7.2 Funcionamiento de la estación de Almacén y Distribución de Piezas en Autodesk Inventor**

El programa Autodesk Inventor, además de permitir el modelado en 3D de la planta, ofrece utilidades para su simulación. Esta simulación se lleva a cabo asignando posiciones a los elementos del ensamblaje durante determinados instantes de tiempo.

El principal problema de esta simulación es que no permite interactuar directamente con un lenguaje lógico que dé las órdenes, únicamente permite ver cómo se comportaría el sistema si le asignáramos una posición determinada en un instante determinado.

## **7.3 Funcionamiento de la estación de Almacén y Distribución de Piezas en Simulink**

Como se ha observado, en Autodesk Inventor no se pueden introducir variables lógicas para establecer el movimiento de los actuadores. Por este motivo se ha exportado el diseño a Simulink.

En el diagrama en bloques creado en Simulink se tienen todos los cuerpos del ensamblaje así como sus restricciones. A cada una de estas restricciones se le puede asignar un elemento actuador que enviará la orden al mecanismo para establecer el movimiento.

Para la simulación se ha seguido el siguiente ciclo, aunque los actuadores se pueden manejar en cualquier momento sin necesidad de seguirlo:

1. Se solicita pieza mediante un conmutador externo, y hace que la pieza descienda por el bloque del almacén (figuras 7.8 y 7.9).

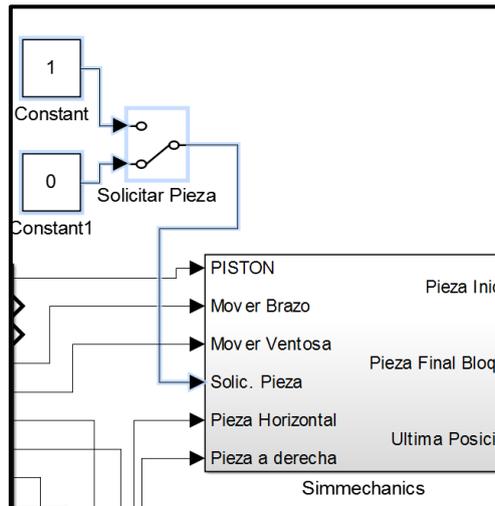


Figura 7.8: Conmutador Solicitar Pieza

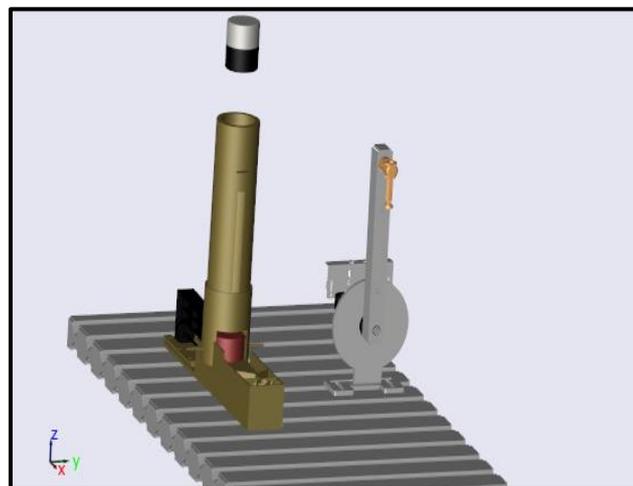


Figura 7.9: Pieza roja que ha descendido por el almacén

2. En el bloque de PLC se pone a '1' la salida Q0.0, que activa el pistón y expulsará la pieza a través del bloque (figuras 7.10 y 7.11).

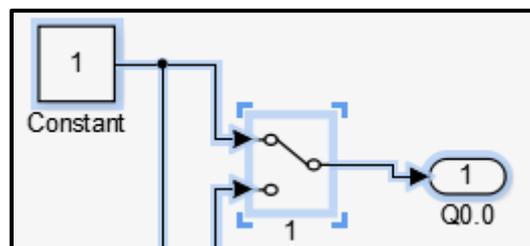


Figura 7.10: Conmutador que activa la salida Q0.0

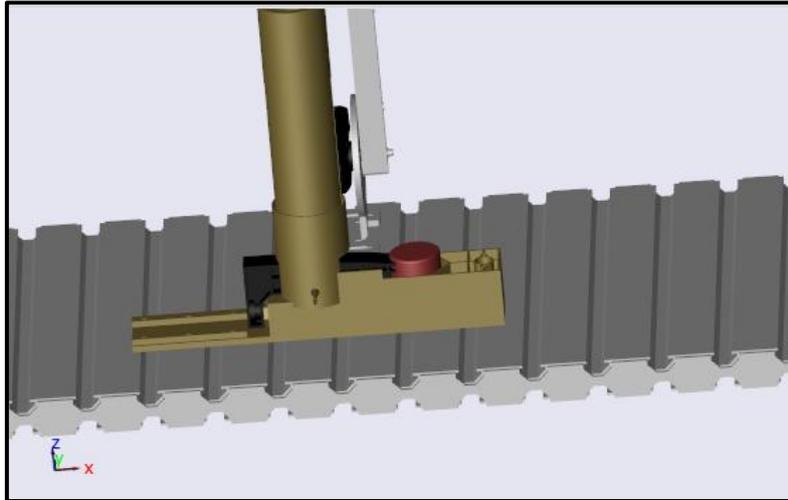


Figura 7.11: Pistón activado que expulsa la pieza

- Una vez que el pistón está totalmente retraído, mediante una comparación en el bloque de control, se puede obtener los sensores de posicionamiento tanto de pistón retraído como del resto de elementos como son: el brazo, para indicar si se está en origen o en destino, o el mismo pistón, para saber si está extendido o retraído. También puede indicar en todo momento si la pieza está ubicada en una posición u otra (figura 7.12).

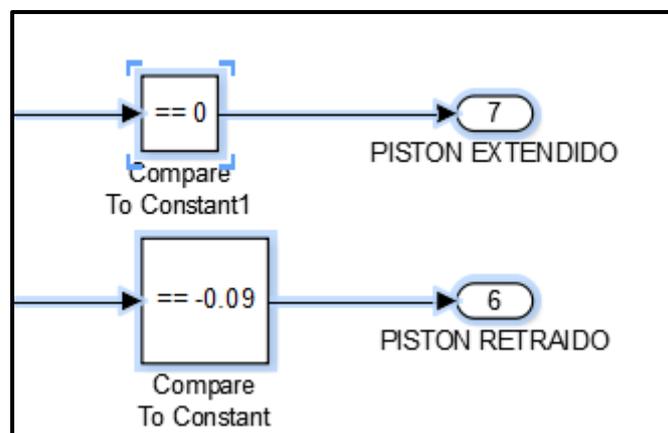


Figura 7.12: Sensores de posicionamiento del pistón

- Mediante el conmutador Q0.3 el brazo se dirigirá al origen para recoger la pieza. Una vez la recoja, si se activa la Q0.4 llevará la pieza al destino y cuando llegue al mismo soltará la pieza.

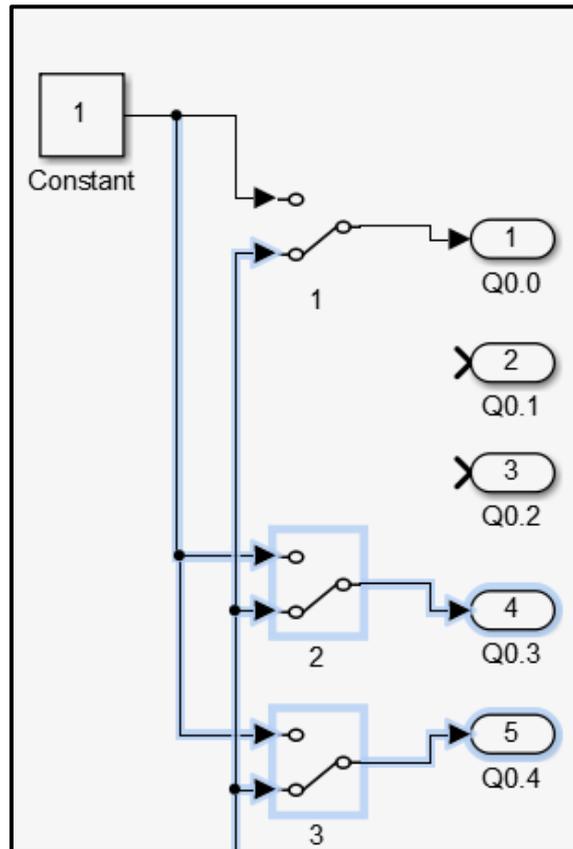


Figura 7.13: Conmutadores para las salidas Q0.3 y Q0.4

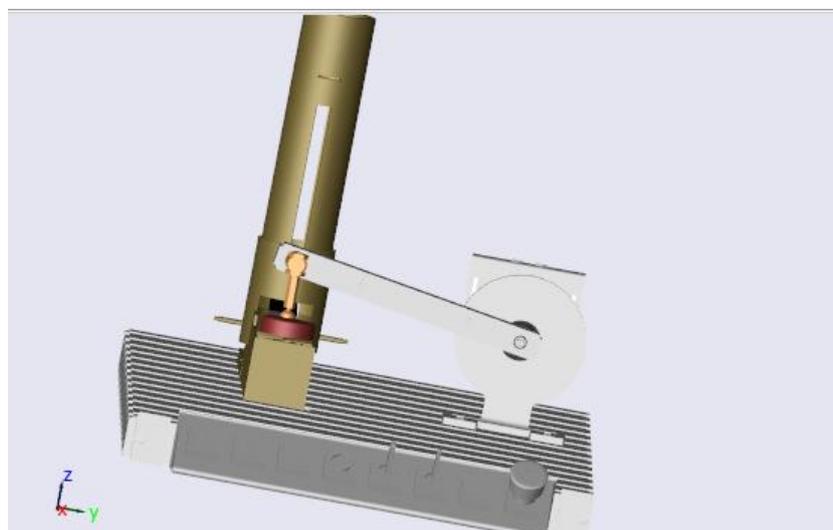
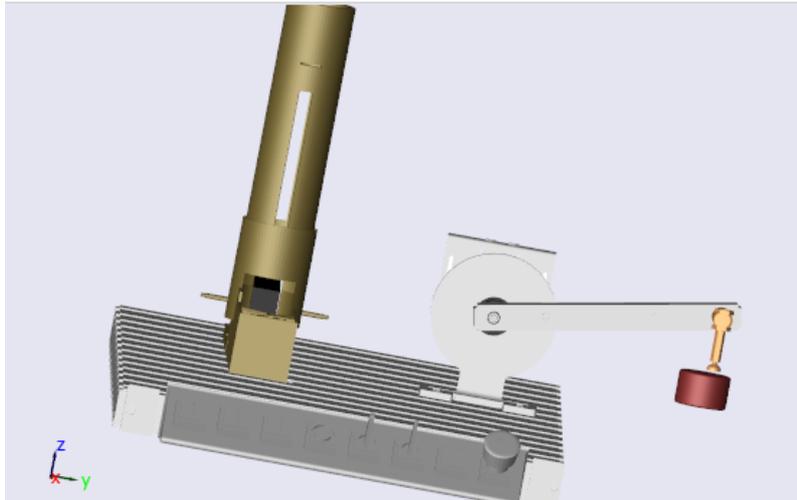


Figura 7.14: Activación de la salida Q0.3



*Figura 7.15: Activación de la salida Q0.4*

Hay un error en este último paso. No se ha conseguido implementar el movimiento de la pieza sobre un mismo eje más de una vez. Tanto en el eje X como en el Y no existe ningún tipo de problema, ya que la pieza solo se moverá una vez en dichos ejes cuando se ejecute el ciclo. El problema viene cuando la pieza se mueve en el eje de altura Z, ya que se deben realizar hacer 4 movimientos:

1. Movimiento de bajada hasta la base del bloque donde se encuentra el pistón
2. Subida a la vez que la ventosa
3. Bajada a la vez que la ventosa
4. Soltar pieza una vez ha llegado a la posición final

Hay que utilizar el mismo actuador para los cuatro movimientos anteriores, pero solo hemos conseguido establecer el primer movimiento y no hemos podido reutilizar el actuador para el resto de movimientos.

En definitiva, comparando la simulación de Simmulink con el comportamiento de la planta real, se han obtenido movimientos similares a excepción de los que requieren más de un movimiento sobre un mismo eje. Los movimientos se han establecido mediante una emulación de las salidas del autómatas, por lo que faltaría un sistema capaz de realizar una emulación completa de autómatas y que permitiera programar y simular esta planta.

En la página web creada para el presente proyecto [7] se encuentra un vídeo demostrativo del funcionamiento de la planta en el entorno de Simulink, donde se pueden apreciar los elementos utilizados y el ciclo nombrado anteriormente.

## Capítulo 8

# Conclusiones y Líneas futuras / Conclusions and Future Lines

### 8.1 Conclusiones

El objetivo de este Trabajo Fin de Grado ha sido la implementación de una herramienta que permita la simulación dinámica tridimensional de la Estación de Almacén y Distribución de la Planta Industrial Festo del Laboratorio de Automatización del Departamento de Ingeniería Informática. Para ello se ha modelado en 3D la citada estación con Autodesk Inventor, y se ha realizado una simulación de la misma con el mismo Autodesk Inventor, con CIROS Mechatronics y con MATLAB.

Con el software CIROS Mechatronics se implementó una simulación sobre el modelo 3D de la planta que incorpora por defecto. El control de la estación simulada se llevó a cabo con el programa realizado en STEP 7 para la planta real, de forma que se comprobó que se puede simular una planta real de manera fiable con esta herramienta.

Por lo tanto, CIROS Mechatronics permite comprobar la programación de una planta sin necesidad de estar utilizando la planta real. Esto es especialmente interesante para aplicaciones docentes. Si se pudieran comprar suficientes licencias de este programa se podría montar un laboratorio de automatización virtual, con más plazas que las que actualmente ofrece la planta física real. El gran inconveniente es que la empresa Festo sólo ofrece el software con las estaciones que ellos proponen y a un elevado precio. Por ello se ha pensado en utilizar software libre o algún otro programa del cual la Universidad de La Laguna tenga licencia.

El programa elegido para el modelado 3D es el Autodesk Inventor, y para la simulación el MATLAB, programas de los que la Universidad de La Laguna tiene ya licencia.

Para realizar modelos 3D con Autodesk Inventor es necesario realizar bocetos en 2D y darles posteriormente volumen. Los conocimientos necesarios para manejar este software se adquirieron en la asignatura Expresión Gráfica y Diseño Asistido por Ordenador, aunque esta asignatura se limitaba a la base y a cómo realizar ejemplos sencillos. Este Trabajo Fin de Grado ha exigido un mayor estudio y conocimiento de la herramienta, ya que el modelado de la planta propuesta conlleva un ensamblaje con un gran volumen de piezas, y un proceso más complicado a la hora de asignar restricciones a las piezas para realizar sus movimientos.

Se ha comprobado que el modelo 3D de la planta creado con Autodesk Inventor es fiel a la realidad. Aunque Autodesk Inventor permite simular movimientos en el modelo, no permite simular las órdenes de control que dan lugar a esos movimientos procedentes de un autómatas. Por lo tanto, se ha realizado un intento de simular estas señales de control del autómatas con Matlab.

Mediante la herramienta Simmechanics (del Simulink de Matlab) se puede exportar un modelo creado en Autodesk Inventor y transformarlo en un modelo de bloques de Simulink. Se puede controlar el movimiento de los elementos de la estación modelada con diferentes toolboxes.

El modelo generado en bloques en Simulink permite una simulación fiel a la realidad ya que exporta el ensamblaje generado en el software de modelado 3D y permite establecer movimientos. Además, las librerías que contiene Simulink, al tener múltiples aplicaciones, permiten que se puedan utilizar los modelos para varios tipos de simulaciones.

En definitiva, el modelado en 3D con Autodesk Inventor y la simulación con Mathworks Matlab, permitiría realizar diseños virtuales de cualquier planta y simularlas evitando así costes generados en adquirir licencias de software comercial o plantas reales. Pero existen dos principales problemas en el desarrollo con Matlab:

- Matlab es un software de simulación de múltiples aplicaciones pero no es específico para automatización, por lo que no tiene una forma de hacer funcionar directamente un simulador de PLC. Habría que realizarlo externamente y conectarlo a Simulink.
- El uso de varios movimientos sobre un mismo eje de coordenadas. Se ha conseguido establecer el movimiento de los elementos modelados, pero no se ha conseguido que dichos movimientos ocurran en distintas posiciones sobre el mismo eje de coordenadas. Esto se debe a que solamente se puede utilizar un actuador por eje.

## 8.2 Líneas futuras

Hay varios aspectos del trabajo que pueden ser tratados con mayor profundidad y que las tutoras del presente trabajo de fin de grado pueden considerar en la realización de posteriores trabajos de fin de grado.

Ante la carga de personas que usan a la vez el laboratorio de automatización, se podría avanzar partiendo de este proyecto o similares para intentar conseguir que con los modelos 3D de las estaciones FESTO cualquier alumno pudiera adelantar trabajo de programación de la planta desde casa o en el laboratorio, sin la necesidad de estar todos juntos a la vez en unas horas determinadas delante de la planta física real.

La opción más fácil sería adquirir varias licencias de CIROS Mechatronics (actualmente la Universidad de La Laguna tiene 3) y habilitar un aula para su uso, ya que el presente

proyecto ha demostrado su utilidad, tanto de éste como de los otros programas usados. El inconveniente de esta solución es su elevado coste.

Se debería estudiar el software CIROS Advanced Mechatronics, para la simulación simultánea de todas las estaciones disponibles en el laboratorio, pues este paquete permite interconectar módulos y simular una comunicación entre las estaciones. De nuevo el inconveniente de esto es el elevado coste del paquete.

Otro software a estudiar es CIROS Studio, el cual permite crear nuevas estaciones inspiradas en procesos industriales propios. Pero el inconveniente sigue siendo económico ya que el coste de tan sólo una licencia de este software puede superar los 3000 €.

Para dar continuidad al presente proyecto, se plantea profundizar en los programas Autodesk Inventor, MATLAB y Simulink.

En cuanto a la simulación, si se siguiera por el camino de usar MATLAB y Simulink, se podría intentar conseguir un modelo 3D más fiel a la realidad que el obtenido en este Trabajo Fin de Grado. Por ejemplo, cuando se exporta un modelo de Autodesk Inventor a Simulink no se respetan los colores en los ensamblajes.

Además se podría realizar en otro proyecto un simulador de autómeta, que utilice las variables obtenidas en MATLAB, interaccione con el sistema y permita simular correctamente el proceso como se desee. En el modelo generado en el presente TFG se han utilizado conmutadores que permiten obtener una señal lógica que posibilita el movimiento de los actuadores, aunque esto se debería sustituir por un simulador de autómeta.

### 8.3 Conclusions

The objective of this Final Work Degree is to emulate, in a 3D environment, an industrial plant with the aim of users could interact with a virtual system which allows the simulation of this plant. For that, it has patterned in 3D the Store Station and Parts Distribution of Festo Industrial Plant, through Autodesk Inventor and it has done a simulation of the same with that program and other ones like CIROS Mechatronics and Mathworks Matlab. These ones allow checking the the performance in a virtual way.

CIROS Mechatronics software has implemented a simulation on a 3D model of the industrial plant, whose program was done with STEP 7 for the real industrial plant , in this manner we have checked it is possible to simulate a real industrial plant in a reliable way with this tool.

So, CIROS Mechatronics allows checking the programming of a industrial plant without the necessity of using the real plant. This is especially interesting for teaching applications. If we could buy enough licenses, we would set up a virtual automation laboratory, with a higher capacity than it has at the present. The principal disadvantage

is Festo Company only offers the software to stations which this company decides with a high price. For that, it has been better to use a free software or any other which Universidad of La Laguna has a license.

Autodesk Inventor is the program we have chosen for 3D modeling. For the simulation, the program has been Matlab. The University of La Laguna has the license of both of them.

To make 3D models with Autodesk Inventor is necessary to design, at first, 2D sketches and then to give them some volume. The minimum concepts to handle this software were learnt in a subject called Expression Graphics and Computer Aided Design, though this subject just gave basic concepts. This Final Work Degree has demanded a higher study and knowledge of the program, considering that the modeling of the industrial plant entails an assembly with a big volume of pieces, and a more complicate process to make its movements.

The 3D plant industrial model created by Autodesk Inventor is completely faithful to reality. Although Autodesk Inventor permits to simulate some movements in the model, it does not permit to simulate control orders which are from a PLC. So, it has done an attempt to simulate this PLC control signals with Matlab.

With Simmechanics tool is possible to export a model created by Autodesk Inventor and generate a block diagram in Simulink. It is possible to control de movement of the elements of the model with different toolboxes.

The block diagram generated by Simulink permits a faithful simulation, because of it exports the assembly generated by Autodesk Inventor and permits us to establish movements. Also, toolboxes that Simulink contains permit us to use the models to different kind of simulations.

In conclusion, the three – dimensional modeling with Autodesk Inventor and the simulation with Mathworks Matlab, would permit to do virtual designs in any plant and simulate them avoiding costs of software commercial licenses or real plants. But there two principal disadvantages to develop Matlab:

- Matlab is a simulation software with multiple applications but it is not specific for automation, so it cannot make a PLC simulator directly. It is necessary to make it externally and to connect to Simulink.
- The use of several movements on the same coordinate axis. It has been able to establish the movements of the modeled elements, but it has been difficult to get that said movements occur in different positions on the same coordinate axis. This is because it can only use an actuator per axis.

## 8.4 Future Lines

There are some aspects of this work that could be projected with more depth and they are aspects which tutors of this final work degree can considerate in the realization of subsequent ones.

In the presence of the high quantity of people that use the automation laboratory at the same time, it could be possible progress basing on this project or other similar ones to get through the FESTOS's three – dimensional stations, any student could improve his programming work from home or in the laboratory, without the necessity to be several students in the same place for determinate hours in the real physical plant.

The easier option would be acquire some licenses of CIROS Mechatronics (which Universidad of La Laguna have three at present) and set up a classroom for its use, because of the present project has showed its utility just like programs we have used. The problem is its high cost.

It should study CIROS Advanced Mechatronics software, to simulate in a simultaneous way all available stations in the laboratory, well this software allows interconnect units and simulate a communication between stations. Again, the problem is its high cost.

Other software to study us CIROS Studio, it allows to create new stations inspired by typical industrial processes. But the problem remains economic because of the price of the license of this software could exceed 3000 €.

To give continuity to this project, it formulated deepen in software like Autodesk Inventor, Matlab and Simulink.

Regarding simulation, if we decided to use Matlab and Simulink we would try to get a three – dimensional model more faithful to the reality than we have obtained in this Final Work Degree. For example, when we export a model from Autodesk Inventor to Simulink assemblies colors are not respected.

In addition, it could be possible to perform a PLC simulator in other project, which uses the obtained variables in Matlab, interacts with the system and permits simulate the process correctly. In the model generated in this Final Work Degree were used some switch which permit to get a logical signal which makes possible actuators movement, although it should be replaced for a PLC simulator.

## Referencias

[1] Shannon R, Johannes JD. Systems simulation: the art and science. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 6(10). pp. 723-724, 1976.

[2] Historia de la Simulación. Lander Simulation & Training Solutions, S.A. Disponible en: <http://www.landertsimulation.com/formacion-con-simulacion/el-mundo-en-movimiento/historia-de-la-simulacion/>

[3] Wilson JR, Fitts EP. Advances in Simulation: the interplay of inspiration, intuition, abstraction and experimentation. Disponible en: <http://www.ise.ncsu.edu/jwilson/as12.pdf>

[4] Lods S. Simulación dinámica de la estación de test de piezas de la planta industrial. Proyecto Fin de Carrera de Ingeniería Técnica Industrial, esp. Electrónica Industrial. Universidad de La Laguna, 2012.

[5] García D, Cutillas V. Simulación en tres dimensiones de la estación de procesado de piezas de la planta industrial Festo del laboratorio de automatización de la Universidad de La Laguna. Proyecto Fin de Carrera de Ingeniería Técnica Industrial, esp. Electrónica Industrial. Universidad de La Laguna, 2012.

[6] Olave J. Simulación dinámica de la estación de clasificación de piezas de la planta industrial FESTO. Proyecto Fin de Carrera de Ingeniería Técnica Industrial, esp. Electrónica Industrial. Universidad de La Laguna, 2012.

[7] simLab: Laboratorio de Simulación de las Plantas Festo. Sitio web: <http://norenmartin.wix.com/simlab>

[8] Autodesk Inventor. Software de CAD 3D para diseño mecánico. Disponible en: <http://www.autodesk.es/products/autodesk-inventor-family/overview>

[9] Solidworks. Software de CAD 3D para diseño mecánico Disponible en: <http://www.solidworks.es/>

[10] CATIA. La experiencia del producto digital. Disponible en: <http://www.3ds.com/es/productos-y-servicios/catia/>

[11] COSIMIR. Características. Disponible en: <http://www.industrial-robotics.co.uk/simulations.htm>

[12] NI LabVIEW. Software de Desarrollo de Sistemas. Disponible en: <http://www.ni.com/labview/esa/>

- [13] ISG Virtuos. Disponible en: <http://www.isg-stuttgart.de/de/isg-virtuos/informationen.html>
- [14] CIROS Automation Suite. Disponible en: <http://www.festo-didactic.com/int-es/learning-systems/software-e-learning/ciros-automation-suite/>
- [15] CODESYS. Industrial IEC 61131-3 PLC Programming .Disponible en: <http://www.codesys.com/>
- [16] IRAI Virtual Universe. Disponible en: <http://www.iraifrance.com/#!/virtual-universe/c15xx>
- [17] PC-SIMU. Manual de uso. Disponible en: <http://sistemaintegral.uts.edu.mx/archivoselectronicos/Video/ArchivosElectronicos%5C2Manual%20PC%20Simu%20y%20S7%20200%5CMANUAL%20DE%20UTILIZACION%20DE%20LOS%20SIMULADORES%20PC%20SIMU%20Y%20S7%20200.pdf>
- [18] Mathworks. SIMULINK: simulación y diseños basados en modelos. Disponible en: <http://www.mathworks.es/products/simulink/>
- [19] CIROS Automation Suite. Disponible en: <http://www.festo-didactic.com/int-es/learning-systems/software-e-learning/ciros-automation-suite/>
- [20] Mathworks. MATLAB: el lenguaje del cálculo técnico. Disponible en: <http://www.mathworks.es/products/matlab/>
- [21] Mathworks. SimMechanics Link. Disponible en: [https://www.mathworks.es/products/simmechanics/download\\_smlink.html](https://www.mathworks.es/products/simmechanics/download_smlink.html)