



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño

DISEÑO DE AUTOMATIZACIÓN Y GEMELO DIGITAL DE LA FABRICACIÓN DE TABLAS DE SKATE

TRABAJO FINAL DEL

Máster Universitario en Diseño y Fabricación Integrada Asistidos por Computador

REALIZADO POR

Laura Munuera Ruipérez

TUTORIZADO POR

Antonio Correcher Salvador

CURSO ACADÉMICO: 2020/2021

A mi tutor, Toni, por ser un profesor tan agradable, motivarnos y hacer que su asignatura me gustara aún más que antes. Transmites a los alumnos una energía positiva y motivas a seguir aprendiendo. Gracias por apoyar mi idea y ayudarme a llevarla a cabo.

A mi profesor, Víctor, por sacar tiempo para ayudarme con los cálculos estructurales, que dieron más problemas de lo que me imaginaba. Agradezco mucho tu dedicación.

Y, por último, a mis padres, a mi hermana y a Cris, por haberme apoyado y animado durante todo el proyecto para seguir adelante con una actitud positiva. Gracias por estar siempre ahí y creer en mí.

RESUMEN

En la actualidad, el proceso de fabricación de las tablas de *skate* es manual en su mayor parte. En este trabajo fin de máster se aborda el diseño de la automatización del proceso de fabricación de tablas de *skate*. Esta automatización reduciría el número de operarios y aumentaría la seguridad de estos en el trabajo.

En el trabajo se incluye la definición de los procesos de manera secuencial y síncrona, la propuesta de automatización, el diseño de los GRAFCET de control, así como la descripción de los sensores y actuadores necesarios.

Posteriormente, se realizará un gemelo digital del proceso que simulará el proceso de la etapa de prensado en Siemens NX. Para ello, se diseñará tanto la tabla como el molde de prensado y, posteriormente, se programará el controlador mediante CODESYS. El bucle de control se cerrará con el gemelo digital mediante comunicaciones ethernet.

Además, con el módulo de CAE de Siemens NX se someterá a la tabla a distintos esfuerzos para comprobar que si es capaz de soportarlos.

ÍNDICE

RESUMEN	5
ÍNDICE.....	6
ÍNDICE DE IMÁGENES.....	8
ÍNDICE DE TABLAS.....	11
1. Objeto	12
2. Alcance y exclusiones.....	12
3. Memoria.....	13
3.1. Proceso de fabricación de <i>skates</i> actual	13
3.2. Materia prima	17
3.3. Especificaciones de la tabla	18
3.4. Descripción funcional del sistema automatizado	19
3.5. Resumen de entradas y salidas.....	23
3.6. GRAFCET	25
3.6.1. Cinta A + Aplicación de pegamento.	25
3.6.2. Programa 1 + Prensado + Programa 2.....	26
3.6.3. Programa 3 + Máquina CNC + Programa 4.	27
3.6.4. Cinta B + Barnizado + Programa 10.....	28
3.6.5. Programa 11 + Aplicación gráfico + Programa 12	29
3.7. Sensores y actuadores empleados.....	30
3.7.1. Sensores.....	30
3.7.2. Actuadores.....	34
3.8. Entorno Siemens NX y CODESYS	42
3.9. Modelado 3D en Siemens NX	45
3.10. Automatización en el módulo MCD de Siemens NX	49
3.11. GRAFCET Y LADDER del proceso de prensado	62
3.12. Entradas y salidas de la etapa de prensado.....	64
3.13. Simulación estructural mediante el método de elementos finitos con Siemens NX	65
4. Valoración económica.....	79
4.1. Coste de mano de obra	79
4.2. Coste de material	80
4.3. Coste de equipos.....	81
4.4. Resumen.....	81
MUDFIAC	6

5.	Resumen de conceptos principales	82
6.	Conclusiones.....	83
7.	Bibliografía	84
8.	Planos.....	86

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Partes de una tabla de skate	13
Imagen 2. Ciclo de fabricación de una tabla de skate	14
Imagen 3. Capas que forman una tabla de skate.....	15
Imagen 4. Tablas después del prensado	15
Imagen 5. Taladro de los agujeros en los que se sitúan los ejes	16
Imagen 6. Corte del contorno.....	16
Imagen 7. Etapa de barnizado	17
Imagen 8. Impresión del gráfico	17
Imagen 9. Medidas tabla.....	18
Imagen 10. Boceto de la distribución en planta del ciclo automatizado	20
Imagen 11. Sensor fotoeléctrico (1).....	31
Imagen 12. Sensor fotoeléctrico (2).....	31
Imagen 13. Sensor capacitivo (1)	32
Imagen 14. Sensor capacitivo (2)	32
Imagen 15. Sensor de presión (1)	33
Imagen 16. Sensor de presión (2)	33
Imagen 17. Botón de Start (1)	34
Imagen 18. Botón de Start (2)	34
Imagen 19. Motor cintas transportadoras (1)	35
Imagen 20. Motor cintas transportadoras (2)	35
Imagen 21. Actuador giratorio para rodillos (1)	36
Imagen 22. Actuador giratorio para rodillos (2)	36
Imagen 23. Pinzas robot (1).....	37
Imagen 24. Pinzas robot (2).....	37
Imagen 25. Cilindro neumático para prensado (1)	38
Imagen 26. Cilindro neumático para prensado (2)	38
Imagen 27. Luz de alarma (1)	39
Imagen 28. Luz de alarma (2)	39
Imagen 29. Válvulas para barnizado (1)	41
Imagen 30. Válvulas para barnizado (2)	41
Imagen 31. Client Control.....	43
Imagen 32. Comunicaciones NX-TCP	44

Imagen 33. Botones de Start	45
Imagen 34. Tabla obtenida tras el prensado	46
Imagen 35. Bloque prensado de 5 tablas	46
Imagen 36. Tabla de skate.....	46
Imagen 37. Molde inferior.....	47
Imagen 38. Molde superior	47
Imagen 39. Molde cerrado	48
Imagen 40. Molde abierto.....	48
Imagen 41. Lámina de madera de arce canadiense.....	49
Imagen 42. Bloque de 35 láminas pre prensado	49
Imagen 43. Escenario inicial etapa de prensado	50
Imagen 44. 35 láminas introducidas en el molde (1)	50
Imagen 45. 35 láminas introducidas en el molde (2)	51
Imagen 46. Molde cerrado (1)	51
Imagen 47. Molde cerrado (2)	52
Imagen 48. Molde abierto después del prensado	52
Imagen 49. Bloque de 5 láminas saliendo del molde.....	53
Imagen 50. Tablas separadas.....	53
Imagen 51. Plano general con las tablas separadas.....	54
Imagen 52. Componentes mecánicos que permite definir el programa	54
Imagen 53. Cuerpos rígidos (1).....	55
Imagen 54. Cuerpos rígidos (2).....	55
Imagen 55. Cuerpos rígidos (3).....	55
Imagen 56. Ventana del comando junta deslizante	56
Imagen 57. Juntas de movimiento.....	56
Imagen 58. Componentes eléctricos que permite definir el programa.....	57
Imagen 59. Componentes eléctricos que permite definir el programa	57
Imagen 60. Ventana del comando sensor de posición	58
Imagen 61. Sensores y actuadores (1)	58
Imagen 62. Sensores y actuadores (2)	59
Imagen 63. Señales de los actuadores (1)	59
Imagen 64. Señales de los actuadores (2)	59
Imagen 65. Señales de los sensores.....	60
Imagen 66. Configuración del servidor de señales MCD (1).....	60

Imagen 67. Configuración del servidor de señales MCD (2).....	61
Imagen 68. Controles de simulación.....	61
Imagen 69. GRAFCET (1).....	62
Imagen 70. GRAFCET (2).....	63
Imagen 71. Diagrama LADDER.....	63
Imagen 72. Módulo Pre/Post.....	66
Imagen 73. Apoyo de la tabla sobre los ejes (1)	66
Imagen 74. Apoyo de la tabla sobre los ejes (2)	66
Imagen 75. Área de apoyo de la persona sobre la parte central de la tabla.....	67
Imagen 76. Mitad sobre la que se va a realizar el mallado	67
Imagen 77. Características del mallado	68
Imagen 78. Mallado de la tabla de skate y apoyos (1)	69
Imagen 79. Mallado de la tabla de skate y apoyos (2)	69
Imagen 80. Propiedades mecánicas del arce canadiense (1)	70
Imagen 81. Mesh mating entre los apoyos y la tabla	71
Imagen 82. Restricciones aplicadas a la tabla (1)	71
Imagen 83. Restricciones aplicadas a la tabla (2)	72
Imagen 84. Tabla sometida a un esfuerzo en su parte central.....	72
Imagen 85. Desplazamiento nodal de la tabla sometida a un esfuerzo en su parte central	73
Imagen 86. Tensión de Von Mises de la tabla sometida a un esfuerzo en su parte central	73
Imagen 87. Tensión máxima de la tabla sometida a un esfuerzo en su parte central.....	74
Imagen 88. Tabla sometida a un esfuerzo en sus extremos	74
Imagen 89. Desplazamiento nodal de la tabla sometida a un esfuerzo en sus extremos	75
Imagen 90. Tensión de Von Mises de la tabla sometida a un esfuerzo en sus extremos .	75
Imagen 91. Tensión máxima de la tabla sometida a un esfuerzo en sus extremos.....	75
Imagen 92. Tabla sometida a un esfuerzo en su parte central y extremo izquierdo.....	76
Imagen 93. Desplazamiento nodal de la tabla sometida a un esfuerzo en el centro y el extremo izquierdo.....	77
Imagen 94. Tensión de Von Mises de la tabla sometida a un esfuerzo en el centro y el extremo izquierdo.....	77
Imagen 95. Tensión máxima de la tabla sometida a un esfuerzo en el centro y el extremo izquierdo.....	78
Imagen 96. Gráfico circular de los porcentajes de tiempo empleado en cada tareg	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Entradas del proceso automatizado de la fabricación de tablas de skate	23
Tabla 2. Salidas del proceso automatizado de la fabricación de tablas de skate	24
Tabla 3. Entradas etapa de prensado.....	64
Tabla 4. Salidas etapa de prensado.....	65
Tabla 5. Coste de mano de obra	80
Tabla 6. Coste de material.....	80
Tabla 7. Coste de equipos.....	81

1. Objeto

El objetivo principal de este Trabajo Final de Máster es la conceptualización de la automatización del proceso de fabricación de tablas de *skate*, lo cual supone conseguir una unión automatizada de todas las máquinas con las que hoy en día se fabrica una tabla de *skate*, y el desarrollo del gemelo digital de la etapa de prensado.

Para ello, se van a emplear los conocimientos adquiridos en el *Máster en Diseño y Fabricación Integrada Asistidos por Computador*, concretamente los estudiados en la asignatura de *Automatización Industrial*. Los programas empleados para la realización del gemelo digital son Siemens NX, para el modelado tridimensional, y CODESYS, para crear el entorno de programación del controlador, los cuales se conectan entre sí mediante un enlace que comunica el protocolo TCP/IP de Siemens NX con el protocolo MODBUS TCP de CODESYS.

2. Alcance y exclusiones

Para realizar este trabajo, se ha dividido en las siguientes etapas:

- Estudio sobre cómo se realiza la fabricación de tablas de *skate* en la actualidad. Una vez realizado, se procede al planteamiento de una planta de fabricación automatizada y el desarrollo de los GRAFCET con los que se programaría el PLC instalado en la fábrica. Se identificarán las entradas y salidas y se definirán los sensores y actuadores.
- Modelado 3D de la tabla antes y después del fresado, el molde de prensado y las láminas de madera de las que se parte como materia prima.
- Realizar el gemelo digital de la etapa de prensado. Primero se creará el GRAFCET que controle la etapa de prensado y se definirá el proceso de control, con la definición de las entradas y salidas del sistema. Después se hará la simulación del gemelo digital mediante la integración del programa de control con el del modelado.
- Valoración económica del trabajo, es decir, estimación de los costes implicados para realizar la automatización del ciclo de fabricación de tablas de *skate* y el gemelo digital de la etapa de prensado.
- Simulación de las reacciones de la tabla frente distintas cargas mediante el método de elementos finitos usado en NX. Obtener la reacción de la tabla cuando está sometida a distintas cargas, es decir, simulando el peso de la persona que se suba a ella. Para ello, se realizarán distintas simulaciones estructurales mediante NX.
- Planos del modelado en 3D.

Las exclusiones de este trabajo son las siguientes:

- No se modelará ni simulará el ciclo automatizado completo.

3. Memoria

3.1. Proceso de fabricación de *skates* actual

Actualmente las tablas de *skate* se fabrican o bien de manera artesanal o bien con la ayuda de máquinas que facilitan y amenizan el proceso de fabricación. El personal debe ir situando el material en la máquina correspondiente a cada etapa de fabricación, colocándolo en el sitio correcto para que la máquina realice la operación que le corresponde. O, por el contrario, si es un proceso artesanal, será el mismo personal quien se encargue de llevar a cabo dicha operación mediante distintas herramientas.

Por ello, en este TFM se ha decidido crear una cadena automatizada de procesos para la fabricación de estas tablas. Al automatizarlo, se conseguirá una mayor eficiencia del ciclo de producción. Además, el operario ya no deberá manipular resinas y se reduce en bastante nivel el riesgo de inhalar gases (como puede ser en el proceso de barnizado o los que emiten las resinas) y pequeñas virutas de madera (por ejemplo, en el proceso de lijado).

Una tabla de *skate* consta de las siguientes partes:

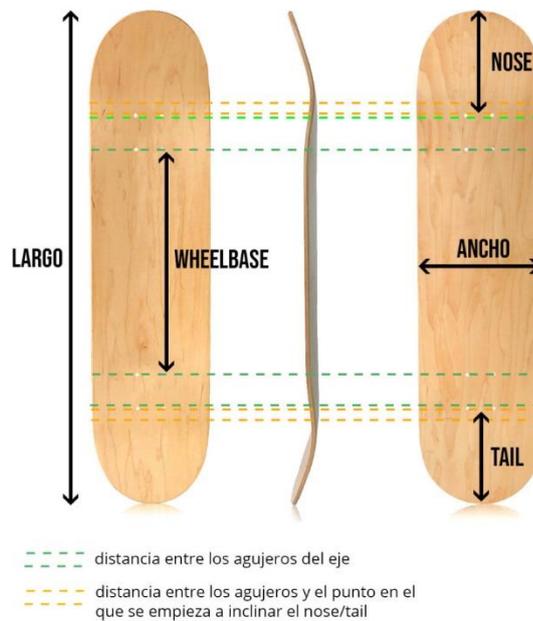


Imagen 1. Partes de una tabla de skate

En la siguiente imagen, podemos ver las distintas etapas del ciclo de fabricación de una tabla.

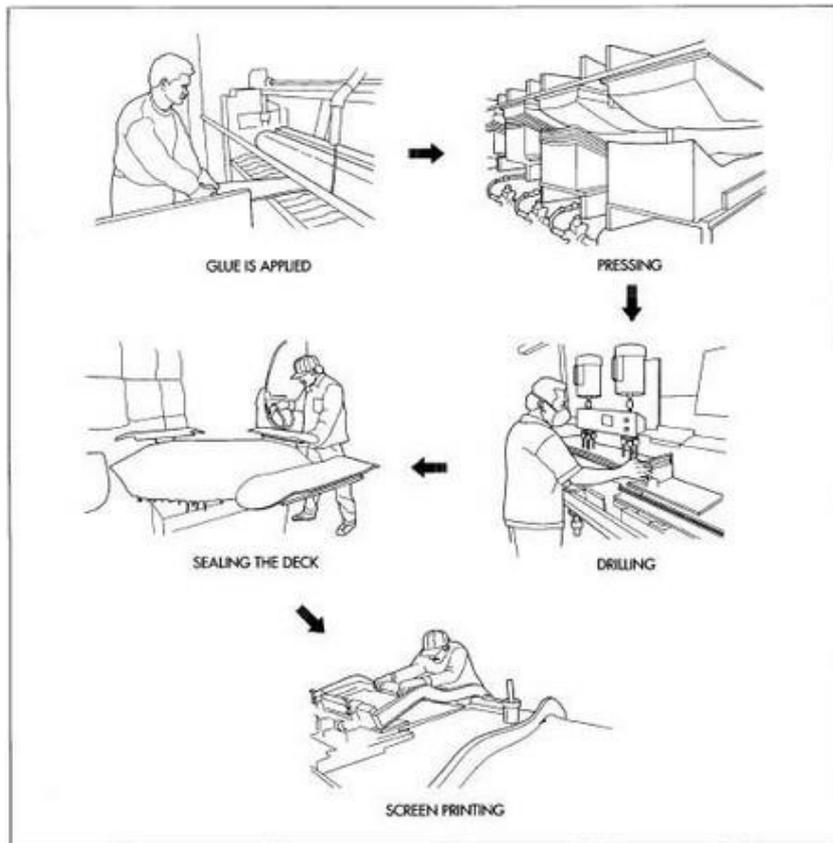


Imagen 2. Ciclo de fabricación de una tabla de skate

Partimos de láminas rectangulares de madera de poco más de 1 mm de espesor. La madera es encolada con resina epoxi, ya que una de las grandes ventajas de este adhesivo es que garantiza un pegado rígido y la madera no se hincha, cosa que podría suceder si se utilizara un pegamento a base de agua.

Para cada tabla se necesitan 7 láminas, las cuales se apilarán después de haberse aplicado la resina y se someterán a un proceso de prensado. Entonces, el proceso a seguir para aplicar la resina sería el siguiente: en ambas caras a las láminas centrales y solamente en una de las caras de las láminas externas.

Al apilar las láminas, hay que tener en cuenta que las que se encuentran en las posiciones 3 y 5 tienen el sentido de la veta en horizontal, ya que, de esta manera, se consigue una mejor flexibilidad y resistencia.

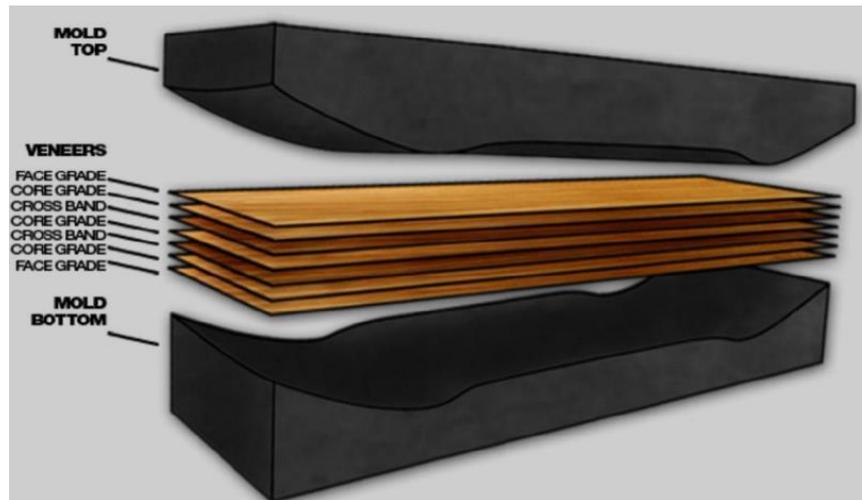


Imagen 3. Capas que forman una tabla de skate

Una vez apiladas, se meten en el molde de la máquina de prensado. Ejerciendo una presión alrededor de 50 toneladas, el prensado duraría unos 12 minutos. Una vez finalizado, se deja reposar la tabla entre 2 y 7 días para permitir un secado correcto y una buena adhesión de la resina, además de dejar salir toda la humedad del interior que se haya producido por el pegamento.



Imagen 4. Tablas después del prensado

Posteriormente, se lleva la tabla a una máquina CNC (una fresadora concretamente), en la que se realiza el corte del contorno (con el *nose* y el *tail* ovalados) y 8 taladros para la posterior fijación de los ejes. Para obtener un buen acabado, se suavizan todas las superficies con una lijadora y con una pulidora se liman las asperezas que han podido quedar. Y después, se aplica el barniz para obtener un mejor acabado, más brillante, y facilitar la impresión del diseño. El barniz se deja secar alrededor de dos horas.



Imagen 5. Taladro de los agujeros en los que se sitúan los ejes



Imagen 6. Corte del contorno



Imagen 7. Etapa de barnizado

El último paso del proceso es la decoración, se procede a la impresión del gráfico. El diseño se imprime sobre la tabla mediante una máquina que aplica calor y presión: se posiciona una lámina de polietileno o vinilo con el diseño sobre la parte inferior de la tabla y se la hace pasar por unos rodillos que aplican presión, además de calor. De esta manera, ya tendríamos la tabla lista para montar el *skate* completo.



Imagen 8. Impresión del gráfico

3.2. Materia prima

Cuando hablamos de la materia prima empleada para fabricar una tabla de *skate*, encontramos diferentes tipos de madera, desde las de menos calidad hasta las mejores. Las más utilizadas son las maderas de arce canadiense y la de abedul báltico, las cuales resaltan por su rigidez y alta densidad. También se puede destacar el bambú, que es una opción más exótica y que destaca por su buena resistencia y flexión.

Se pueden encontrar también tablas que combinan láminas de madera con otros materiales, como son la fibra de carbono, la fibra de vidrio o una combinación de ambas. Con la fibra de carbono se consigue un aumento de resistencia y durabilidad, mientras que con la fibra de vidrio las presiones ejercidas se reparten mejor.

En este trabajo, las tablas de *skate* van a considerarse de arce canadiense, ya que es considerada una de las mejores maderas y es la más empleada en el sector.

3.3. Especificaciones de la tabla

Hoy en día, existen muchos tipos de tablas de *skate*. En este trabajo nos vamos a centrar en el *skate* clásico, el cual está destinado a la realización de trucos y acrobacias. Son los más reconocidos en el estilo urbano actual.

Por lo general, las tablas miden desde 7.5 pulgadas de ancho (unos 19 cm) hasta 9 pulgadas (23 cm). Las más pequeñas (7.5 - 7.9") se suelen emplear para *streetsyle* (*skate* de calle) o *freestyle* (trucos de *skate*), ya que resulta más simple realizar todo tipo de trucos y giros, mientras que las más anchas (8.0 - 9.0") generalmente se utilizan para rampas o como medio de transporte, ya que poseen mucha más estabilidad y se puede patinar mucho más rápido.

Como hemos comentado, nos vamos a centrar en los *skates* destinados al *freestyle*, por lo que las medidas de nuestra tabla se encontrarán entre los 19 y 23 cm. En lo que respecta al largo, las tablas con esta anchura suelen tener unas 30 - 32", es decir, unos 76 - 82 cm.

Tomando de referencia una tabla de medidas encontradas en la página *skateboard-factory.com*, se decide que la tabla a modelar tendrá las siguientes medidas:

- 80 cm de largo x 20 cm de ancho.
- *Nose*: 172,5 cm.
- *Tail*: 166,5 cm.

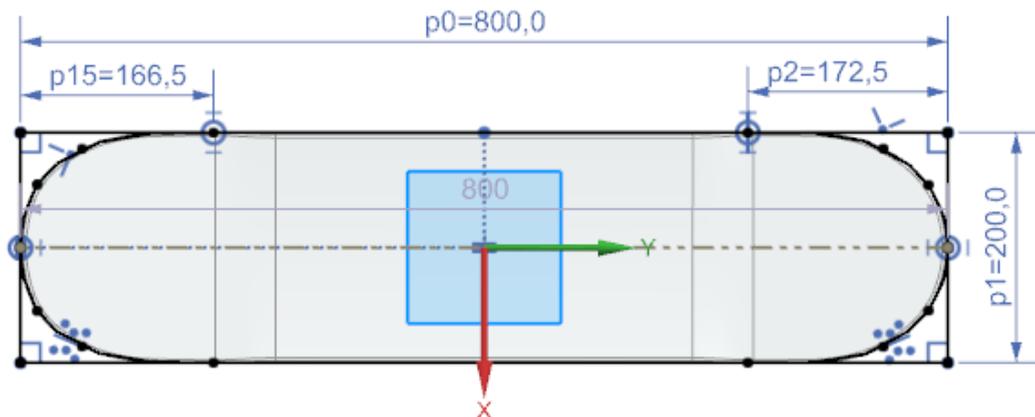


Imagen 9. Medidas tabla

3.4. Descripción funcional del sistema automatizado

Para la automatización de la planta de fabricación se va a contar con distintos sensores y actuadores que se describirán en el siguiente apartado.

En la siguiente imagen se ha representado una propuesta de cómo podría ser la distribución de todo el circuito automatizado.

Diseño de Automatización y Gemelo Digital de la Fabricación de Tablas de Skate

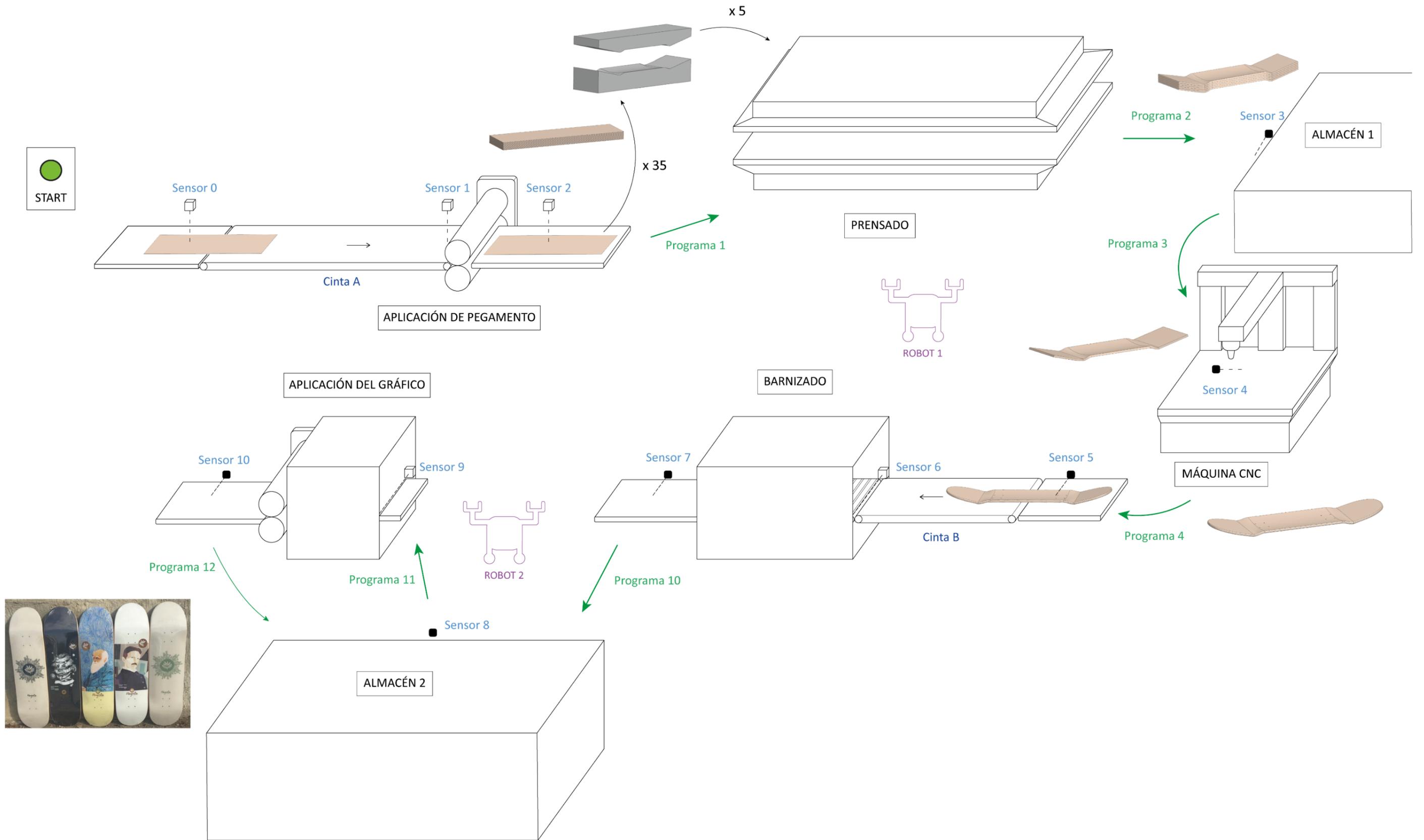


Imagen 10. Boceto de la distribución en planta del ciclo automatizado

Para poner en marcha el funcionamiento del ciclo se pulsa el botón *Start*. Entonces, el operario va depositando las láminas de arce canadiense en la primera plataforma, la cual consta de un sensor que pone en marcha la cinta transportadora que dirige a la lámina a la primera etapa (cinta A). Esta etapa consiste en unos rodillos donde se impregna la lámina con un adhesivo, normalmente resina epoxi. Para que estos rodillos se pongan en marcha, primero se ha de detectar la presencia de la lámina con un sensor situado justo antes de dichos rodillos. A la salida de los rodillos hay una plataforma, donde la lámina es detectada mediante el sensor 2 y donde espera a ser recogida. Este sensor 2 desactiva también la acción de los rodillos, para no estar trabajando continuamente.

La planta de fabricación consta de dos robots a los que se le han introducido varios programas para la realización de distintas tareas. El robot 1, con el programa 1, recoge las láminas con el adhesivo aplicado y las sitúa en los moldes de la máquina de prensado. Dicho programa se activa cuando el sensor 2 detecta la primera lámina que llega. Una vez en marcha, seguirá realizando esta tarea hasta que deposite el número total de láminas indicado.

En la prensa se van a tener 5 moldes, en cada uno de los cuales deben colocarse 35 láminas, es decir, con cada molde se obtendrán 5 tablas, por lo que en cada etapa de prensado se obtendrán 25 tablas.

Para controlar el número de láminas que el robot deposita en la prensa, se coloca un contador para verificar que el programa del robot ha sido ejecutado correctamente. Si no se cumple, antes de comenzar el prensado saltará la luz de alarma, la cual apagará el operario al solucionar el problema. Después de solucionarlo, para volver a poner el sistema en marcha y activar el prensado, el operario pulsará el botón de *Start*.

La etapa de prensado dura 15 minutos, para asegurar una buena adhesión. Cuando se cumple dicho tiempo, el robot se encarga (con el programa 2) de llevar los bloques de tablas a un almacén, donde deben reposar unos 7 días. Cuando se han recogido todos los bloques, se activa la señal digital que indica el final del programa 2.

Para aprovechar el tiempo de prensado, se continua con la siguiente etapa del ciclo. Se activa el tercer programa del robot 1. Con este programa se recoge una tabla del almacén, la cual ya ha reposado el tiempo indicado, y se posiciona en una fresadora. Para ello, el operario la situará en una determinada posición del almacén, donde el robot irá a recogerla al ser detectada por el sensor 3.

La separación de los bloques obtenidos en el prensado se podría realizar de dos maneras:

- Se encarga de separarlas el mismo operario que deposita las tablas en el sensor 3 (lo cual puede resultar más sencillo).
- El propio programa 3 del robot separa el bloque que pondría el operario en dicho sensor antes de llevarlo a la máquina CNC.

Para no añadir una mayor dificultad, se va a asumir que esta separación la hará el operario, pero no se descarta que esta tarea se pueda añadir al trabajo realizado por el robot.

Una vez en la fresadora, el sensor 4 se encarga de detectar que la tabla está bien posicionada. Es entonces, y cuando el robot se haya retirado a una distancia de seguridad (indicado con el final del programa 3), cuando se realizan las siguientes operaciones:

- 8 taladros para la sujeción de los ejes.
- Cortar el bloque de tablas con el contorno redondeado propio del *skate*.
- Lijado de los bordes de las tablas.
- Pulido de toda la superficie de la tabla.
- Soplado para eliminar todas las posibles virutas.

Una vez finalizado el programa de la fresadora, indicado mediante la señal digital de final de programa, se inicia el cuarto programa del robot 1, con el que este recoge la pieza y la deposita en una segunda cinta transportadora (cinta B). Esta cinta se activa con el sensor 5 y dirige la tabla a la estación de barnizado. En esta estación, las tablas son enganchadas con un transportador aéreo y se rocían con barniz por ambos lados mediante unas válvulas mientras van avanzando.

Para que se pongan en funcionamiento las válvulas y el transportador, se habrá de activar el sensor 6, el cual está situado en la entrada. Cuando la tabla completa sale de la estación de barnizado se desactivan las válvulas y el transportador. Esto se detecta con el sensor 7, con el cual también se pondrá en marcha el programa 10 del robot 2. Mediante este programa, el robot 2 se encarga de llevar la tabla barnizada al almacén 2, donde debe permanecer 2 horas para conseguir un buen secado.

Las tablas que ya estén secas serán posicionadas en el sensor 8 por el operario para que se inicie el programa 11 del robot 2, mediante el cual transporta la tabla del almacén a la última estación del ciclo. Dicha estación es donde se aplica la decoración de la tabla, es decir, donde se aplica el gráfico. Con la detección de la tabla mediante el sensor 9, se activa la máquina de aplicación del gráfico. El mecanismo de dicha máquina es el siguiente: se posiciona la lámina del gráfico sobre la tabla y se la hace pasar varias veces por unos rodillos que aplican presión y calor.

A la salida de esta estación, se encuentra el sensor 10, el cual se encarga de notificar que la tabla con el gráfico ya aplicado ha salido completamente de esta etapa y está esperando a ser recogida por el robot 2. Entonces, mediante el programa 12 el robot la situará en el almacén 2. Hasta que no comience el programa 12, no podrá ponerse en marcha la máquina de aplicación del gráfico.

Hay que tener en cuenta que una vez que finaliza el prensado, el robot 1 debe recoger las tablas y situarlas en el almacén intermedio del ciclo. Por ello, si en ese momento el robot se encuentra realizando alguno de los programas 3 o 4, deberá finalizarlo y seguidamente continuar con el programa 2 y posteriormente de nuevo el 1.

3.5. Resumen de entradas y salidas

Tabla 1. Entradas del proceso automatizado de la fabricación de tablas de skate

Nº	Entradas	Descripción
1	Botón (Start)	Enciende el sistema.
2	Sensor 0 (S0)	Detecta pieza al principio de la cinta A.
3	Sensor 1 (S1)	Detecta pieza a la entrada de los rodillos con pegamento.
4	Sensor 2 (S2)	Detecta pieza al salir de los rodillos.
5	Fin Programa 1 (P1_End), señal digital	Indica cuando ha finalizado el programa 1 del robot.
6	Fin programa 2 (P2_End), señal digital	Indica cuando se ha finalizado el programa 2 del robot.
7	Sensor 3 (S3)	Detecta si hay una pieza preparada para ser cogida del almacén 1.
8	Sensor 4 (S4)	Detecta que la pieza se ha situado correctamente en la máquina CNC.
9	Fin Programa 3 (P3_End), señal digital	Indica cuando el robot ha finalizado el programa 3.
10	Fin máquina CNC (CNC_End), señal digital	Indica cuando ha finalizado el programa de la máquina CNC.
11	Sensor 5 (S5)	Detecta pieza al principio de la cinta B.
12	Sensor 6 (S6)	Detecta pieza a la entrada de la etapa de barnizado.
13	Sensor 7 (S7)	Detecta pieza a la salida de la etapa de barnizado.
14	Fin Programa 10 (P10_End), señal digital	Indica cuando el robot ha finalizado el programa 10.
15	Sensor 8 (S8)	Detecta si hay una pieza preparada para ser cogida del almacén 2.
16	Sensor 9 (S9)	Detecta pieza a la entrada de la aplicación del gráfico.
17	Sensor 10 (S10)	Detecta pieza al salir de la etapa de aplicación del gráfico.
18	Fin Programa 12 (P12_End), señal digital	Indica cuando el robot ha finalizado el programa 12.

Tabla 2. Salidas del proceso automatizado de la fabricación de tablas de skate

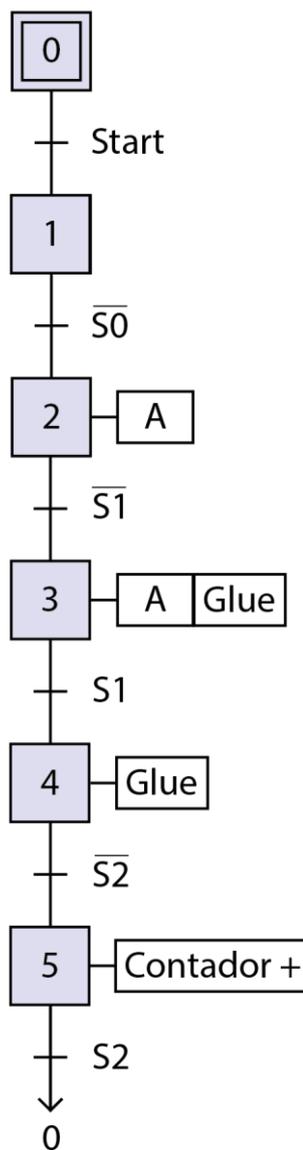
Nº	Salidas	Descripción
1	Cinta A (A)	Activa cinta transportadora A.
2	Rodillos con pegamento (Glue)	Activa los rodillos que aplican el pegamento a las láminas de madera.
3	Programa 1 (Rob1)	Robot 1 recoge las láminas con el pegamento ya aplicado, las sitúa en la prensa y se retira una distancia de seguridad.
4	Luz de alarma (LUZ)	Luz de alarma que se activa cuando el contador de láminas no ha llegado al número correspondiente.
5	Prensado (Press)	Activa la prensa.
6	Programa 2 (Rob2)	Robot 1 recoge tablas de la prensa y las sitúa en el almacén.
7	Programa 3 (Rob3)	Robot 1 recoge tabla del almacén y la posiciona en la máquina CNC.
8	Máquina CNC (M_CNC)	Activa el programa de la máquina CNC, el cual realiza el taladro de 8 agujeros, recorta la tabla con el contorno definido, hace el lijado de este y mediante un mecanismo de soplado elimina las virutas.
9	Programa 4 (Rob4)	Robot 1 recoge tabla de la máquina CNC y la deposita sobre la cinta B.
10	Cinta B (B)	Activa cinta transportadora B.
11	Barnizado (Varnish)	Activa máquina de barnizado.
12	Programa 10 (Rob10)	Robot 2 recoge tabla barnizada y la deja en el almacén 2.
13	Programa 11 (Rob11)	Robot 2 recoge tabla del almacén 2 y la introduce en la máquina de aplicación del gráfico.
14	Máq. Aplicación Gráfico (Graphic)	Activa máquina que aplica el gráfico en la tabla.
15	Programa 12 (Rob12)	Robot 2 recoge tabla con el gráfico aplicado y la deposita en el almacén 2.

3.6. GRAFCET

Tener en cuenta que los sensores fotoeléctricos (sensores 0, 1, 2, 6 y 9) se han configurado como NC.

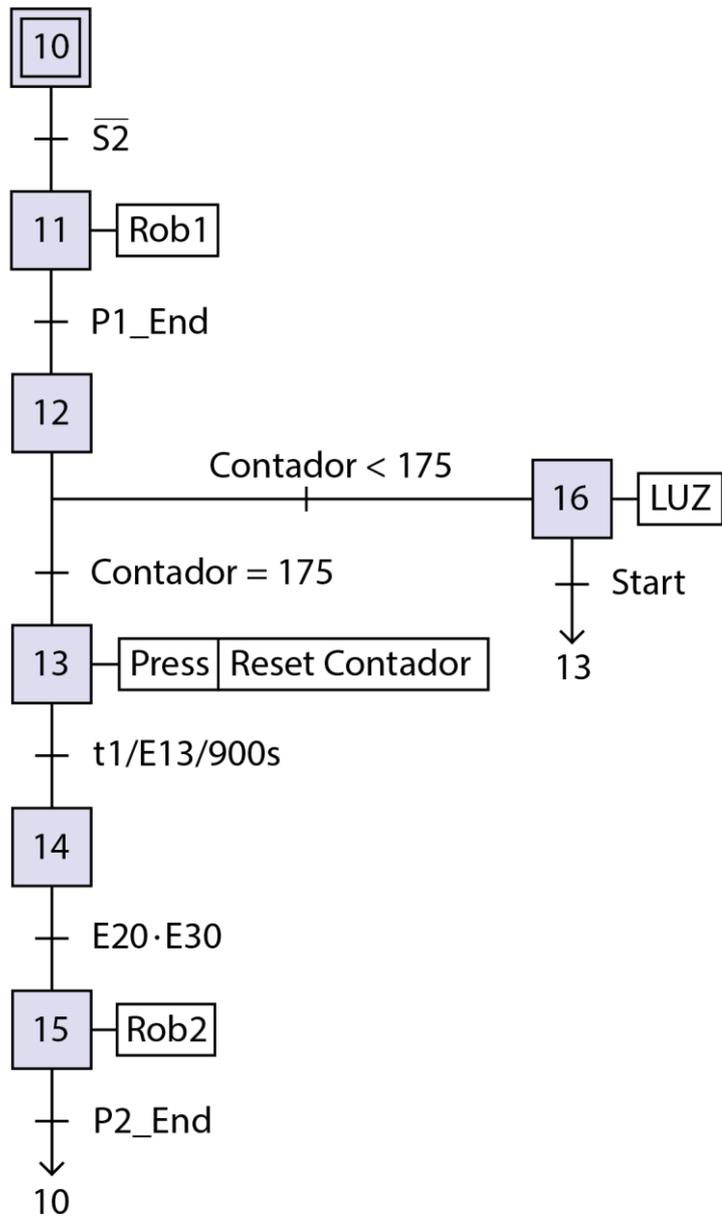
El ciclo se ha dividido en cinco subprocesos:

3.6.1. Cinta A + Aplicación de pegamento.



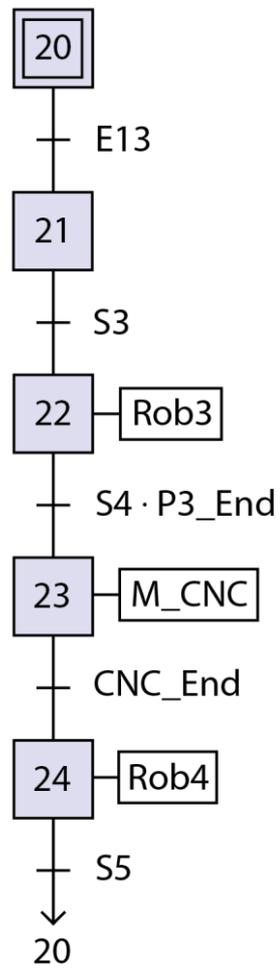
Grafcet 1. Cinta A + Aplicación pegamento

3.6.2. Programa 1 + Prensado + Programa 2.



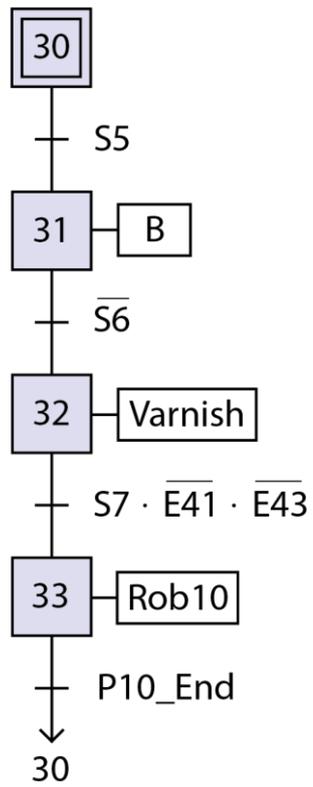
Grafcet 2. Programa 1 + Prensado + Programa 2

3.6.3. Programa 3 + Máquina CNC + Programa 4.



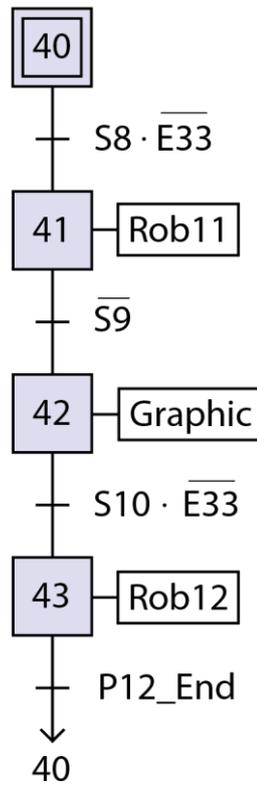
Grafcet 3. Programa 3 + Máquina CNC + Programa 4

3.6.4. Cinta B + Barnizado + Programa 10.



Grafcet 4. Cinta B + Barnizado + Programa 10

3.6.5. Programa 11 + Aplicación gráfico + Programa 12



Grafcet 5. Programa 11 + Aplicación gráfico + Programa 12

3.7. Sensores y actuadores empleados

En este apartado se realiza una selección de los sensores y actuadores propuestos para el ciclo automatizado de la fábrica. La búsqueda se ha realizado en la página *RS Components* ya que ofrece una gran variedad de opciones de productos industriales, tanto de electrónica, electricidad y automática como de mantenimiento industrial, además de herramientas y consumibles para ingenieros.

3.7.1. Sensores

- *Sensores 0, 1 y 2*: deben detectar láminas de 1,5 mm de espesor, es decir, elementos muy finos, por lo que el sensor más adecuado es uno fotoeléctrico tipo réflex.
- *Sensores 3, 4, 5, 7, 8 y 10*: detectan la tabla por proximidad, de modo que un sensor capacitivo es lo más conveniente.
- *Sensor 6 y 9*: detectan la tabla antes de entrar a las etapas de barnizado y aplicación del gráfico. Se escogen también sensores fotoeléctricos tipo réflex.

Las demás entradas del ciclo son señales digitales, por lo que no es necesaria la selección de más sensores.

Sensor fotoeléctrico

Se propone el uso del siguiente sensor emisor-receptor, el cual tiene un rango de detección de hasta 12 metros, lo cual da de sobra para la aplicación que requiere en este caso, y es el más económico encontrado en *RS Components*.

Fotocélula rectangular Pepperl + Fuchs Haz pasante (emisor y receptor), alcance 0 → 12 m, salida PNP/NPN, PEPPERL+FUCHS

Código RS: 124-0329 | Nº ref. fabric.: OBE12M-R101-S2EP-IO-V31 | Fabricante: Pepperl + Fuchs



2 Disponible para entrega en 24/48 horas

Precio Unidad
89,10 €
 (exc. IVA) **107,81 €**
(inc. IVA)

unidades	Por unidad
1 +	89,10 €

unidades

Imagen 11. Sensor fotoeléctrico (1)

Especificaciones

Atributo	Valor
Estilo de Sensor	Bloque
Tipo de Detección	Haz pasante (emisor y receptor)
Rango de Detección	0 → 12 m
Tipo de Salida	PNP/NPN
Conexión Eléctrica	Conector M8 de 4 contactos
Tensión DC Máxima	30V
Protocolo de comunicación	IO-LINK
Tipo de Terminal	Conector de 4 contactos
Fuente de la luz	LED
Índice de Protección IP	IP67, IP69, IP69K
Corriente Máxima	100 mA
Tiempo de Respuesta	500 µs

Imagen 12. Sensor fotoeléctrico (2)

<https://es.rs-online.com/web/p/fotocelulas/1240329>

Sensor capacitivo

A continuación, se muestra el sensor capacitivo seleccionado, cuyo rango de detección llega hasta los 25 mm.

Sensor capacitivo, 25 mm, Salida PNP-NO, Cuerpo Cilíndrico, Rosca M30 x 1.5, 100 mA, 10 → 30 V dc, IP67

BALLUFF

Código RS: 902-7512 | N° ref. fabric.: BCS M30BBE2-PSC25H-S04K | Fabricante: BALLUFF



22 Disponible para entrega en 24/48 horas

Precio Unidad

64,86 €

(exc. IVA)

78,48 €

(inc. IVA)

unidades

Por unidad

1 +

64,86 €

-

1

+

unidades

Añadir

Imagen 13. Sensor capacitivo (1)

Especificaciones

Atributo	Valor
Tecnología de sensores	Capacitiva
Tipo de Cuerpo	Cilíndrico
Tamaño de Rosca	M30 x 1.5
Tipo de Salida	PNP
Rango de Detección	25 mm
Tipo de Terminal	M12 de 4 contactos
Tensión de Alimentación	10 → 30 V dc
Longitud	78.5mm
Tensión DC Máxima	30V
Corriente de Conmutación	100 mA
Índice de Protección IP	IP67
Material de la Carcasa	PBT
Apantallamiento	No Apantallado
Temperatura de Funcionamiento Mínima	-25°C
Temperatura de Funcionamiento Máxima	+85°C
Cumplimiento normativo	CE, homologación cULus
Protección contra cortocircuitos/sobrecargas	Sí
Protección de Polaridad Inversa	Sí

Imagen 14. Sensor capacitivo (2)

<https://es.rs-online.com/web/p/sensores-de-proximidad/9027512/>

Sensor de presión

Para controlar la presión del prensado es necesario tener un sensor de presión. Se ha seleccionado el siguiente, el cual admite hasta 4,1 bar, valor sobre el que ronda la presión que se ejerce en la prensa.

Presostato Gems Sensors Terminal de horquilla 1/4 x 1/32, 0.7 → 4.1bar, para Gas, Líquido, SPST-NA BSP 1/4


Código RS: 123-6131 | N° ref. fabric.: 251858 | Fabricante: Gems Sensors



Temporalmente fuera de stock. Disponible a partir del 24/12/2020, con entrega en 2 día(s) laborable(s).

Precio Unidad
68,90 €
 (exc. IVA) **83,37 €**
(inc. IVA)

unidades	Por unidad
1 - 4	68,90 €
5 - 9	65,46 €
10 +	62,03 €

− 1 + unidades

Añadir

Imagen 15. Sensor de presión (1)

Especificaciones

Atributo	Valor
Lectura de Presión Mínima	0.7bar
Lectura de Presión Máxima	4.1bar
Precisión	±0,1 bares
Tipo de Salida	SPST-NA
Media Medido	Gas, líquido
Conexión de proceso	BSP 1/4
Conexión Eléctrica	Terminal de horquilla 1/4 x 1/32
Material de la Carcasa	Acero galvanizado
Tipo de Montaje	Montaje roscado
Temperatura de Funcionamiento Mínima	-40°C
Temperatura de Funcionamiento Máxima	+121°C

Imagen 16. Sensor de presión (2)

<https://es.rs-online.com/web/p/sensores-de-presion/1236131/>

3.7.2. Actuadores

Botón de Start

Para el inicio del proceso se elige el siguiente elemento.

Cabeza seta de emergencia LPCBL6143 Lovato Verde, Retorno por Resorte, Redondo



Código RS: 790-3498 | N° ref. fabric.: LPCBL6143 | Fabricante: Lovato



5 Disponible para entrega en 24/48 horas

Precio Unidad
14,95 €
(exc. IVA)

18,09 €
(inc. IVA)

unidades	Por unidad
1 - 4	14,95 €
5 - 9	14,35 €
10 +	14,02 €

-
1
+
unidades

Añadir

Imagen 17. Botón de Start (1)

Especificaciones

Atributo	Valor
Serie	Platinum
Diámetro del Disyuntor	22mm
Color del botón pulsador	Verde
Forma del botón pulsador	Redondo
Actuación del Botón Pulsador	Retorno por Resorte
Tipo de botón pulsador	Seta
Índice de Protección IP	IP66, IP67, IP69K

Imagen 18. Botón de Start (2)

<https://es.rs-online.com/web/p/cabezales-para-pulsadores/7903498/>

Cintas transportadoras

Necesitan un motor que provean su movimiento.

Motor de ac Motovario TS71B4 0,37 230/400-50 B3 MV CN, Trifásico, Reversible, 0,37 kW, B3, M, IE1

Código RS: 205-2851 | N° ref. fabric.: TS71B4 0,37 230/400-50 B3 MV CN | Fabricante: Motovario



1 Disponible para entrega en 24/48 horas

Precio Unidad
115,24 €
 (exc. IVA) **139,44 €**
(inc.IVA)

unidades	Por unidad
1 +	115,24 €

unidades

Imagen 19. Motor cintas transportadoras (1)

Especificaciones

Atributo	Valor
Potencia Nominal	0,37 kW
Clase de eficiencia	IE1
Frecuencia nominal	50Hz
Tensión de Alimentación	230 → 240 V.
Fase	3
Número de Polos	4P
Tipo de Montaje	B3
Rotación	Reversible
Dimensiones	F71
Serie	M

Imagen 20. Motor cintas transportadoras (2)

<https://es.rs-online.com/web/p/motores-ac/2052851/>

Rodillos para aplicación de pegamento y gráfico

Para ambos rodillos se necesita un actuador giratorio. Se ha escogido el siguiente, ya que tiene un ángulo de rotación de 270º y un calibre de 50mm.

Actuador giratorio SMC, CDRB1BW50-270S, 270°



Código RS: 715-0777 | Nº ref. fabric.: CDRB1BW50-270S | Fabricante: SMC



2 Disponible para entrega en 24/48 horas

Precio Unidad
186,88 €
 (exc. IVA) **226,12 €**
(inc. IVA)

unidades	Por unidad
1 +	186,88 €

- 1 + unidades

Añadir

Imagen 21. Actuador giratorio para rodillos (1)

Especificaciones

Atributo	Valor
Serie del Fabricante	CDRB1
Calibre	50mm
Ángulo Giratorio	270°
Máxima Presión de Funcionamiento	9.9 bar
Presión Máxima Absoluta	1MPa
Tipo de Amortiguamiento	Caucho
Conexión de Puerto	Rc 1/8
Peso	770g

Imagen 22. Actuador giratorio para rodillos (2)

<https://es.rs-online.com/web/p/actuadores-giratorios/7150777/>

Sujeción de piezas con robot

Para que el robot pueda coger tanto las láminas como la tabla en cada una de las etapas, se propone el uso de unas pinzas. Se selecciona la siguiente pinza para robot, ya que tiene apertura de sobra para coger tanto las láminas de poco más de 1 mm como las tablas de unos 10 mm de espesor. En principio se necesitaría una por robot, ya que tiene una fuerza de sujeción de 5N.

Pinza para robot St Robotics de 2 dedos, tipo eléctrico, fuerza de sujeción 5N

ST Robotics

Código RS: 124-2707 | N° ref. fabric.: E1 | Fabricante: St Robotics



Temporalmente fuera de stock. El producto se entregará cuando vuelva a estar disponible.

Precio Unidad

1.318,30 €
(exc. IVA)

1.595,14 €
(inc. IVA)

unidades	Por unidad
1 +	1.318,30 €

− 1 + unidades

Añadir

Imagen 23. Pinzas robot (1)

Features and specifications

The E1 gripper is the standard model in our R12 series of electric grippers which features pre-designed stylised fingers with high friction rubber tips.

The E1 gripper can collect and manipulate any items that can fit within the 30mm separation of the two fingers.

Specifications

Gripping Force: 5N
 Operating Temperature: 0 - 40°C
 Total Stroke: 30mm (15mm per finger)
 Time to close/open: 500ms

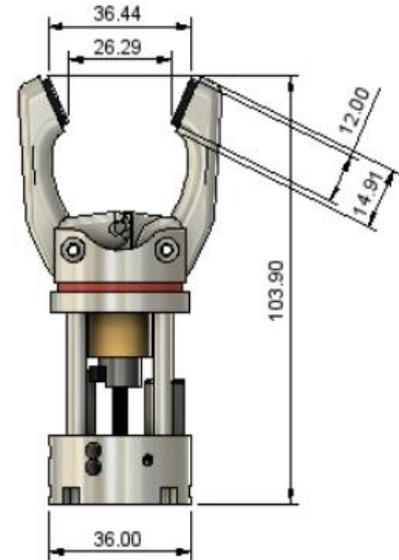


Imagen 24. Pinzas robot (2)

<https://es.rs-online.com/web/p/pinzas-para-robot/1242707/?tpr=1>

Prensado

Para conseguir la presión necesaria, se ha seleccionado el siguiente cilindro neumático con un recorrido de 100 mm y capaz de realizar una presión máxima de 10 bar (de sobra para el uso que se le va a dar). Además del sensor de presión, especificado en el apartado anterior junto a los demás sensores.

Cilindro compacto neumático Aventics, R422001236, Doble Acción

AVENTICS

Código RS: 703-5671 | Nº ref. fabric.: R422001236 | Fabricante: EMERSON - AVENTICS



La imagen representada puede no ser la del producto

Temporalmente fuera de stock. Disponible a partir del 16/12/2020, con entrega en 2 día(s) laborable(s).

Precio Unidad
149,14 €
 (exc. IVA) **180,46 €**
 (inc. IVA)

unidades	Por unidad
1 - 4	149,14 €
5 +	144,59 €

− 1 + unidades

Añadir

Imagen 25. Cilindro neumático para prensado (1)

Especificaciones

Atributo	Valor
Recorrido	100mm
Calibre	40mm
Acción	Doble
Serie del Fabricante	CCI
Tipo de Amortiguamiento	Caucho
Dimensiones del Cuerpo	152.4 x 58 x 58mm
Longitud	152.4mm
Anchura	58mm
Máxima Presión de Funcionamiento	10bar
Altura	58mm
Máxima Temperatura de Funcionamiento	+80°C
Mínima Temperatura de Funcionamiento	-20°C
Peso	846g

Imagen 26. Cilindro neumático para prensado (2)

<https://es.rs-online.com/web/p/cilindros-compactos-neumaticos/7035671/>

Luz de alarma

Para la luz de alarma que indica que hay una cantidad incorrecta de láminas en los moldes de prensado, se utiliza el siguiente elemento luminoso, el cual lleva incorporado también un avisador acústico.

Luz de piloto completa con avisador acústico, LED, diámetro 22mm, IP30

Código RS: 909-2550 | Fabricante: RS PRO



4 Disponible para entrega en 24/48 horas

Precio Unidad

~~Antes: 7,97 €~~**7,33 €**

(exc. IVA)

8,87 €

(inc. IVA)

unidades	Por unidad
1 +	7,33 €

unidades

Añadir

Imagen 27. Luz de alarma (1)

Especificaciones

Atributo	Valor
Tensión Nominal	120V ac/dc
Color de la luz piloto	Rojo
Diámetro del Disyuntor	22mm
Tipo de lámpara	LED
Tipo de Montaje	Montaje en Panel
Índice de Protección IP	IP30
Tipo de Terminal	Roscado
Serie	LEDtec
Corriente Nominal	20mA
Pilot Light Shape	Redondo
Para Usar Con	Circuito de alarma

Imagen 28. Luz de alarma (2)

<https://es.rs-online.com/web/p/unidades-completas-de-pilotos-luminosos/9092550/>

Máquina CNC

Para la máquina CNC no es necesario la selección de ningún actuador, ya que posee un funcionamiento autónomo. En concreto, para realizar todas las operaciones descritas, se necesita una fresadora vertical.

Transportador aéreo

La opción más adecuada sería un transportador autopropulsado monorraíl para cargas suspendidas. La carga que soportaría el carro no sería más de 3 kg y la distancia a recorrer es la mínima para que la tabla pase por las dos válvulas que expulsan el barniz. Para definirlo con más detalle habría que ver el espacio dedicado a la estación de barnizado.

El tipo de carro más adecuado sería uno fabricado específicamente para procesos de pintura con espray, ya que presenta un mecanismo de rotación (o bien de posiciones discretas o bien de infinitas posiciones) con el que la tabla iría rotando y siendo impregnada de barniz por toda su superficie.

Válvulas para barnizado

Por último, para la estación de barnizado se utilizan dos electroválvulas neumáticas. Se han elegido en base a que deben ser monoestables y permitan el uso con fluidos líquidos. Se pondrá una en cada pared para que el barniz llegue mejor a toda la superficie de la tabla.

Válvula de control de accionamiento piloto de solenoide neumática Festo, Serie VZWD, Rosca NPT 1/8, Función 2/2 Closed,

FESTO

Código RS: 203-7777 | Nº ref. fabric.: VZWD-L-M22C-M-N18-20-V-3AP4-15 | Fabricante: Festo



Temporalmente fuera de stock. Disponible a partir del 11/01/2021, con entrega en 2 día(s) laborable(s).

Precio Unidad

40,75 €
(exc. IVA)

49,31 €
(inc. IVA)

unidades	Por unidad
1 +	40,75 €

− 1 + unidades

Añadir

Imagen 29. Válvulas para barnizado (1)

Data sheet

Feature	Value
Design structure	Directly actuated poppet valve
Type of actuation	electrical
Sealing principle	soft
Assembly position	Any
Mounting type	Line installation
Process valve connection	1/8 NPT
Electrical connection	Plug Cubic design to EN 175301-803 Plug pattern type A to EN 175301-803
Nominal size	2 mm
Valve function	2/2 closed, monostable
Manual override	None
Flow direction	non reversible
Medium	Compressed air in accordance with ISO8573-1:2010 [7:4:4] Inert gases Mineral oil Water Neutral fluids Other media on request

Imagen 30. Válvulas para barnizado (2)

<https://es.rs-online.com/web/p/valvulas-de-control-accionado-por-solenoide-piloto-neumaticas/2037777/>

3.8. Entorno Siemens NX y CODESYS

En los apartados anteriores se ha dado una explicación detallada de cómo funciona el ciclo completo de fabricación de tablas de *skate* y se han definido los GRAFCET para automatizar el proceso. En este apartado se comienza con la explicación de cómo se ha realizado el gemelo digital de la etapa de prensado de la tabla. Para ello, se desarrolla un GRAFCET específico de esta etapa y se crea el escenario que representa dicha etapa.

El software empleado para la realización del gemelo digital es Siemens NX para el modelado y CODESYS como entorno de programación del controlador.

Siemens NX

Este programa se ha empleado para realizar la simulación visual de la automatización del prensado. Para ello primero se diseñan los modelos tridimensionales de la lámina de madera inicial, la tabla y el molde. Para establecer las relaciones entre los distintos elementos y darle movimiento se emplea el módulo *Diseñador de conceptos de mecatrónica* (MCD).

CODESYS

Programa mediante el cual se realiza la automatización del proceso de prensado, es decir, donde se definen los GRAFCET para que el sistema funcione.

Antes de llevar a cabo la ejecución del GRAFCET de la etapa de prensado, se han de crear dos programas independientes para conectarlo con NX y que la conexión funcione correctamente.

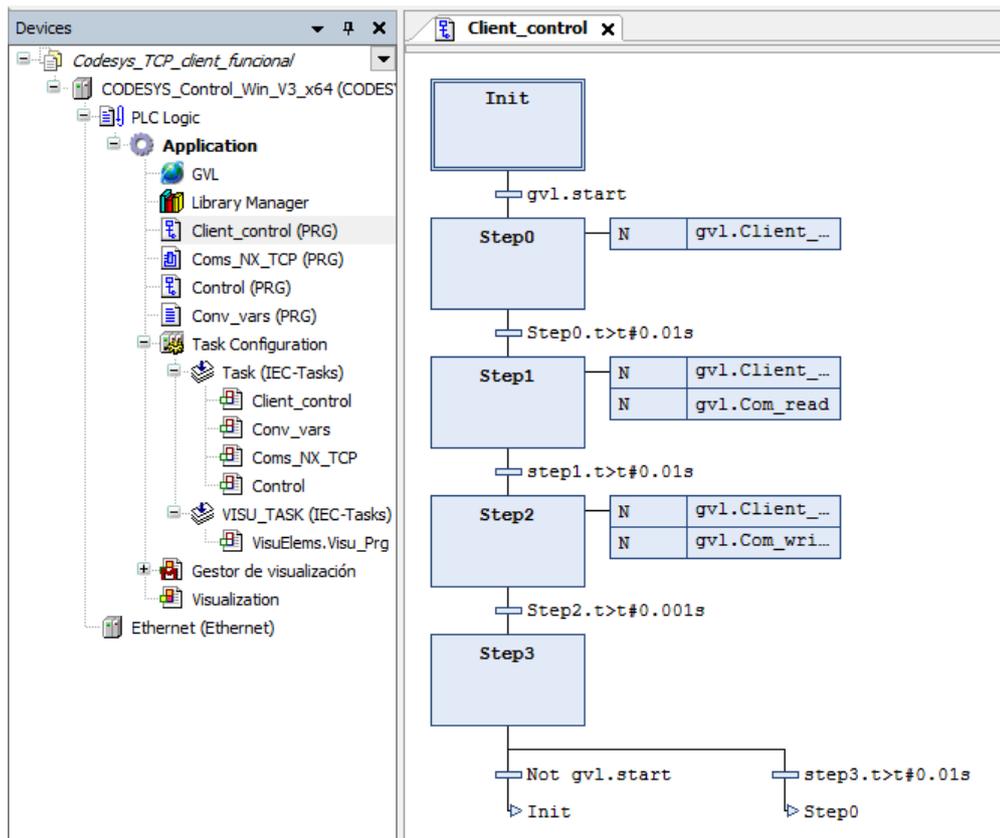


Imagen 31. Client Control

Mediante el Control de Cliente, se consigue la conexión con el servidor de señales de NX. Cuando se pulsa el botón de *Start*, se repite periódicamente esta secuencia, en la que primero lee y luego escribe.

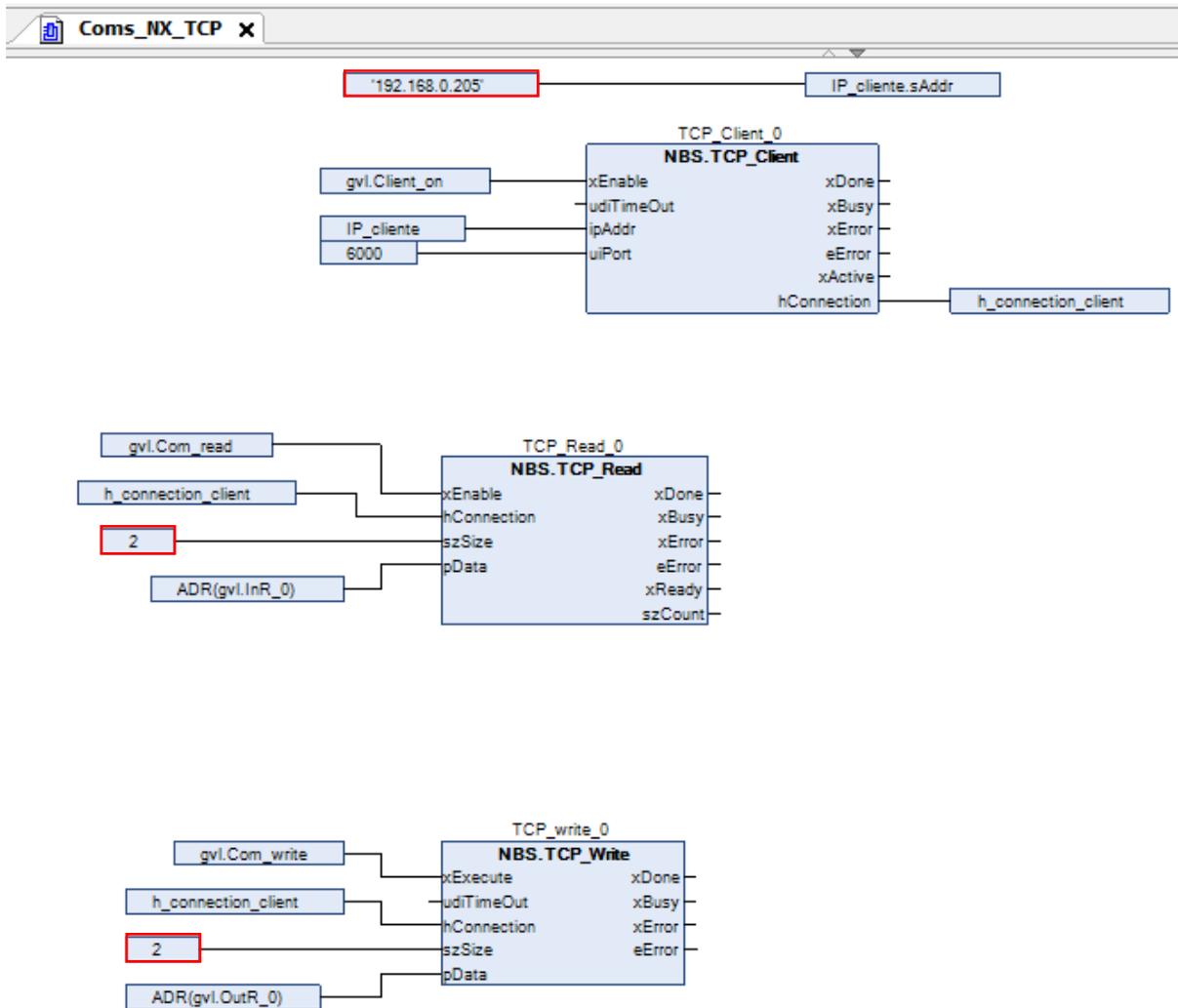


Imagen 32. Comunicaciones NX-TCP

El programa de Comunicaciones lo que hace es conectarse con NX. Lo único que es variable aquí es la IP del ordenador. Como se puede apreciar en la imagen, el segundo bloque se encarga de la lectura de datos y el tercero realiza la escritura de datos. El número de registros dedicados a entradas y salidas en este caso sería 2, pero puede variar dependiendo de si se necesita comunicar más o menos datos.

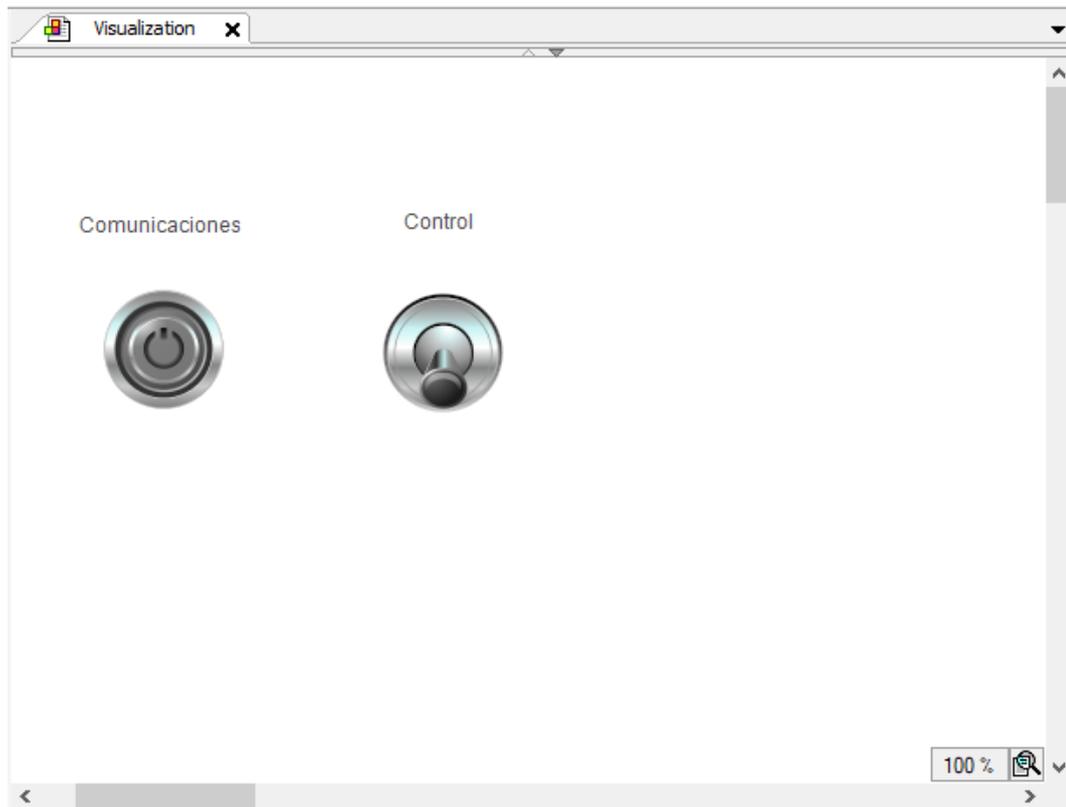


Imagen 33. Botones de Start

Para poder iniciar tanto la comunicación con NX como el GRAFCET del prensado, se crean estos dos pulsadores. El que se encuentra a la izquierda se emplea para iniciar la comunicación entre NX y CODESYS, mientras que el interruptor de la derecha es para iniciar la etapa de prensado. Entonces, una vez esté todo listo (definidas entradas y salidas, desarrollados el GRAFCET y el diagrama LADDER y terminado el escenario de simulación en NX) se pulsará primero el botón que permite la comunicación entre programas y posteriormente el que da inicio al proceso de prensado.

3.9. Modelado 3D en Siemens NX

El primer elemento a modelar es la tabla de *skate* con las medidas especificadas en el apartado 3.3. Para ello, primero se genera uno de los bloques de 7 láminas que sale de la etapa de prensado, es decir, la tabla prensada, pero sin la forma del contorno.

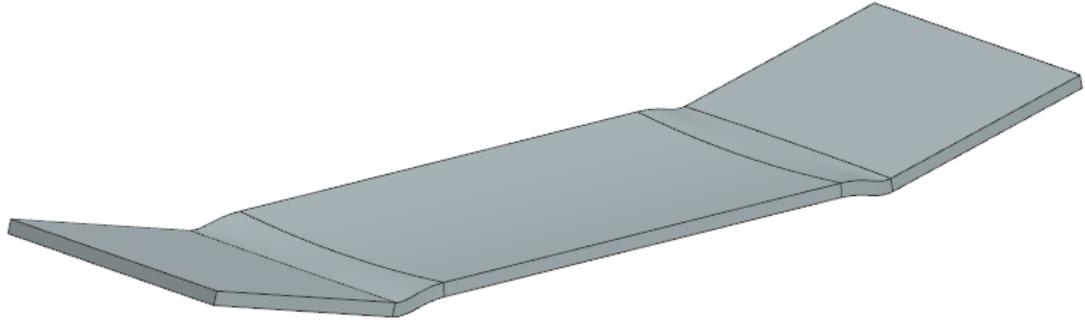


Imagen 34. Tabla obtenida tras el prensado

Como de cada molde salen 5 tablas, se apilan y se obtiene el siguiente bloque.

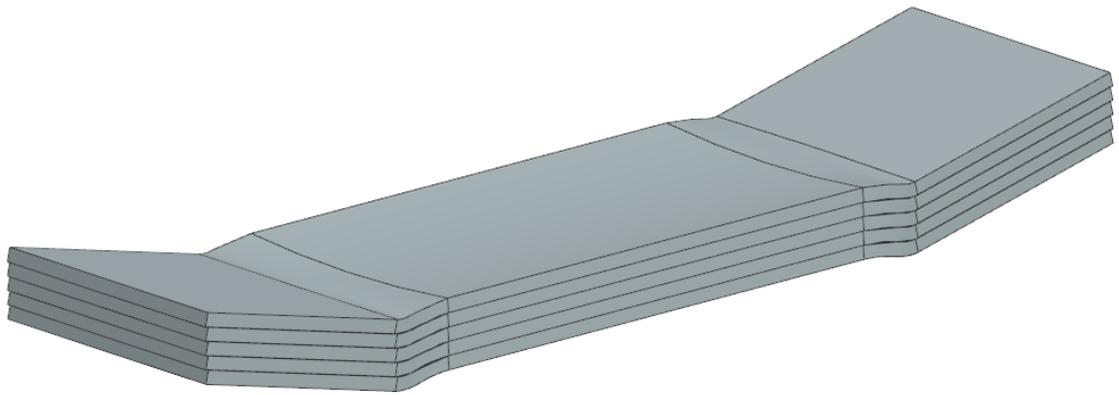


Imagen 35. Bloque prensado de 5 tablas

Para conseguir la forma curva de la tabla, esta pieza se ha modelado mediante superficies y para darle el contorno redondeado propio del *skate*, se corta mediante otra superficie. Además, también se modelan los agujeros para los ejes.

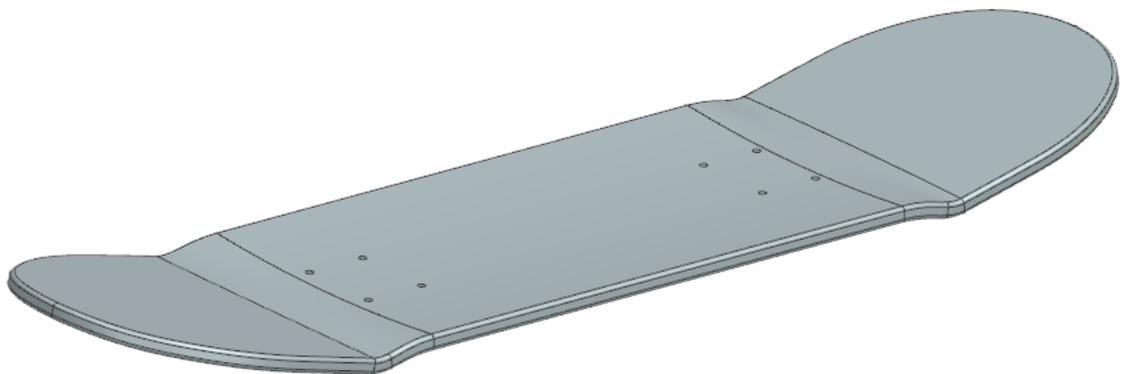


Imagen 36. Tabla de skate

A partir de esta, se obtiene el molde. Primero su parte inferior y posteriormente la superior.

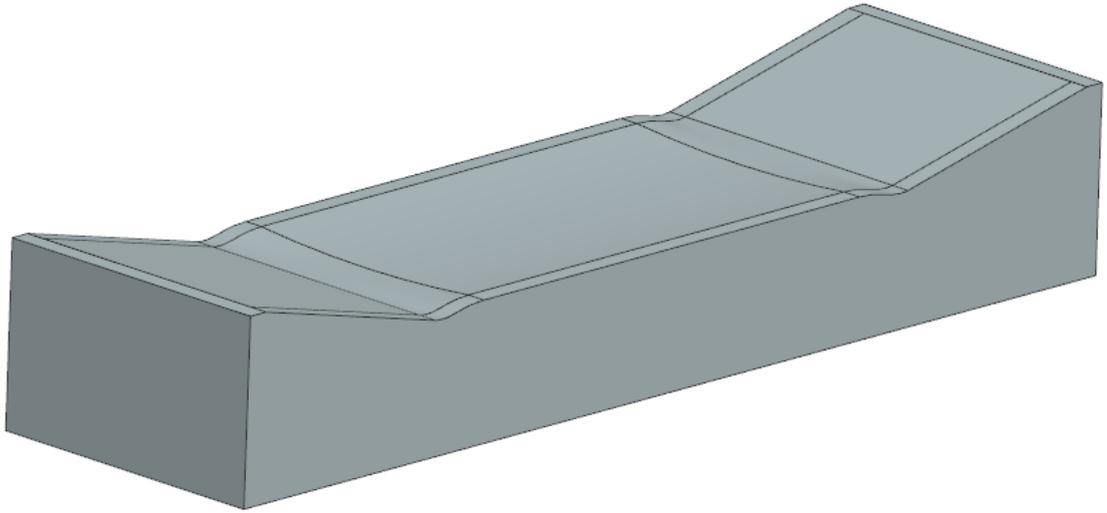


Imagen 37. Molde inferior

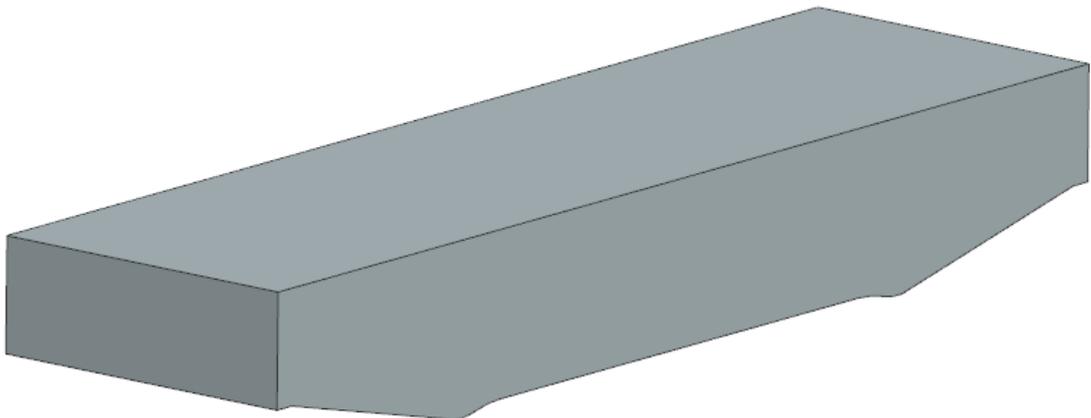


Imagen 38. Molde superior

Una vez se han modelado ambas partes del molde, se realiza un ensamblaje para formar el mole completo.

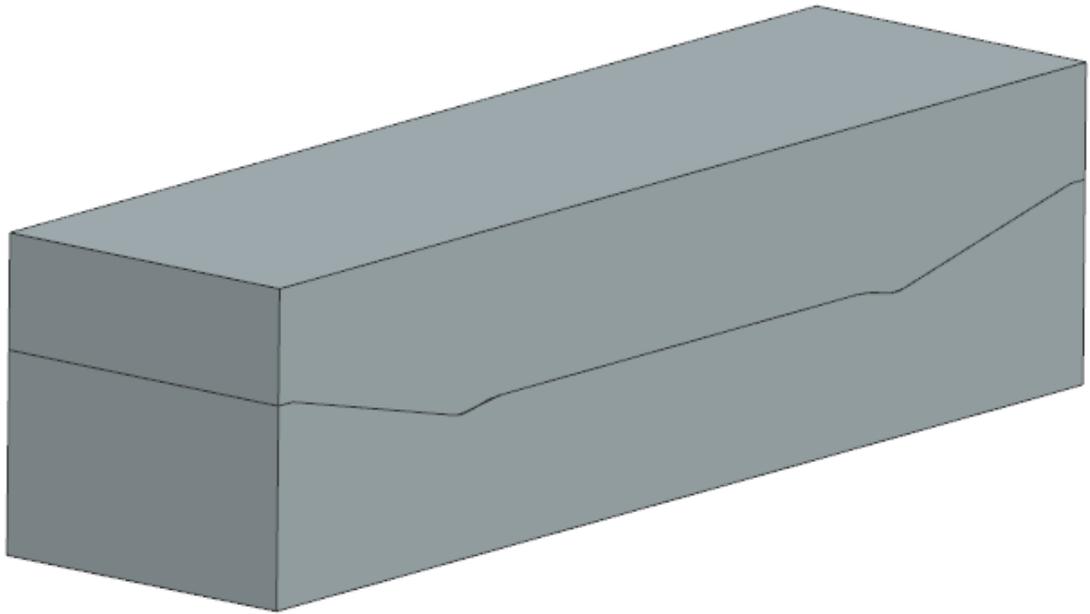


Imagen 39. Molde cerrado

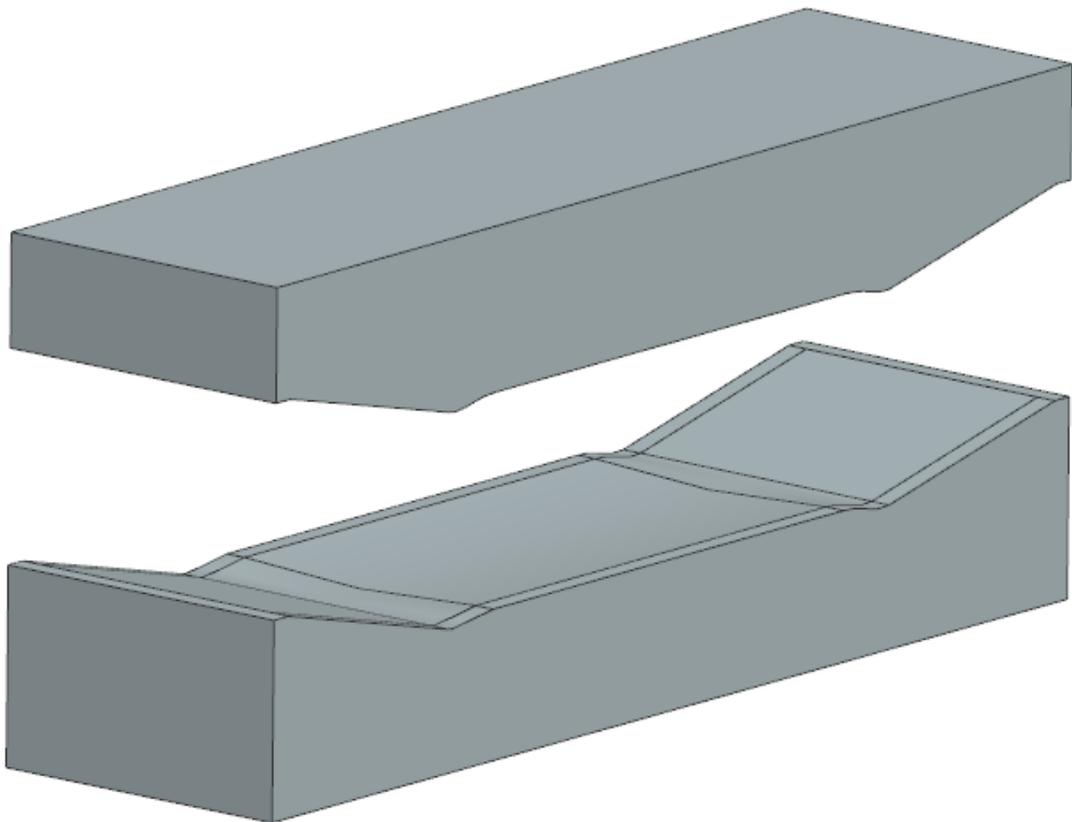


Imagen 40. Molde abierto

Como se ha mencionado en apartados anteriores, en este trabajo se van a prensar 25 tablas a la vez, por lo que se tendrán 5 moldes en la etapa de prensado y 35 láminas por molde. Las láminas de madera van a medir 865 x 230 x 1,5 mm.

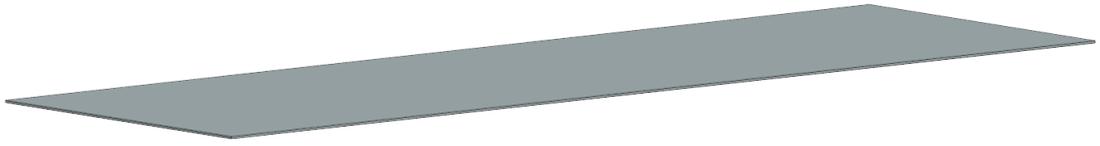


Imagen 41. Lámina de madera de arce canadiense

Y en cada molde se tendrá el siguiente bloque.

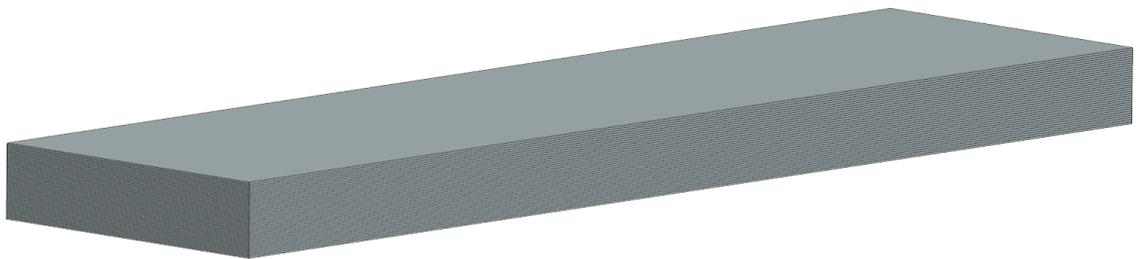


Imagen 42. Bloque de 35 láminas pre prensado

En el último apartado de esta memoria se encuentran los planos de las diferentes piezas. La tabla de *skate* estará definida con todas las cotas necesarias y los moldes y la tabla prensada incluirán las cotas restantes necesarias para definir sus dimensiones, sin indicar las que definen la forma del *skate*, ya que estas cotas se pueden obtener en el plano de este.

3.10. Automatización en el módulo MCD de Siemens NX

Una vez diseñados todos los elementos que toman acción en el proceso de prensado y conociendo el funcionamiento y el movimiento de estos, se procede a la definición de dichos elementos en el módulo MCD de NX.

El gemelo digital tiene que representar lo siguiente:

1. El bloque de 35 láminas se introduce dentro del molde.
2. El molde se cierra simulando el prensado, el cual duraría realmente unos 12 minutos, pero para ver el proceso de una forma más rápida se ha decidido poner una duración de 3 segundos.
3. Se abre el molde.
4. Salen de él las 5 tablas prensadas.
5. Se separan dichas tablas para que se pueda apreciar que son 5 tablas distintas.

Debido a que se simula un proceso de moldeo en el que el cuerpo que se introduce sufre una deformación, en el programa no se ha podido definir tan fácil como se ha explicado antes, ya que no es posible la transformación de objetos dentro del software. Por ello, se ha tenido que ingeniar una solución para que visualmente el proceso tenga coherencia.

En el molde de prensado, como ya se ha explicado entran 35 láminas de madera, pero salen prensadas en un bloque con la forma del *skate*, bloque del cual salen 5 tablas. Debido a esto, en la simulación se han tenido que emplear 3 bloques de 5 tablas, ya que, además de que el software no es capaz de representar la deformación de un cuerpo, tampoco funciona bien cuando se asignan dos juntas deslizantes a un mismo cuerpo, por lo que cada uno de ellos solamente puede tener movimiento en un único eje. Entonces, se tendría el primer bloque escondido en el molde superior, el segundo en el molde inferior y el tercero alejado a la derecha, consiguiendo así mostrarlos en la simulación únicamente cuando se desee.

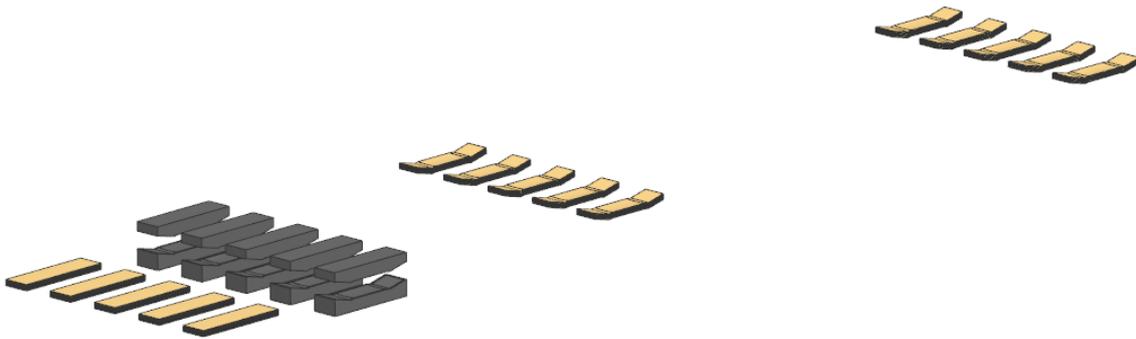


Imagen 43. Escenario inicial etapa de prensado

A continuación, se explica cómo se ha montado el escenario para simular la etapa de prensado:

1. Se introduce el bloque de 35 láminas en el molde de prensado.

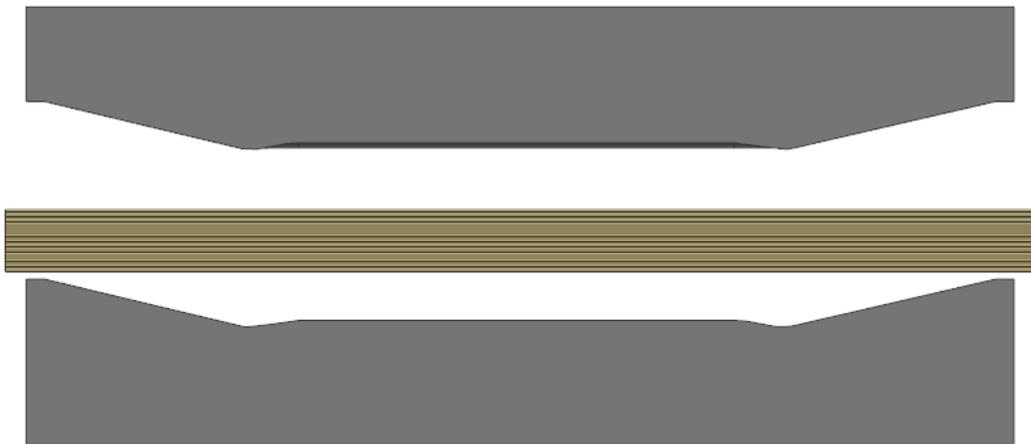


Imagen 44. 35 láminas introducidas en el molde (1)

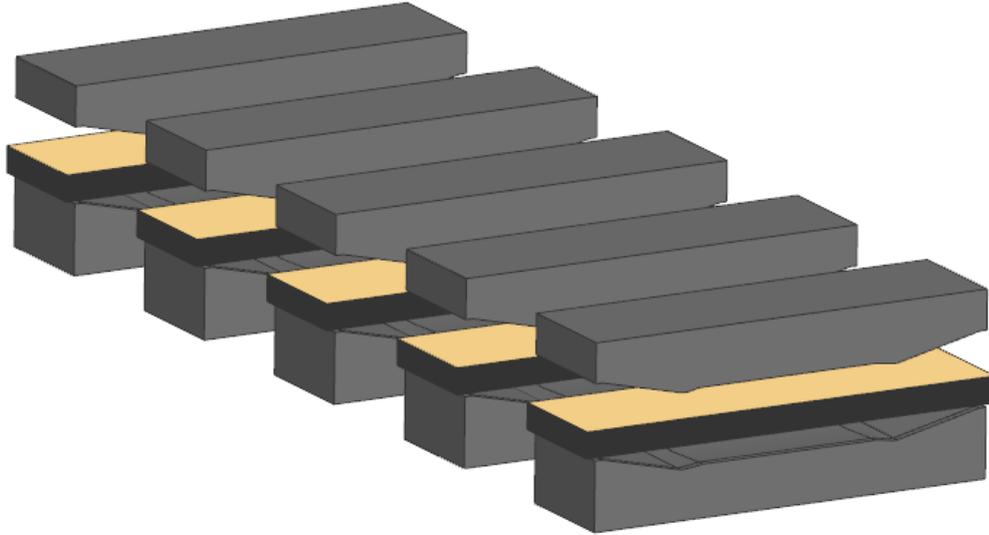


Imagen 45. 35 láminas introducidas en el molde (2)

2. Se cierra el molde y, a la misma vez, se baja el primer bloque de 5 tablas para que visualmente se pueda apreciar cómo se están prensando las láminas. Además de hacer desaparecer el bloque de 35 láminas, haciendo que se mueva a una velocidad muy elevada para que no se aprecie el movimiento.



Imagen 46. Molde cerrado (1)

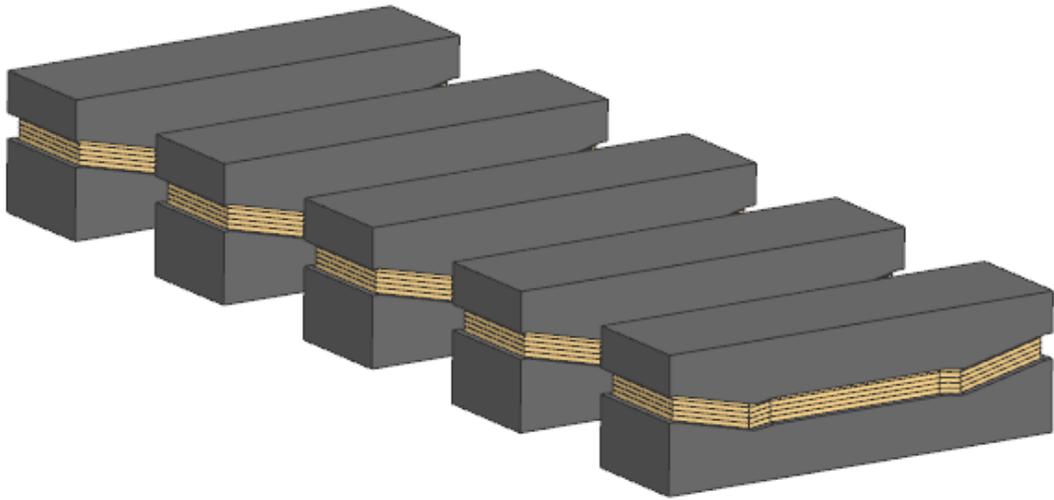


Imagen 47. Molde cerrado (2)

3. Tras unos segundos, que simulan la duración del prensado, se abre el molde. Cuando llega a su posición final, se hacen simultáneamente dos acciones: el primer bloque de tablas se hace desaparecer (mandándolo hacia arriba con una velocidad muy alta) y se mueve hacia arriba el segundo bloque de 5 tablas, el cual se queda justo en la mitad del molde.

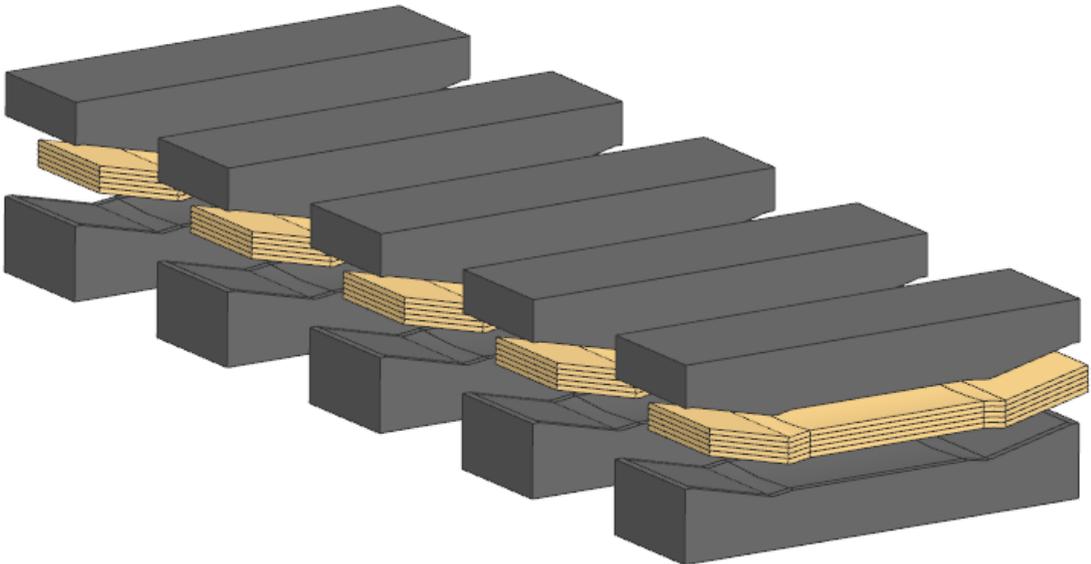


Imagen 48. Molde abierto después del prensado

4. Entonces, el tercer bloque de 5 tablas, el cual está situado muy a la derecha para que no se vea inicialmente, aparece al instante justo en la misma posición donde se encuentra el segundo bloque de 5 tablas (con la misma táctica de asignarle una velocidad muy elevada para que no se aprecie el movimiento). Se hace desaparecer

al segundo bloque (es decir, se envía a su posición inicial: escondido en la parte inferior del molde) y el tercer bloque empieza a moverse hacia la derecha.

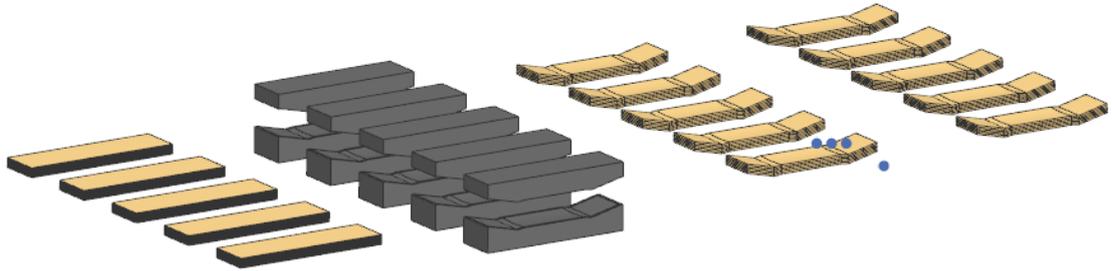


Imagen 49. Bloque de 5 láminas saliendo del molde

5. Una vez que este tercer bloque ha pasado por las 5 tablas que hay apiladas un poco a la derecha del molde, estas se separan para que se aprecie que este bloque está formado por 5 tablas, las cuales han de ser separadas posteriormente.

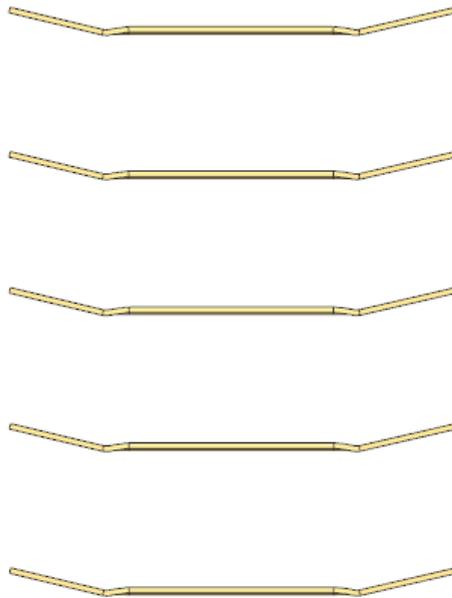


Imagen 50. Tablas separadas

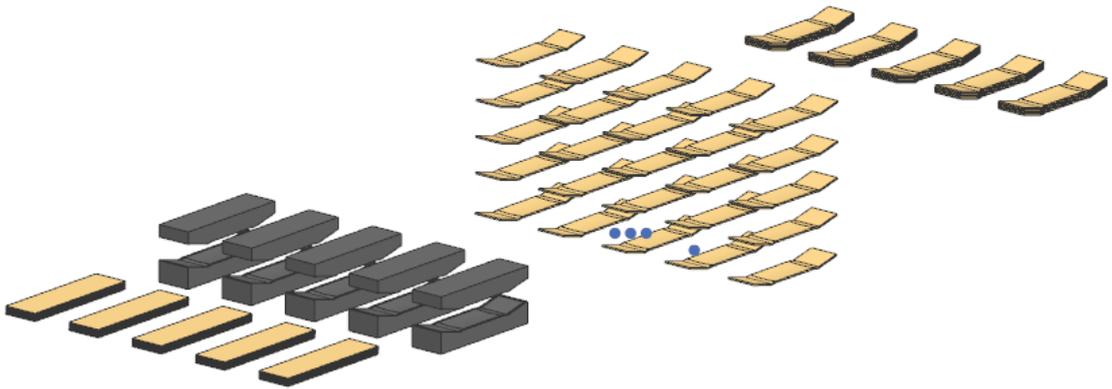


Imagen 51. Plano general con las tablas separadas

Para que se muevan los cuerpos, hay que definir cada uno de los movimientos que se producen mediante los distintos tipos de juntas y restricciones que condicionan los grados de libertad de cada uno de los actuadores y los respectivos sensores.

Primero se crean tantos cuerpos rígidos como piezas hay con movimiento en la simulación del prensado, es decir, son cuerpos rígidos el bloque de 35 láminas, la parte superior del molde (la inferior permanece quieta), los 3 bloques de las 5 tablas ya prensadas y 4 de las 5 tablas individuales que se separan al final.

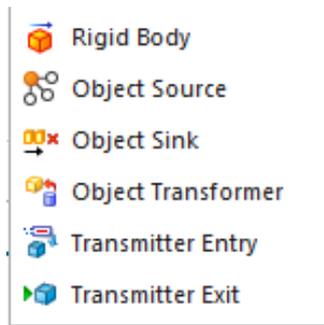


Imagen 52. Componentes mecánicos que permite definir el programa

Physics Navigator		
Name	Type	
Basic Physics		
bloq1_5tablas	Rigid Body	<input checked="" type="checkbox"/>
bloq2_5tablas	Rigid Body	<input checked="" type="checkbox"/>
bloq3_5tablas	Rigid Body	<input checked="" type="checkbox"/>
bloq35	Rigid Body	<input checked="" type="checkbox"/>
molde	Rigid Body	<input checked="" type="checkbox"/>
tabla 1	Rigid Body	<input checked="" type="checkbox"/>
tabla 2	Rigid Body	<input checked="" type="checkbox"/>
tabla 4	Rigid Body	<input checked="" type="checkbox"/>
tabla 5	Rigid Body	<input checked="" type="checkbox"/>

Imagen 53. Cuerpos rígidos (1)

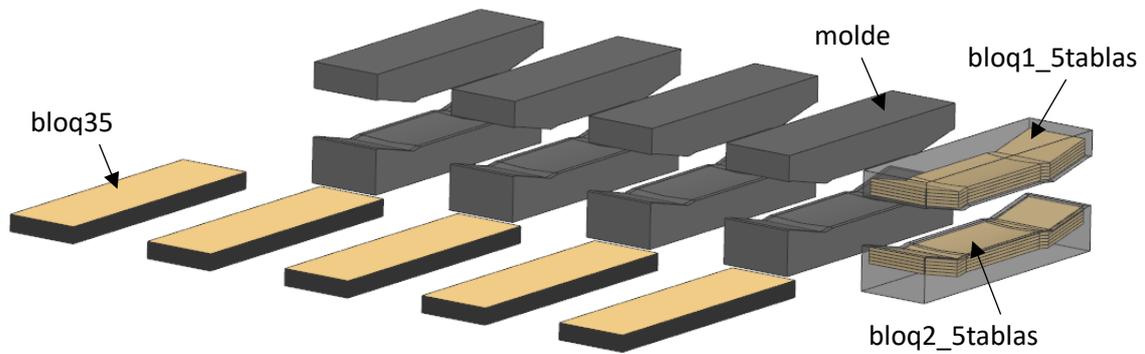


Imagen 54. Cuerpos rígidos (2)

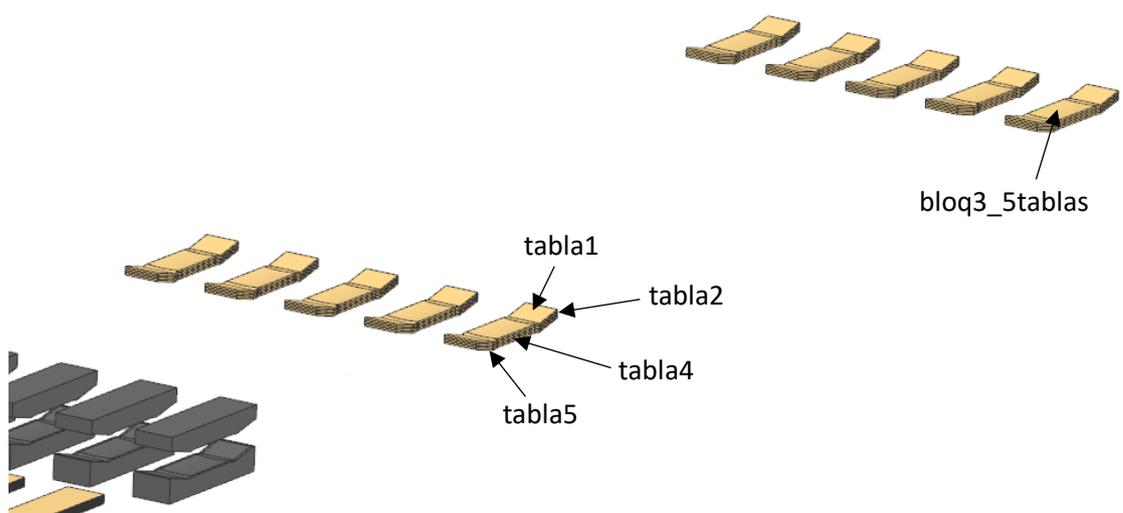


Imagen 55. Cuerpos rígidos (3)

Para restringir los grados de libertad entre los cuerpos rígidos hay que determinar el tipo de junta que tiene cada movimiento. En este caso todas las juntas son de tipo deslizante, la cual permite que el cuerpo se desplace a lo largo de un eje lineal fijo definido por el usuario. Así se restringen todos los grados de libertad menos el de traslación. Además, también se puede restringir el movimiento asignándole el rango de distancia en el que se va a mover.

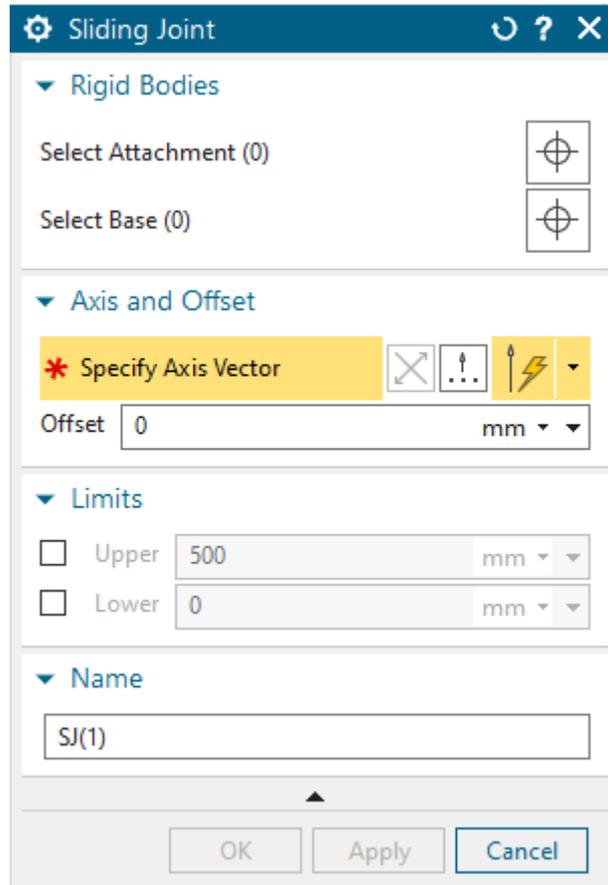


Imagen 56. Ventana del comando junta deslizante

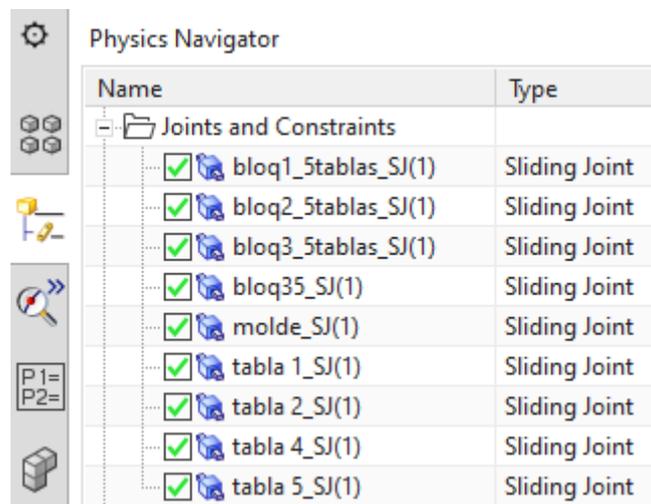


Imagen 57. Juntas de movimiento

Una vez se han definido las juntas de los cuerpos rígidos, se han de definir los componentes eléctricos, es decir, los sensores y los accionadores. El tipo de sensor que se emplea en todos los casos es el *Sensor de posición* y los accionadores son del tipo *Control de posición*.

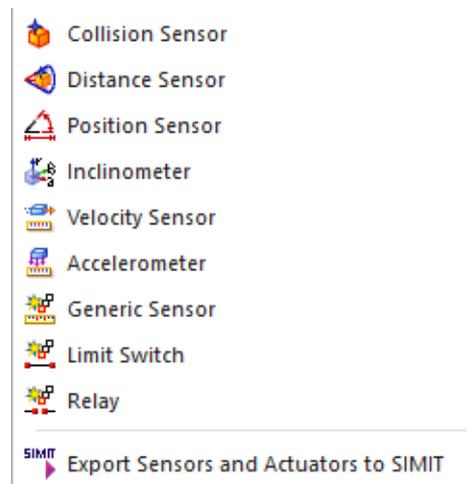


Imagen 58. Componentes eléctricos que permite definir el programa

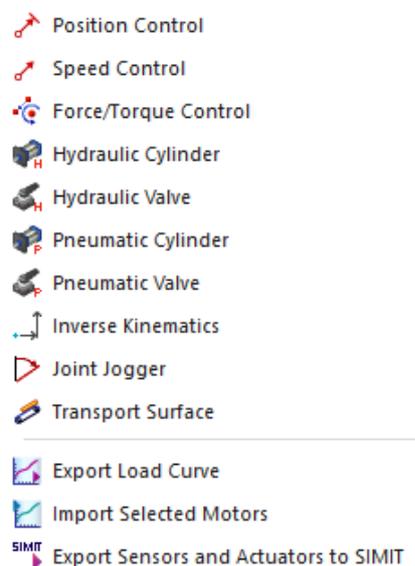


Imagen 59. Componentes eléctricos que permite definir el programa

Los sensores se establecen sobre los actuadores, no sobre los cuerpos rígidos, ya que, cuando el actuador se desplaza la distancia especificada, el sensor proporciona una señal que permite condicionar el movimiento.

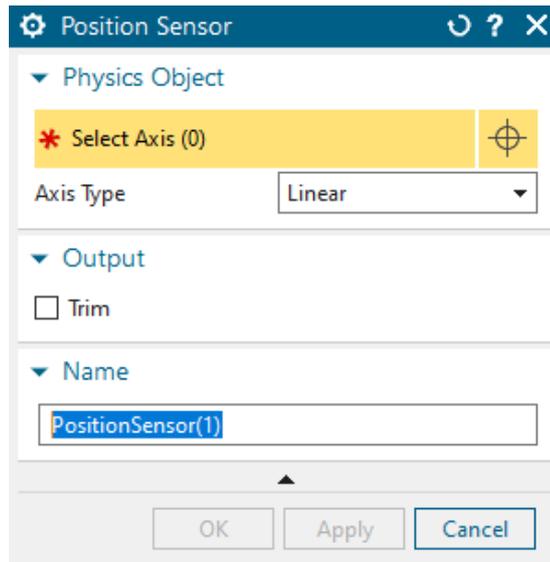


Imagen 60. Ventana del comando sensor de posición

Cada uno de los cuerpos tendrá dos movimientos: izquierda y derecha si se mueve horizontalmente o arriba y abajo si lo hace de manera vertical, lo que supone dos actuadores. Sin embargo, los sensores asociados a cada actuador variarán en función de si son o no necesarios para el control del sistema.

Physics Navigator		
Name	Type	
Sensors and Actuators		
<input checked="" type="checkbox"/> bloq1_5tablas_baja_SJ(1)_PC(2)	Position Control	
<input checked="" type="checkbox"/> bloq1_5tablas_sube_SJ(1)_PC(1)	Position Control	
<input checked="" type="checkbox"/> bloq2_5tablas_baja_SJ(1)_PC(1)	Position Control	
<input checked="" type="checkbox"/> bloq2_5tablas_sube_SJ(1)_PC(2)	Position Control	
<input checked="" type="checkbox"/> bloq3_5tablas_der_SJ(1)_PC(1)	Position Control	
<input checked="" type="checkbox"/> bloq3_5tablas_izq_SJ(1)_PC(2)	Position Control	
<input checked="" type="checkbox"/> bloq35_der_SJ(1)_PC(1)	Position Control	
<input checked="" type="checkbox"/> bloq35_izq_SJ(1)_PC(2)	Position Control	
<input checked="" type="checkbox"/> molde_abrir_SJ(1)_PC(1)	Position Control	
<input checked="" type="checkbox"/> molde_cerrar_SJ(1)_PC(1)	Position Control	
<input checked="" type="checkbox"/> sensor bloq1_5tablas	Position Sensor	
<input checked="" type="checkbox"/> sensor bloq2_5tablas	Position Sensor	
<input checked="" type="checkbox"/> sensor bloq3_5tablas	Position Sensor	
<input checked="" type="checkbox"/> sensor bloq35	Position Sensor	
<input checked="" type="checkbox"/> sensor molde	Position Sensor	
<input checked="" type="checkbox"/> sensor tablas separadas	Position Sensor	

Imagen 61. Sensores y actuadores (1)

<input checked="" type="checkbox"/>		tabla 1_baja_SJ(1)_PC(2)	Position Control
<input checked="" type="checkbox"/>		tabla 1_sube_SJ(1)_PC(1)	Position Control
<input checked="" type="checkbox"/>		tabla 2_baja_SJ(1)_PC(2)	Position Control
<input checked="" type="checkbox"/>		tabla 2_sube_SJ(1)_PC(1)	Position Control
<input checked="" type="checkbox"/>		tabla 4_baja_SJ(1)_PC(2)	Position Control
<input checked="" type="checkbox"/>		tabla 4_sube_SJ(1)_PC(1)	Position Control
<input checked="" type="checkbox"/>		tabla 5_baja_SJ(1)_PC(2)	Position Control
<input checked="" type="checkbox"/>		tabla 5_sube_SJ(1)_PC(1)	Position Control

Imagen 62. Sensores y actuadores (2)

Por último, se definen las señales que van a conectarse con CODESYS. Para ello, primero se crea una tabla de señales, en la cual se le da el nombre correspondiente a cada una. Una vez terminada esta tabla, se asigna a cada sensor y a cada actuador una señal diferente.

Name	Type
<input checked="" type="checkbox"/> bloq1_5tablas_baja	Signal
<input checked="" type="checkbox"/> bloq1_5tablas_sube	Signal
<input checked="" type="checkbox"/> bloq2_5tablas_baja	Signal
<input checked="" type="checkbox"/> bloq2_5tablas_sube	Signal
<input checked="" type="checkbox"/> bloq3_5tablas_der	Signal
<input checked="" type="checkbox"/> bloq3_5tablas_izq	Signal
<input checked="" type="checkbox"/> bloq35_der	Signal
<input checked="" type="checkbox"/> bloq35_izq	Signal
<input checked="" type="checkbox"/> control_18	Signal
<input checked="" type="checkbox"/> control_19	Signal
<input checked="" type="checkbox"/> control_20	Signal
<input checked="" type="checkbox"/> control_21	Signal
<input checked="" type="checkbox"/> control_22	Signal
<input checked="" type="checkbox"/> control_23	Signal
<input checked="" type="checkbox"/> molde_abrir	Signal
<input checked="" type="checkbox"/> molde_cerrar	Signal

Imagen 63. Señales de los actuadores (1)

<input checked="" type="checkbox"/>		tabla1_baja	Signal
<input checked="" type="checkbox"/>		tabla1_sube	Signal
<input checked="" type="checkbox"/>		tabla2_baja	Signal
<input checked="" type="checkbox"/>		tabla2_sube	Signal
<input checked="" type="checkbox"/>		tabla4_baja	Signal
<input checked="" type="checkbox"/>		tabla4_sube	Signal
<input checked="" type="checkbox"/>		tabla5_baja	Signal
<input checked="" type="checkbox"/>		tabla5_sube	Signal

Imagen 64. Señales de los actuadores (2)

Name	Type
posicion_bloq1_5tablas	Signal Adapter
s_bloq1_5tablas_abajo	Signal
posicion_bloq2_5tablas	Signal Adapter
s_bloq2_5tablas_abajo	Signal
s_bloq2_5tablas_arriba	Signal
posicion_bloq3_5tablas	Signal Adapter
s_bloq3_5tablas_der	Signal
s_bloq3_5tablas_izq	Signal
posicion_bloq35	Signal Adapter
s_bloq35_der	Signal
posicion_molde	Signal Adapter
s_molde_abierto	Signal
s_molde_cerrado	Signal
posicion_tablas_separadas	Signal Adapter
s_tablas_separadas	Signal

Imagen 65. Señales de los sensores

Entonces, se abre la configuración del servidor de señales, con el cual NX se convierte en un servidor de señales para cualquier sistema que venga de fuera. En esta configuración, se abre el apartado del TCP y se asigna el bit de entrada (si es un accionador) o de salida (si es un sensor) a cada uno de los componentes electrónicos que también estarán en CODESYS, por lo que cada componente deberá tener asignado el mismo bit en ambos programas, de lo contrario la conexión no se produciría correctamente.

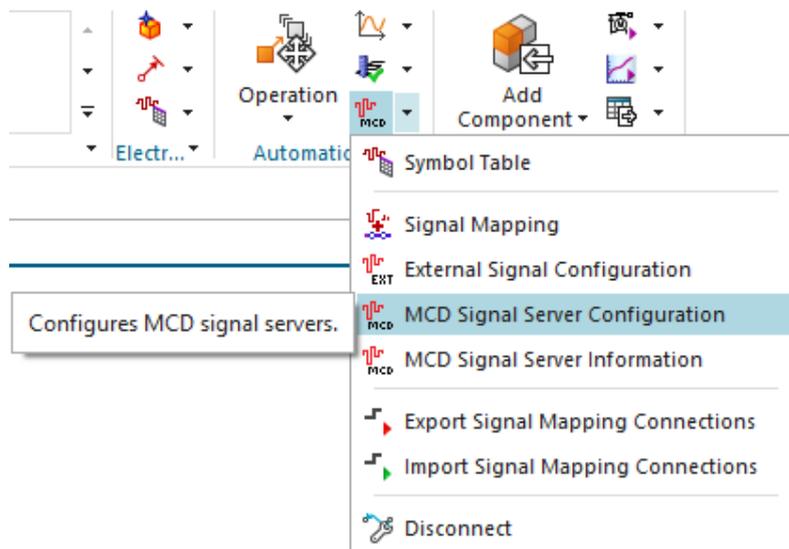


Imagen 66. Configuración del servidor de señales MCD (1)

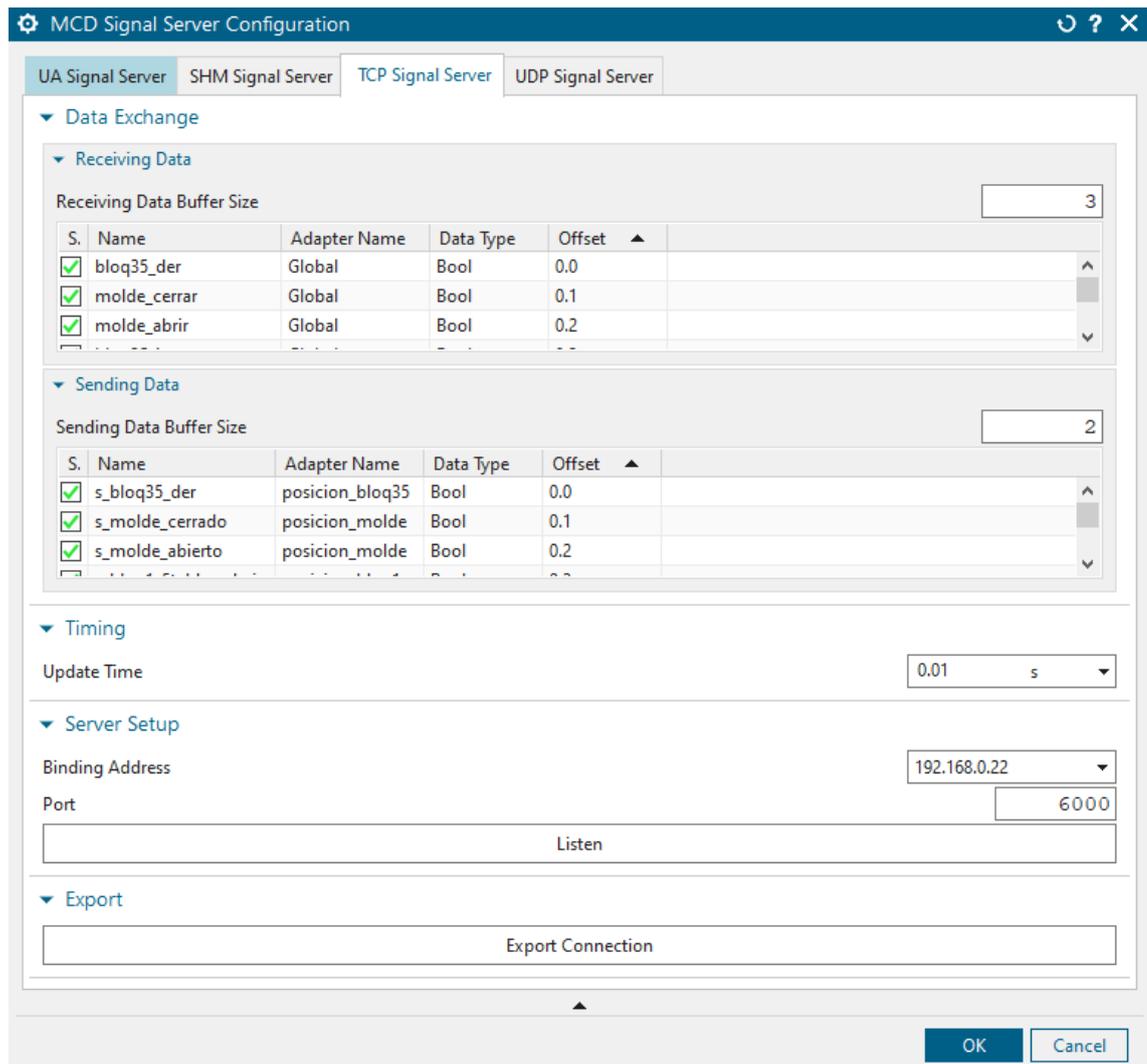


Imagen 67. Configuración del servidor de señales MCD (2)

En la imagen anterior, se puede observar que se han destinado 3 registros para la información de entrada y 2 para la de salida. En este cuadro de diálogo, como se ha dicho anteriormente, se asignan los bits a cada entrada y salida y también se debe indicar la dirección IP y el puerto en los que se trabaja.

Una vez están todos los datos correctos, se pulsa el botón *Listen*, se cierra el cuadro de diálogo y se le da *Play*. De esta manera, el programa ya está preparado para recibir órdenes del control y reproducirlas en la simulación.

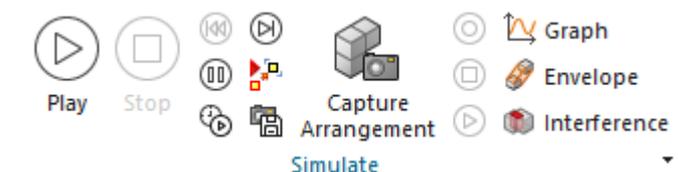


Imagen 68. Controles de simulación

3.11. GRAFCET Y LADDER del proceso de prensado

La automatización de la etapa de prensado se ha desarrollado mediante un GRAFCET y un diagrama LADDER. Este último se ha empleado para poder definir los actuadores como monoestables, es decir, mientras esté activado el accionador se llevará a cabo una acción (por ejemplo, cerrar el molde de prensado) y al desactivarlo se habilitará automáticamente la acción contraria sin tener que indicarlo en el GRAFCET (en el caso del molde, se abrirá hasta llegar a su posición inicial).

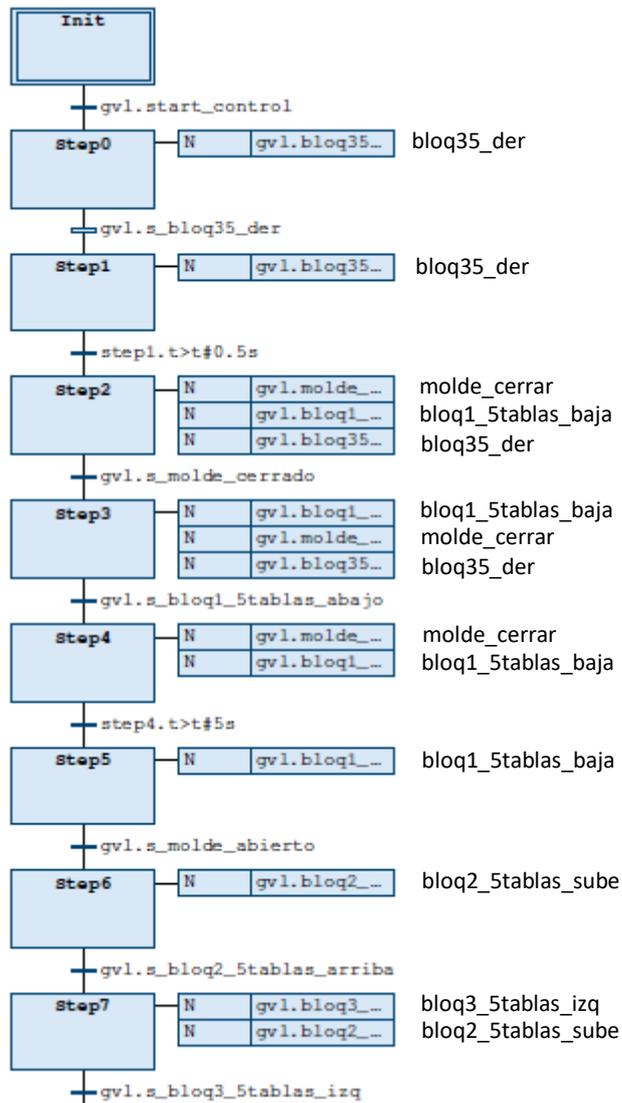


Imagen 69. GRAFCET (1)

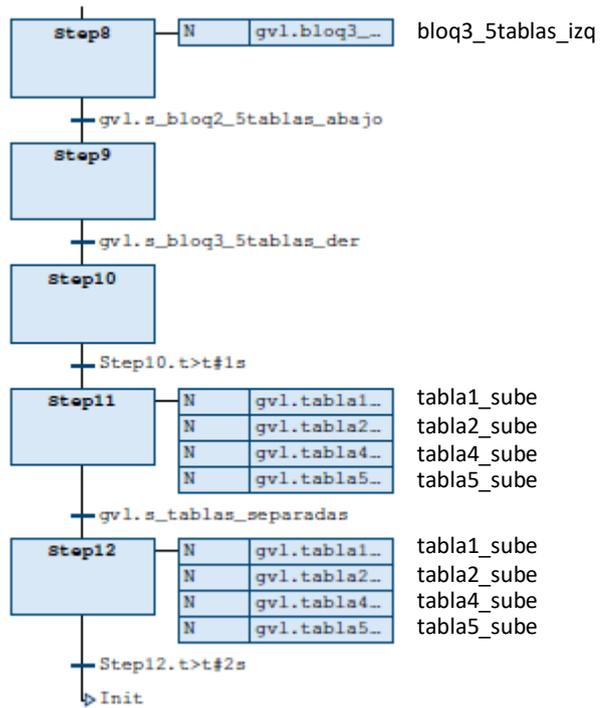


Imagen 70. GRAFCET (2)

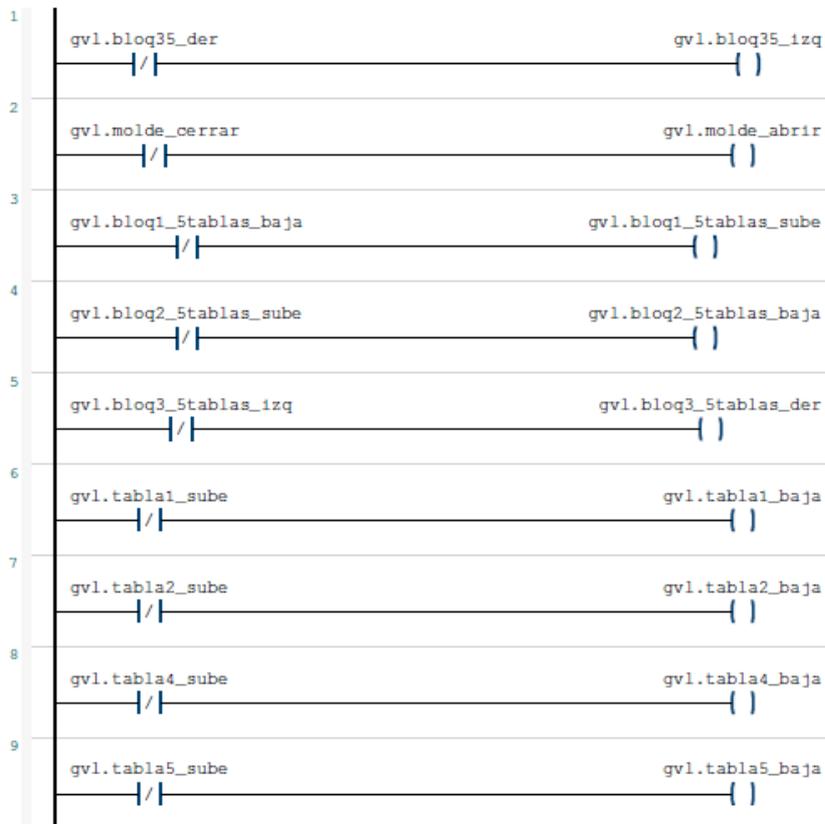


Imagen 71. Diagrama LADDER

3.12. Entradas y salidas de la etapa de prensado

Antes de desarrollar el GRAFCET y el diagrama LADDER, se deben definir las entradas y salidas que se van a emplear en el control, las cuales deben coincidir con las definidas en el módulo MCD. Se han recogido en la siguiente tabla.

Tabla 3. Entradas etapa de prensado

<i>Dir</i>	<i>Entradas</i>	<i>Descripción</i>
%IX0.0	s_bloq35_der	Detecta el bloque de 35 láminas dentro del molde
%IX0.1	s_molde_cerrado	Detecta cuando el molde está cerrado
%IX0.2	s_molde_abierto	Detecta cuando el molde está abierto
%IX0.3	s_bloq1_5tablas_abajo	Detecta cuando el primer bloque de 5 tablas ha llegado a su posición más baja (sobre la parte inferior del molde)
%IX0.4	s_bloq2_5tablas_abajo	Detecta el segundo bloque de 5 tablas en su posición más baja (escondido en la parte inferior del molde)
%IX0.5	s_bloq2_5tablas_arriba	Detecta el segundo bloque de 5 tablas en su posición más alta (mitad de las dos partes del molde)
%IX0.6	s_bloq3_5tablas_der	Detecta al tercer bloque de 5 tablas en su posición máxima (muy a la derecha para que no se vea en un principio)
%IX0.7	s_bloq3_5tablas_izq	Detecta al tercer bloque de 5 tablas en su posición mínima (dentro del molde una vez abierto)
%IX1.0	s_tablas_separadas	Detecta cuando la tabla 1 ha llegado a su posición máxima (se han separado todas las tablas)

Tabla 4. Salidas etapa de prensado

<i>Dir</i>	<i>Salidas</i>	<i>Descripción</i>
%QX0.0	bloq35_der	El bloque de 35 láminas se mueve hacia la izquierda
%QX0.1	molde_cerrar	Se cierra el molde
%QX0.2	molde_abrir	Se abre el molde
%QX0.3	bloq35_izq	El bloque de 35 láminas se mueve hacia la derecha
%QX0.4	bloq1_5tablas_baja	El 1er bloque de 5 tablas baja
%QX0.5	bloq1_5tablas_sube	El 1er bloque de 5 tablas sube
%QX0.6	bloq2_5tablas_baja	El 2º bloque de 5 tablas baja
%QX0.7	bloq2_5tablas_sube	El 2º bloque de 5 tablas sube
%QX1.0	bloq3_5tablas_der	El 3er bloque de 5 tablas se mueve hacia la derecha
%QX1.1	bloq3_5tablas_izq	El 3er bloque de 5 tablas se mueve hacia la izquierda
%QX1.2	tabla1_sube	Tabla 1 sube
%QX1.3	tabla1_baja	Tabla 1 baja
%QX1.4	tabla2_sube	Tabla 2 sube
%QX1.5	tabla2_baja	Tabla 2 baja
%QX1.6	tabla4_sube	Tabla 4 sube
%QX1.7	tabla4_baja	Tabla 4 baja
%QX2.0	tabla5_sube	Tabla 5 sube
%QX2.1	tabla5_baja	Tabla 5 baja

3.13. Simulación estructural mediante el método de elementos finitos con Siemens NX

Como punto extra para este TFM, se ha decidido realizar una simulación estructural sobre la tabla. De esta manera se puede comprobar si la tabla de *skate* es capaz de soportar el peso de una persona en distintas posiciones. Para ello se realiza una simulación por el método de elementos finitos (MEF).

Como la tabla de *skate* está formada por 7 láminas de madera, la manera ideal de hacerlo sería mediante un laminado, con el cual se definen las propiedades y orientación de cada capa para ver así el comportamiento de cada capa y las tensiones que soporta. Sin embargo, debido a que este estudio conlleva una cantidad importante de tiempo, se va a realizar una simplificación: se va a considerar la tabla como un cuerpo sólido. Debido a esto, los resultados que se van a obtener no son exactamente los reales, pero se van a obtener unos resultados orientativos para tener una idea aproximada de cómo se comportaría la tabla.

Para realizar este estudio se emplea el módulo Pre/Post, que se encuentra en la parte de simulaciones.



Imagen 72. Módulo Pre/Post

Para realizar la simulación, se necesita indicar dónde apoya la tabla. Como en este TFM no se ha abordado el modelado de todos los componentes del skate, no disponemos de los ejes, plato base ni ruedas. Por esta razón, se han modelado dos prismas rectangulares para simular el apoyo, a los cuales se les va a asignar el material aluminio.

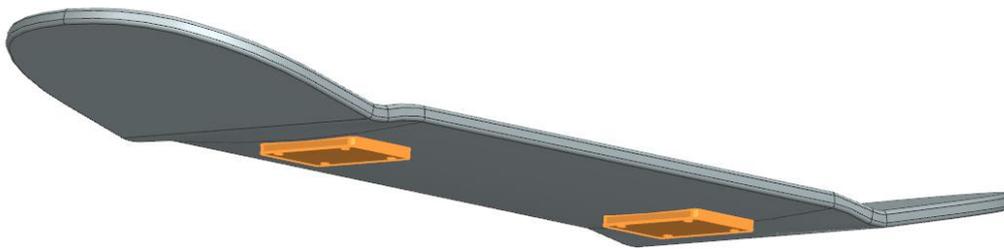


Imagen 73. Apoyo de la tabla sobre los ejes (1)

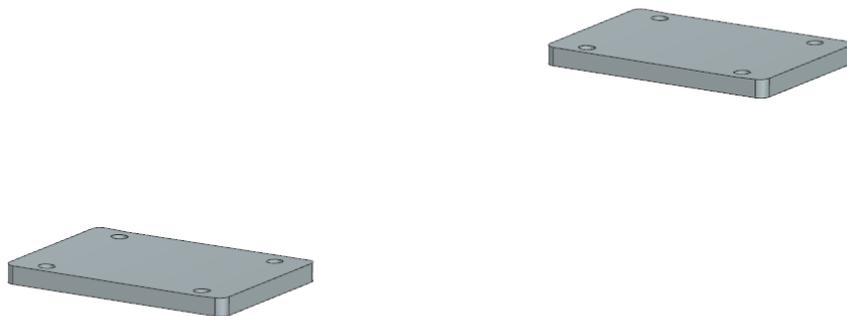


Imagen 74. Apoyo de la tabla sobre los ejes (2)

Una vez dentro del módulo *Pre/Post*, se crea una nueva simulación en la que se va a aplicar el MEF. Lo primero que se realiza es la idealización de las piezas, ya que hay que simplificarlas para reducir el coste computacional y hay que distinguir el área central de la tabla para simular el caso de que la persona establezca todo su peso en dicha zona.

Para reducir el coste computacional se divide la tabla por la mitad, ya que existe simetría en el plano YZ, y para indicar la zona central de la tabla se utiliza el comando *Divide Face*, con el cual se divide la cara superior de la tabla con el croquis creado previamente. Se queda de la siguiente manera.

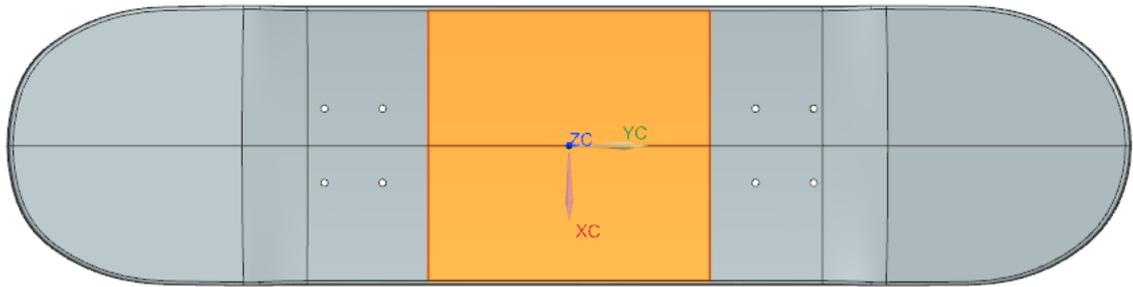


Imagen 75. Área de apoyo de la persona sobre la parte central de la tabla

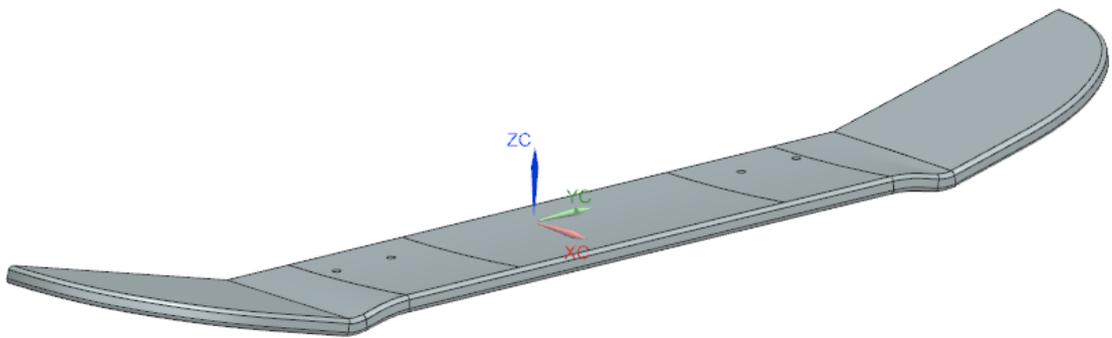


Imagen 76. Mitad sobre la que se va a realizar el mallado

Lo siguiente es la aplicación del mallado. Los cuerpos se mallan para poder realizar el MEF. A continuación, se muestran las características del mallado elegido para la tabla de *skate*.

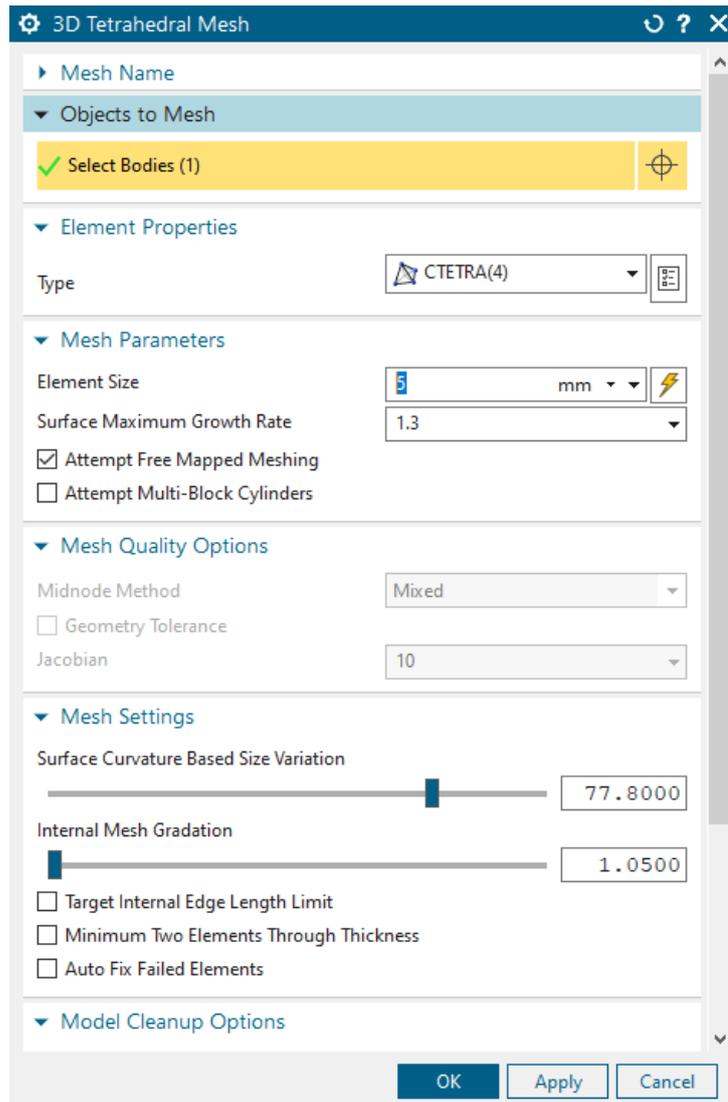


Imagen 77. Características del mallado

Se ha aplicado un mallado *3D Tetrahedral*. Se ha elegido un elemento tipo *CTETRA(4)* en vez de un *CTETRA(10)* (el cual se adaptaría mejor al cuerpo ya que tiene 10 nodos en vez de 4), debido a que con este último el comportamiento de la tabla era de menor rigidez y se disparaban las tensiones, incluso no convergiendo y tendiendo a infinito. Con el elemento de 4 nodos se obtienen unos resultados coherentes, aproximándose a un valor convergente próximo al real.

El tamaño de elemento elegido es de 5 mm. Y como la tabla presenta redondeos y agujeros, se decide refinar la malla en estas zonas. El tamaño de elemento con el que se refinan es de 2 mm. También se decide refinar la malla en la cara inferior de la tabla (con el mismo tamaño de elemento).

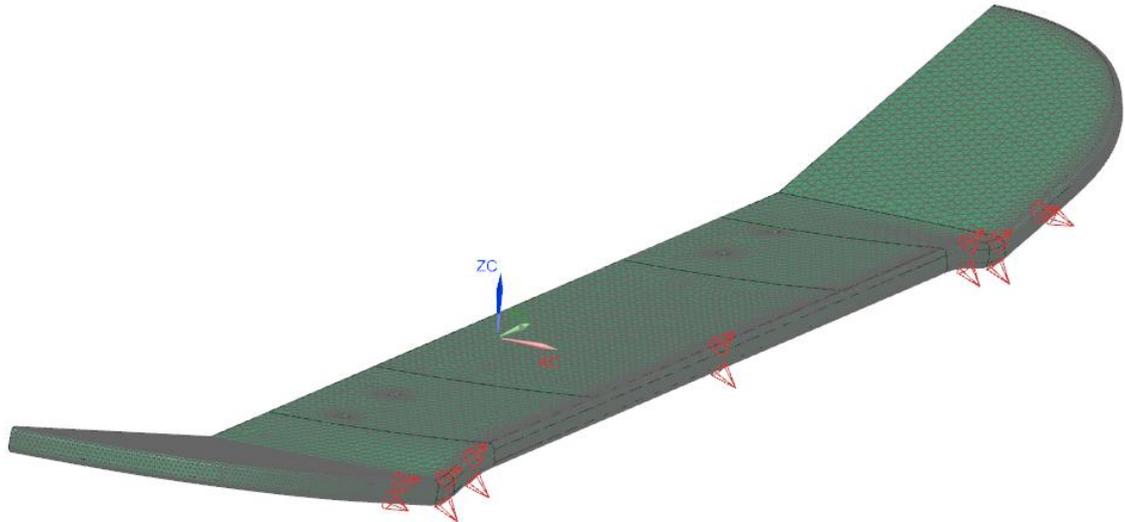


Imagen 78. Mallado de la tabla de skate y apoyos (1)

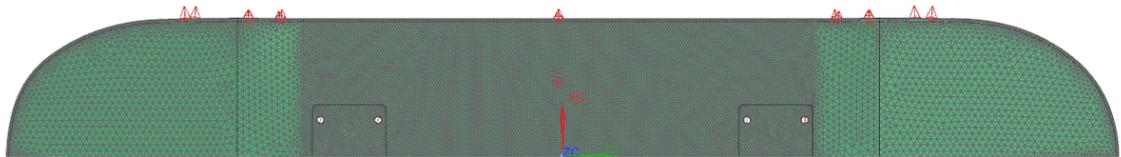


Imagen 79. Mallado de la tabla de skate y apoyos (2)

A la hora de asignar el material, la madera no se encuentra entre uno de los materiales ofrecidos por Siemens NX, por lo que hay que definirlo mediante sus propiedades mecánicas. La madera es un material ortótropo, ya que sus propiedades mecánicas son diferentes en cada uno de sus ejes principales, por lo que cada propiedad constará de 3 valores.

Los datos se han obtenido de un capítulo de un libro, encontrado en internet, que recoge las propiedades mecánicas de distintos tipos de madera. Sin embargo, las propiedades del arce han dado problemas en las simulaciones, ya que la tercera componente del módulo de rigidez (G232) no tiene ningún valor asignado y el software exige que el módulo de rigidez debe ser mayor que 0, por lo que no se puede dejar vacío ninguno de los valores.

Entonces, tras varias pruebas se decide escoger un tipo de madera muy similar al arce: el abedul amarillo (*yellow birch* en inglés), el cual es a veces empleado para la sustitución del arce. Las propiedades que se tienen son las siguientes.

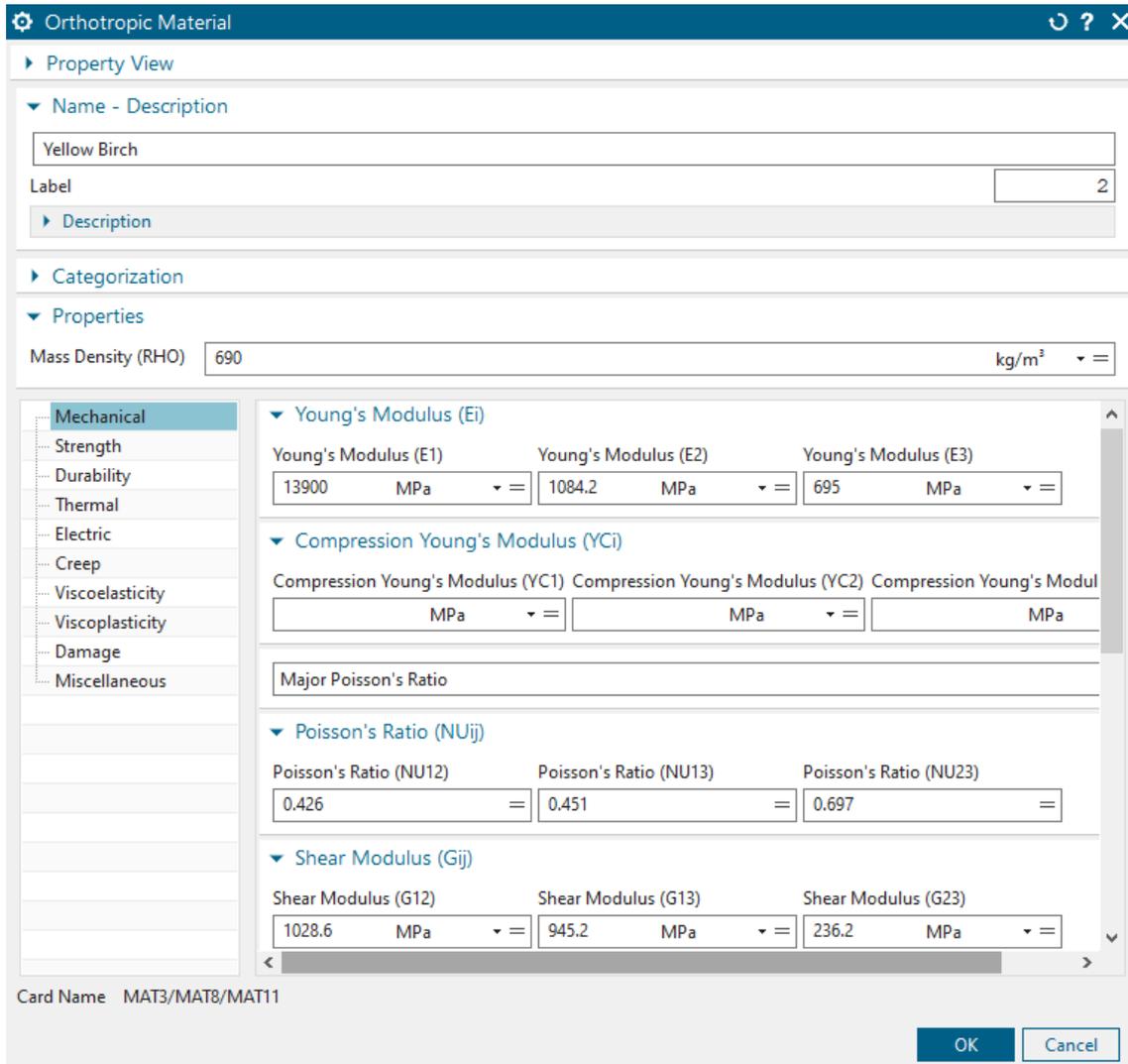


Imagen 80. Propiedades mecánicas del arce canadiense (1)

Para el mallado de los soportes se realiza de la misma manera. El mallado escogido es del mismo tipo, modificando únicamente el tamaño de elemento a 2 mm. El material asignado es el *Aluminum_5086*.

Además de mallar cada cuerpo, se ha de realizar un *Mesh Mating*, comando con el cual se conectan y asocian las mallas de todos ellos para simular que están juntos. Primero se realiza la conexión de un apoyo con la tabla y seguidamente se realiza lo mismo con el apoyo restante.

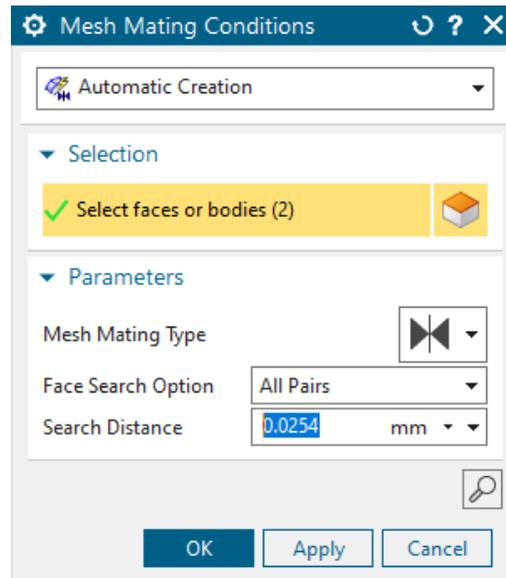


Imagen 81. Mesh mating entre los apoyos y la tabla

El último paso antes de hacer el cálculo y obtener los resultados es aplicar las restricciones y las fuerzas a las que estaría sometido el cuerpo. Se van a estudiar tres casos con distintos esfuerzos, pero las restricciones van a ser siempre las mismas: la restricción de simetría (ya que hemos partido el cuerpo por la mitad hay que indicarlo con esta restricción), la restricción fija sobre los apoyos y la restricción radial de los agujeros (pueden crecer axialmente y rotar, pero el radio es fijo, ya que en los agujeros estarían los tornillos).

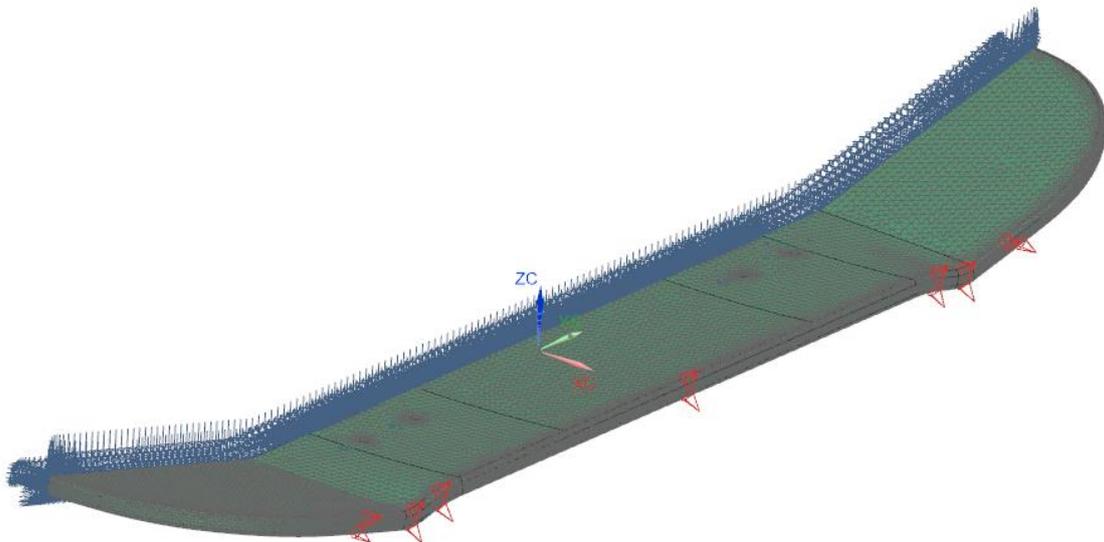


Imagen 82. Restricciones aplicadas a la tabla (1)

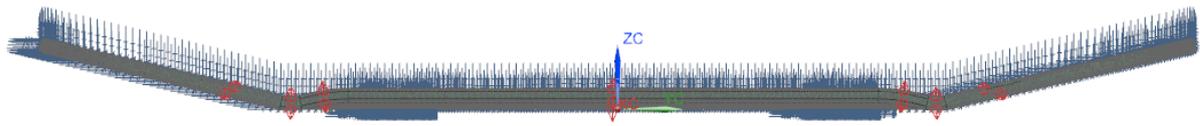


Imagen 83. Restricciones aplicadas a la tabla (2)

Ahora, dependiendo del esfuerzo al que se someta la tabla, se obtendrán diferentes resultados. De otra fuente se obtiene que la resistencia a flexión del arco es de unos 107 MPa, dato con el cual se puede verificar de manera aproximada si la tabla rompería o no.

Suponiendo que la persona sobre la tabla pesa 100 kg, peso que está muy por encima de la media, se plantean tres casos diferentes:

1. Peso situado en la parte central de la tabla

De esta manera se simula a la persona parada encima de la parte central de la tabla.

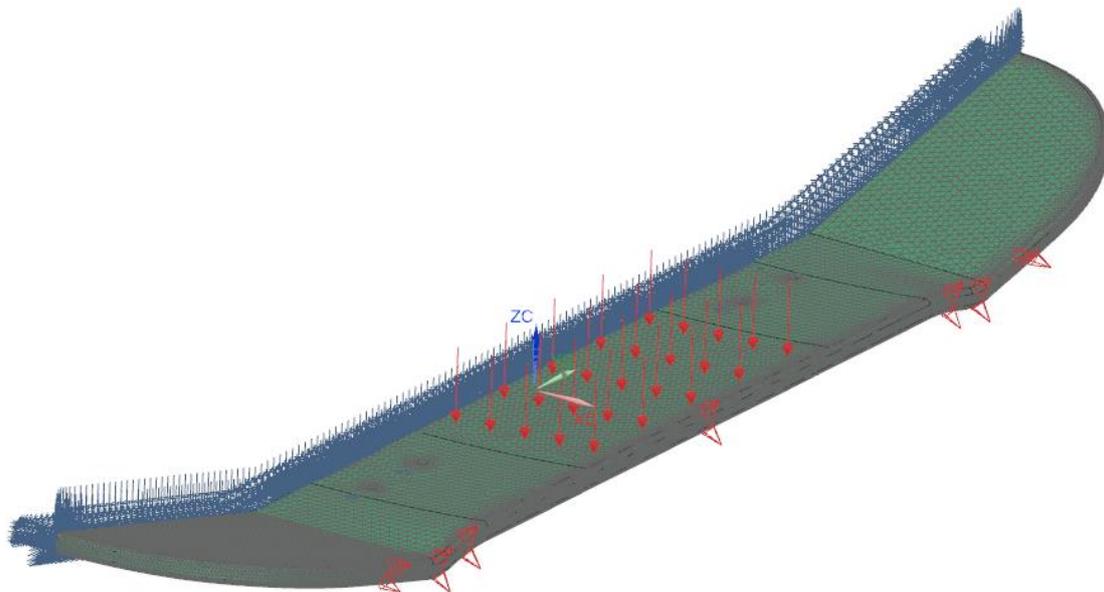


Imagen 84. Tabla sometida a un esfuerzo en su parte central

El máximo desplazamiento obtenido es de 4,902 mm en el centro de la tabla, lo que significa que la tabla flexa unos 0,5 cm, es decir, una cantidad despreciable por la que no tenemos que preocuparnos.

ensamblaje_sim1 : Solution 1 Result
 Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
 Displacement - Nodal, Magnitude
 Min : 0.000, Max : 4.902, Units = mm
 Deformation : Displacement - Nodal Magnitude

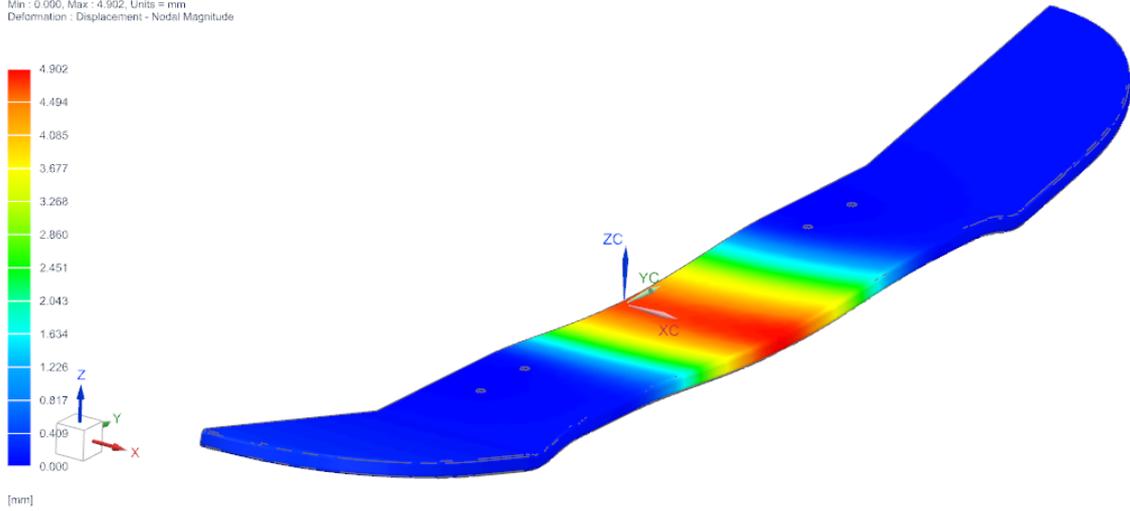


Imagen 85. Desplazamiento nodal de la tabla sometida a un esfuerzo en su parte central

A continuación, se observan dos imágenes con los resultados obtenidos de las tensiones.

ensamblaje_sim1 : Solution 1 Result
 Subcase - Static Loads 1, Static Step 1
 Stress - Element-Nodal, Unaveraged, Von-Mises
 Min : 0.00, Max : 60.65, Units = MPa
 Deformation : Displacement - Nodal Magnitude

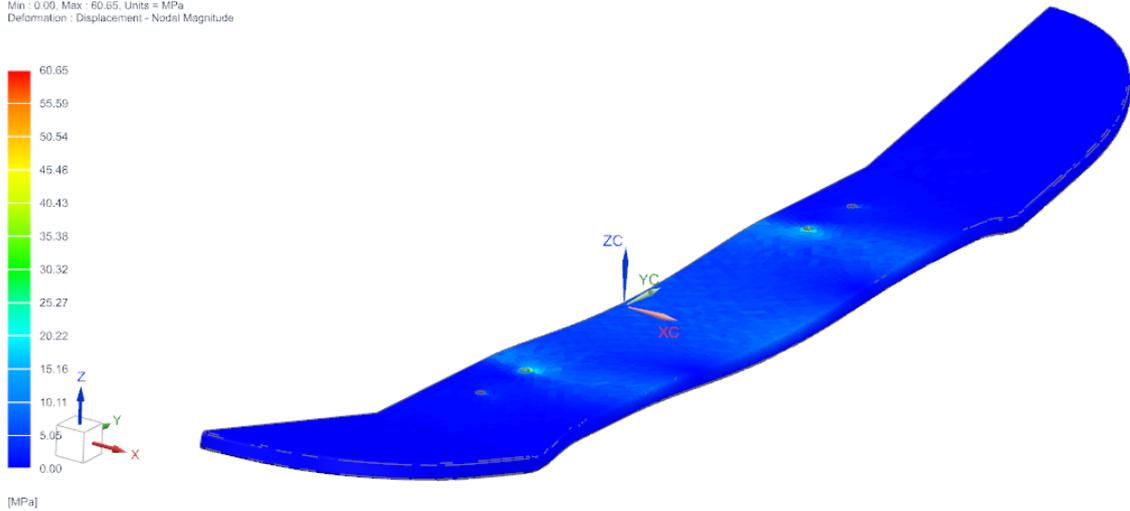


Imagen 86. Tensión de Von Mises de la tabla sometida a un esfuerzo en su parte central



Imagen 87. Tensión máxima de la tabla sometida a un esfuerzo en su parte central

Se localiza una tensión máxima de 60,65 MPa en la esquina interna del apoyo sobre los ejes. Tiene coherencia, ya que, al estar el peso sometido en la parte central, lo que más va a sufrir es el área de encuentro de la tabla con los ejes. Además, este valor está muy por debajo de los 107 MPa comentado anteriormente, por lo que la tabla no romperá, incluso podría soportar un peso mayor de los 100 kg que se han aplicado.

2. Peso en ambos extremos (*tail* y *nose*) de la tabla

En este caso, la persona tendría cada pie en un extremo, por lo que realmente no se cubriría toda el área marcada, pero se ha decidido indicar así para simplificar el proceso.

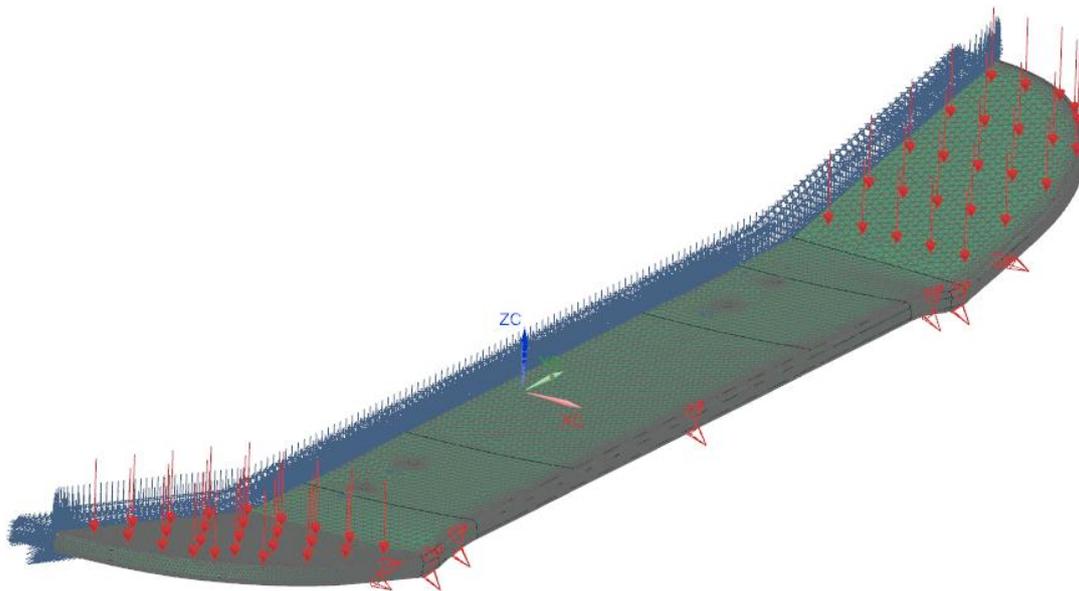


Imagen 88. Tabla sometida a un esfuerzo en sus extremos

Se obtiene un desplazamiento máximo de 27,29 mm en las puntas del *tail* y el *nose*, es decir, no llega a 3 cm. Este resultado es normal, ya que los extremos es lo que más alejado está de los apoyos y por lo tanto flexa más.

ensamblaje_sim1 : Solution 1 Result
 Subcase - Static Loads 2, Static Step 1
 Displacement - Nodal Magnitude
 Min : 0.00, Max : 27.29, Units = mm
 Deformation : Displacement - Nodal Magnitude

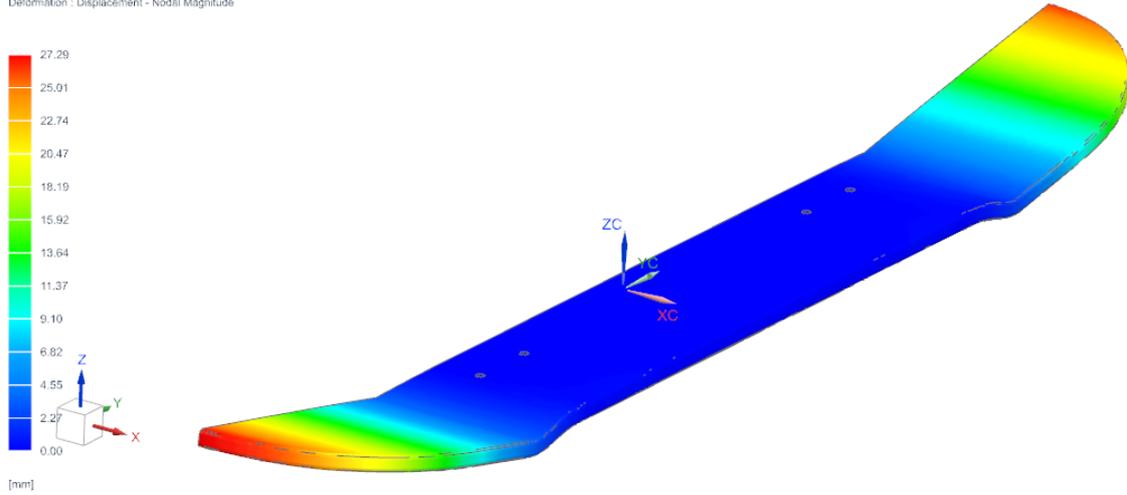


Imagen 89. Desplazamiento nodal de la tabla sometida a un esfuerzo en sus extremos

A continuación, se muestran dos imágenes con los resultados de la tensión de Von-Mises obtenida.

ensamblaje_sim1 : Solution 1 Result
 Subcase - Static Loads 2, Static Step 1
 Stress - Element-Nodal, Unaveraged, Von-Mises
 Min : 0.00, Max : 64.17, Units = MPa
 Deformation : Displacement - Nodal Magnitude

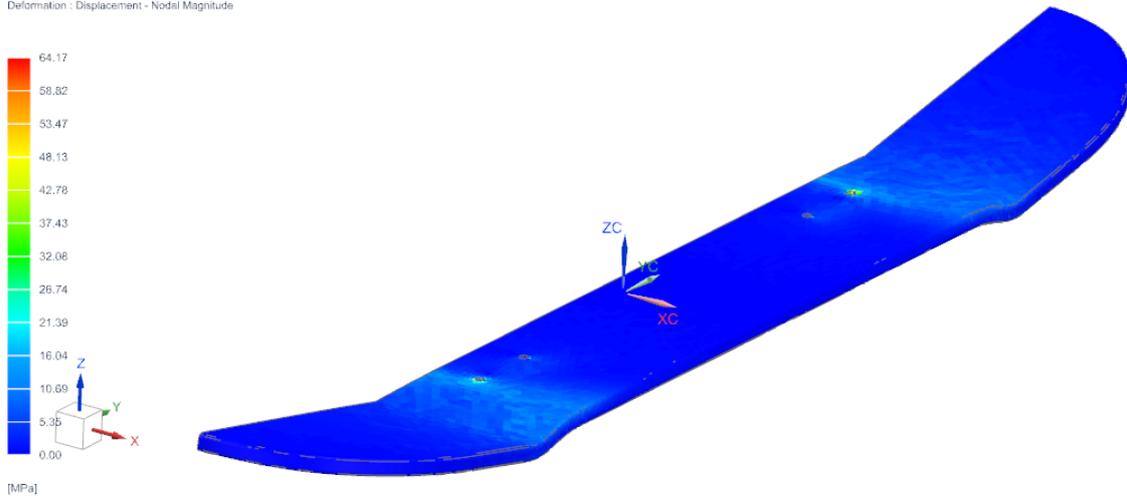


Imagen 90. Tensión de Von Mises de la tabla sometida a un esfuerzo en sus extremos

nt - Nodal Magnitude

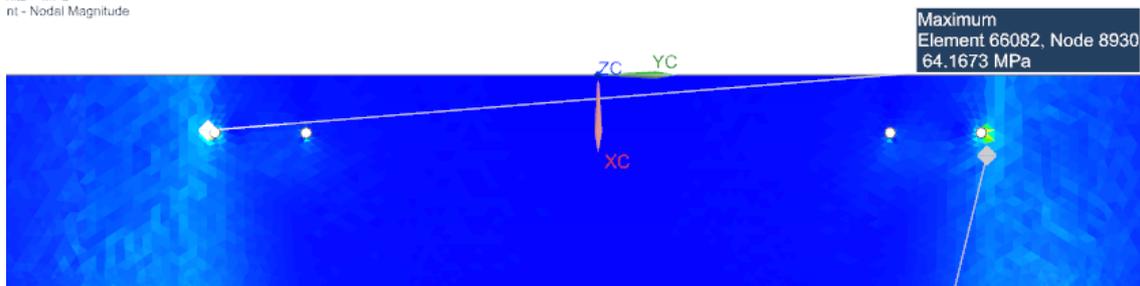


Imagen 91. Tensión máxima de la tabla sometida a un esfuerzo en sus extremos

La máxima tensión obtenida es de 64,17 MPa, lo cual es bastante inferior a 107 MPa, por lo que no habría que preocuparse. La zona que más sufre en este caso es junto a los agujeros más externos en la parte superior de la tabla, ya que al estar flectando la tabla por sus dos extremos lo que más tensión va a tener que soportar son las uniones atornilladas.

3. Peso en el centro y en uno de los extremos

En este caso se simula que la persona tiene un pie apoyado en el centro de la tabla y el otro sobre el extremo izquierdo o el *tail*, que es donde hay que hacer el impulso para realizar trucos con el *skate*.

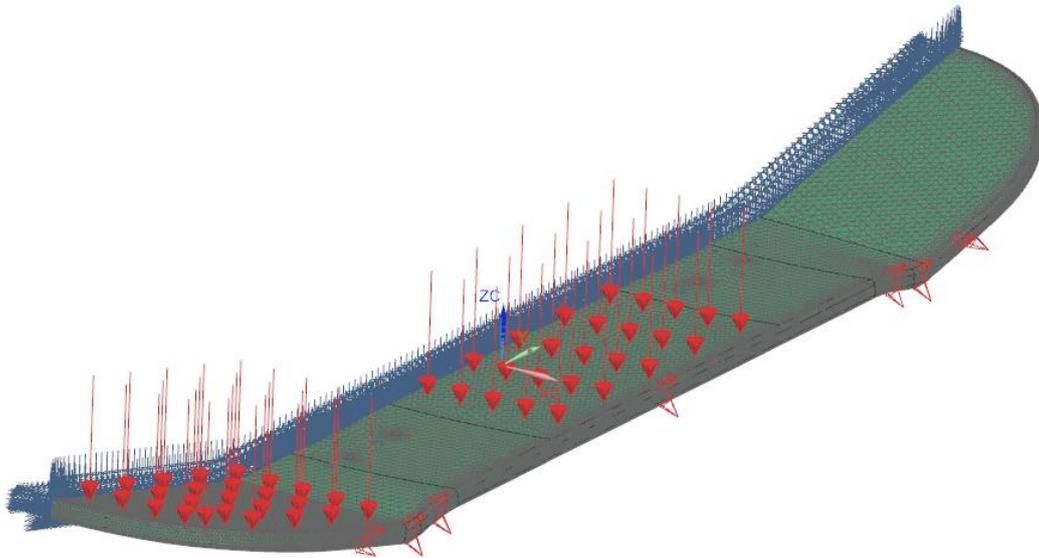


Imagen 92. Tabla sometida a un esfuerzo en su parte central y extremo izquierdo

El desplazamiento máximo que se ha obtenido es de 23,36 mm en la punta del *tail*, es decir, poco más de 2 cm de desplazamiento, lo cual resulta una cantidad razonable y nada preocupante.

ensamblaje_sim1 : Solution 1 Result
Subcase - Static Loads 3, Static Step 1
Displacement - Nodal, Magnitude
Min : 0.00, Max : 23.36, Units = mm
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude

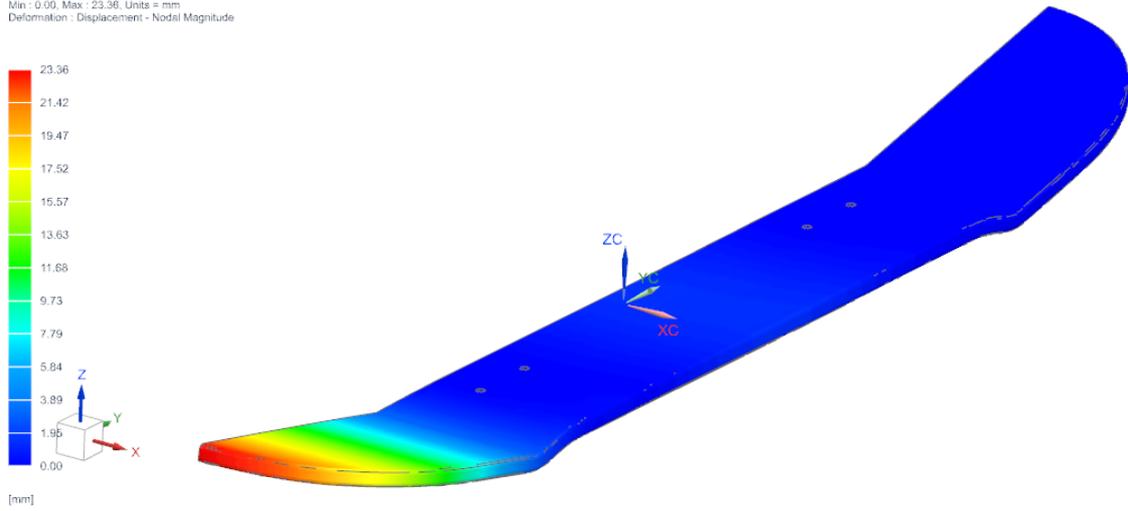


Imagen 93. Desplazamiento nodal de la tabla sometida a un esfuerzo en el centro y el extremo izquierdo

A continuación, se muestra la distribución de la tensión de Von-Mises sobre la tabla.

ensamblaje_sim1 : Solution 1 Result
Subcase - Static Loads 3, Static Step 1
Stress - Element-Nodal, Unaveraged, Von-Mises
Min : 0.00, Max : 54.13, Units = MPa
Deformation : Displacement - Nodal Magnitude

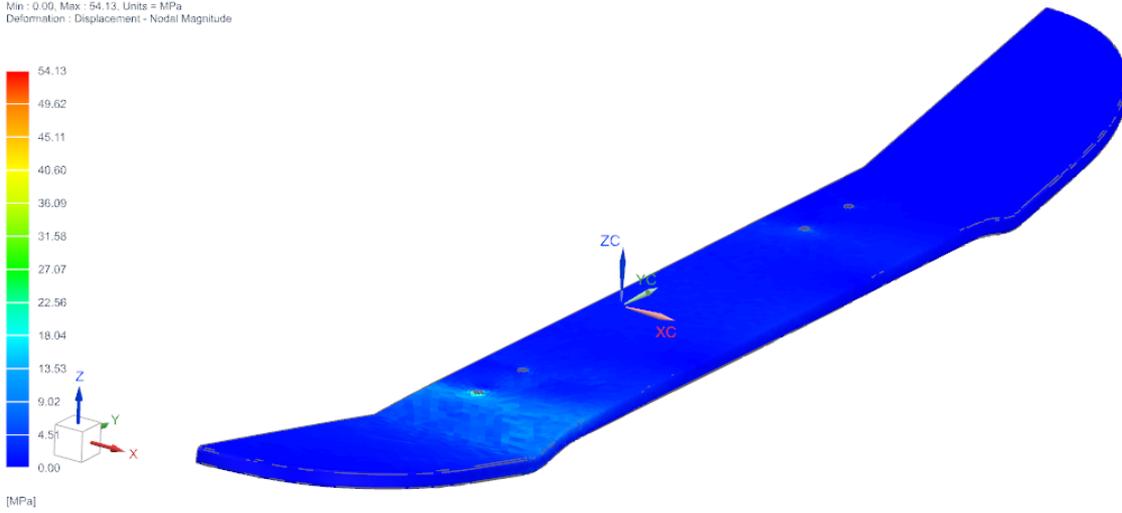


Imagen 94. Tensión de Von Mises de la tabla sometida a un esfuerzo en el centro y el extremo izquierdo

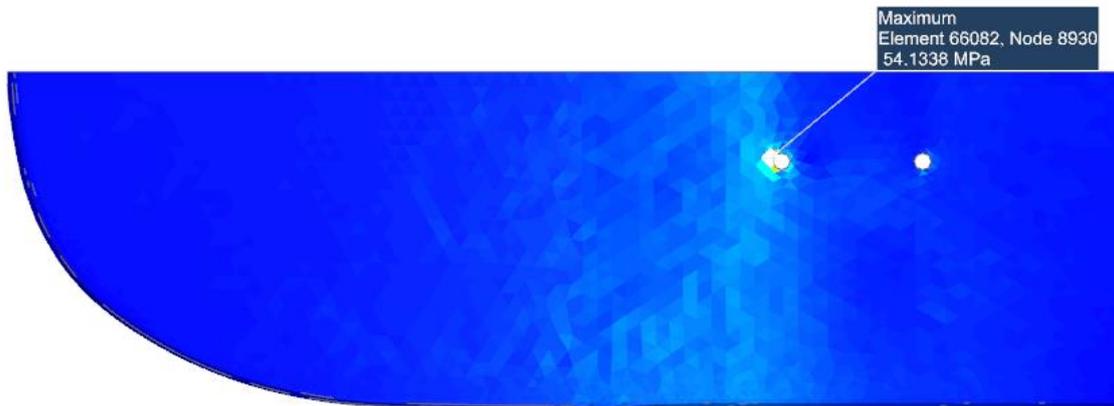


Imagen 95. Tensión máxima de la tabla sometida a un esfuerzo en el centro y el extremo izquierdo

La tensión máxima obtenida es de 54,13 MPa en los agujeros exteriores. Ocurre como en el caso anterior pero solamente en el *tail*, que es donde se aplica la fuerza. Esta tensión máxima también se encuentra por debajo de los 107 MPa, por lo que se podría someter a un esfuerzo mayor antes de que rompiera.

4. Valoración económica

En este apartado se realiza un estudio económico para justificar la inversión en la realización del trabajo. La valoración económica estima que los costes totales incluyen los costes directos, indirectos y generales. Sin embargo, en este caso solo se van a tener costes directos, ya que los indirectos y los generales están relacionados con los recursos que se emplean en la actividad diaria de una empresa, los cuales no han sido necesarios en este proyecto (por ejemplo, el alquiler de instalaciones o contrataciones a personal auxiliar).

Entonces, los costes totales serán igual a los costes directos.

$$C_T = C_D + C_I + C_G \rightarrow C_T = C_D$$

Los costes directos son los que se asocian al diseño y la fabricación de un producto, en los cuales está incluida la mano de obra, el material y los equipos y/o maquinaria empleados. Entonces, los costes directos se dividen en tres partes.

4.1. Coste de mano de obra

Este coste abarca toda la actividad realizada por el personal para la fabricación del producto. Se calcula teniendo en cuenta todas las horas trabajadas y la retribución del operario, que en este caso sería de unos 45 €/h.

Las tareas que se incluyen en el desarrollo del proyecto son las siguientes: investigación sobre la fabricación de tablas de *skate*, diseño de la planta de producción del ciclo automatizada y de los GRAFCET que lo hacen funcionar, selección de los distintos sensores y actuadores, modelado 3D, diseño del control de la etapa de prensado, ajuste de desplazamientos y conexión de señales, redacción de la memoria y realización de la presentación.

Las tareas en las que se ha invertido más tiempo ha sido en la investigación sobre el proceso de fabricación de tablas de *skate* y el diseño de la planta de producción junto con los GRAFCET y selección de sensores y actuadores, podrían suponer un 50 % del tiempo invertido. Y la tarea que menos tiempo ha requerido ha sido el diseño del control de la etapa de prensado. Aproximadamente estos serían los porcentajes empleados en las distintas tareas:

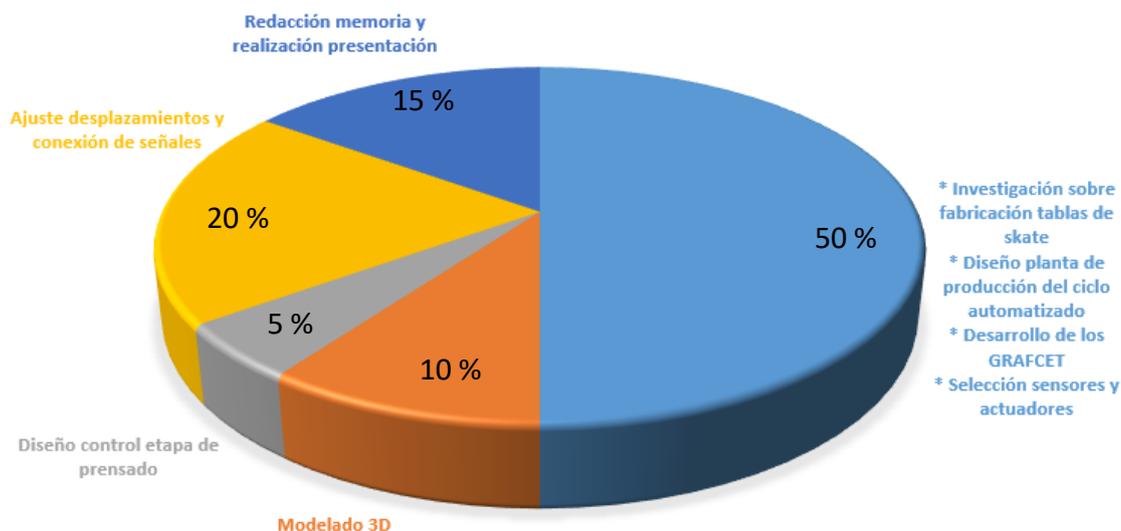


Imagen 96. Gráfico circular de los porcentajes de tiempo empleado en cada tareg

En la siguiente tabla se calcula el coste total en función de las horas empleadas en el desarrollo del proyecto.

Tabla 5. Coste de mano de obra

Nº operarios	Tiempo (horas)	Coste (€/hora)	Costes mano de obra (€)
1	300	45	13.500

4.2. Coste de material

Como este proyecto solamente se ha desarrollado de manera virtual, se considera que el coste del material es igual al precio de las licencias de los programas empleados proporcional al periodo de tiempo que han sido usados. En la siguiente tabla se puede apreciar mejor.

Tabla 6. Coste de material

Programa	Periodo amortización (meses)	Periodo amortizado (meses)	Precio licencia (€)	Coste de material (€)
Siemens NX	12	2	16000	2666,67
CODESYS	12	2	50	0*
Office 365	12	5	149	62,08
Illustrator	1	2	60,49	120,98
Coste total de material				2.849,73

**Se ha empleado una versión de prueba gratuita del programa*

4.3. Coste de equipos

Aquí se incluye el precio de los equipos que han sido utilizados para la realización del trabajo. En concreto, se ha hecho uso de un ordenador HP Hewlett-Packard, cuyo precio inicial fue de 899 €. Si se considera un periodo de amortización de 2 años se obtiene lo siguiente.

Tabla 7. Coste de equipos

<i>Equipo</i>	<i>Periodo amortización (meses)</i>	<i>Periodo amortizado (meses)</i>	<i>Precio (€)</i>	<i>Coste de equipo (€)</i>
<i>HP Hewlett-Packard</i>	48	5	899	93,65

4.4. Resumen

Por lo tanto, la valoración económica del proyecto tiene un coste total de 16.443,38 €. Si se quisiera poner en marcha el proyecto, se deberían tener en cuenta todas las máquinas y sensores necesarios para montar la planta de producción, la materia prima que se emplea y, dependiendo de si el proyecto se vende a una fábrica que ya existe o no, se debería comprar la nave para montar la planta de fabricación.

5. Resumen de conceptos principales

En este apartado se incluye una tabla donde se recogen los principales conceptos que se han desarrollado en este Trabajo de Fin de Máster.

CONCEPTO	LOGRADO
<i>Desarrollo de la conceptualización del ciclo automatizado de la fabricación de tablas de skate</i>	✓
<i>Selección de sensores y actuadores para la fábrica automatizada</i>	✓
<i>Diseño tridimensional de la tabla de skate, junto con los cuerpos necesarios para realizar un gemelo digital de la etapa de prensado (molde, lámina inicial de madera y tabla después del prensado sin haber sido mecanizada)</i>	✓
<i>Gemelo digital de la etapa de prensado (desarrollo del control en CODESYS y ajuste de desplazamientos y conexión de señales con Siemens NX)</i>	✓
<i>Simulación estructural de las reacciones de la tabla frente a distintas cargas</i>	✓
<i>Planos del modelado 3D</i>	✓

6. Conclusiones

Con la realización de este trabajo final de máster se han puesto en práctica los distintos conocimientos adquiridos en el Máster en Diseño y Fabricación Integrada Asistidos por Computador, tales como el diseño y la ingeniería asistidos por computador (CAD y CAE) con el software Siemens NX, diseñando la tabla de *skate* y los cuerpos necesarios para la representación de la etapa de prensado junto con la simulación estructural de la tabla sometida a diferentes esfuerzos, y la automatización industrial, diseñando tanto el control del proceso completo de fabricación de tablas de *skate* como el control específico para la etapa de prensado, además de la selección de los sensores y actuadores que serían necesarios.

Su posible implantación en alguna empresa real integraría a esta en lo que se conoce como Industria 4.0, en la cual están basadas las competencias generales del máster. Sería muy útil para invertir en la seguridad de los operarios y en la eficiencia de producción, ya que se fabricarían tablas a una velocidad mayor. Aunque para ello habría que adaptar el gemelo digital a las condiciones específicas del prensado (indicarle la presión exacta que debe ejercer y el tiempo real que dura el prensado), junto con los sensores y actuadores reales, y diseñar unos robots para desarrollar las tareas concretas del ciclo de producción.

La interfaz del módulo *Diseñador de Conceptos de Mecatrónica* de Siemens NX ha supuesto algunos inconvenientes en algunas ocasiones debido a la aleatoriedad de los cálculos, los cuales pueden producir vibraciones en algunas piezas dando lugar a fallos irresolubles que realmente no suceden en el modelo físico, teniendo que reiniciar la simulación para que volviera a funcionar correctamente.

Finalmente se ha logrado el objetivo de este proyecto: realizar una conceptualización de la automatización de la fabricación de tablas de *skates* y el gemelo digital de la etapa de prensado. Me ha gustado mucho realizar este trabajo, ya que me interesa bastante el mundo del *skateboarding* y he leído mucha información que no conocía sobre este mundo. Además, la realización del proyecto me ha aportado un manejo fluido tanto en Siemens NX como en CODESYS.

7. Bibliografía

- Castor.es - Tallas en madera.* (4 de Octubre de 2012). Obtenido de La madera de arce blanco: <https://www.castor.es/arce.html>
- Chapter 4. (s.f.). En J. E. David W. Green, *Mechanical Properties of Wood*. Obtenido de <https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgtr/fplgtr113/ch04.pdf>
- Cómo elegir mi tabla de skate.* (24 de Marzo de 2017). Obtenido de [https://skatespain.com/como-elegir-mi-tabla-de-skate#:~:text=Medidas%20de%20las%20tablas%20de%20skate&text=Las%20medidas%20comienzan%2C%20por%20lo,anchura%20\(unos%2023%20cm\)](https://skatespain.com/como-elegir-mi-tabla-de-skate#:~:text=Medidas%20de%20las%20tablas%20de%20skate&text=Las%20medidas%20comienzan%2C%20por%20lo,anchura%20(unos%2023%20cm)).
- Cómo se fabrican las tablas de skateboard.* (25 de Mayo de 2017). Obtenido de <http://www.xports.es/fabricacion-tablas-de-skateboard/>
- Company, D. (11 de Septiembre de 2018). *¿Qué tipos de tablas de skate existen?* Obtenido de <https://dackscompany.com/blog/diferentes-tipos-tablas-de-skate/#street>
- DiscoveryMAX. (9 de Diciembre de 2012). *Así se hace 'Tablas de Skate'*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=L7NPOHRBii0>
- Guía - Tecnología Tablas Skate.* (12 de Febrero de 2019). Obtenido de Fillow: <https://www.fillow.net/guia-tecnolog%C3%ADa-tablas-skate-i284>
- Guía tablas de skate.* (12 de Febrero de 2019). Obtenido de [https://www.fillow.net/guia-tablas-de-skate-i153#:~:text=Longitud%20\(Lenght\)%3A%20Es%20lo,en%20todas%20es%20muy%20similar](https://www.fillow.net/guia-tablas-de-skate-i153#:~:text=Longitud%20(Lenght)%3A%20Es%20lo,en%20todas%20es%20muy%20similar).
- Inventan tablas 'irrompibles' que no pierden el pop.* (28 de Julio de 2016). Obtenido de <http://elpatin.com/lithe-tablas-irrompibles-no-pierden-pop/>
- Long:Construcción: Madera y encolado.* (13 de Octubre de 2008). Obtenido de zonagravedad: <https://www.zonagravedad.com/modules.php?name=News&file=article&sid=434>
- Maderame.* (9 de Febrero de 2016). Obtenido de Madera de Maple o Arce: Tipos, Características y Usos: <https://maderame.com/enciclopedia-madera/maple/#:~:text=M%C3%B3dulo%20de%20elasticidad%3A%20126.000%20kg%2Fcm>
- Manual Técnico de formación para la caracterización de madera de uso estructural.* (11 de Enero de 2020). Obtenido de <https://normadera.tknika.eus/es/content/ficha/arce.html>
- Materiales, Construcción y Tecnología de una tabla de skateboard.* (31 de Diciembre de 2015). Obtenido de <https://locorider.com/blog/materiales-construccion-tecnologia-tabla-de-skateboard/>
- Pablo, R. (14 de Marzo de 2018). *¿Cuáles son las diferencias entre skate, cruiser y longboard?* Obtenido de <https://www.redbull.com/car-es/diferencias-tabla-skate-cruiser-longboard>
- Partes de una tabla de skate.* (15 de Octubre de 2019). Obtenido de <https://www.todoskate.com/partes-de-una-tabla-de-skate/>

RS Components. (29 de Diciembre de 2007). Obtenido de <https://es.rs-online.com/web/>

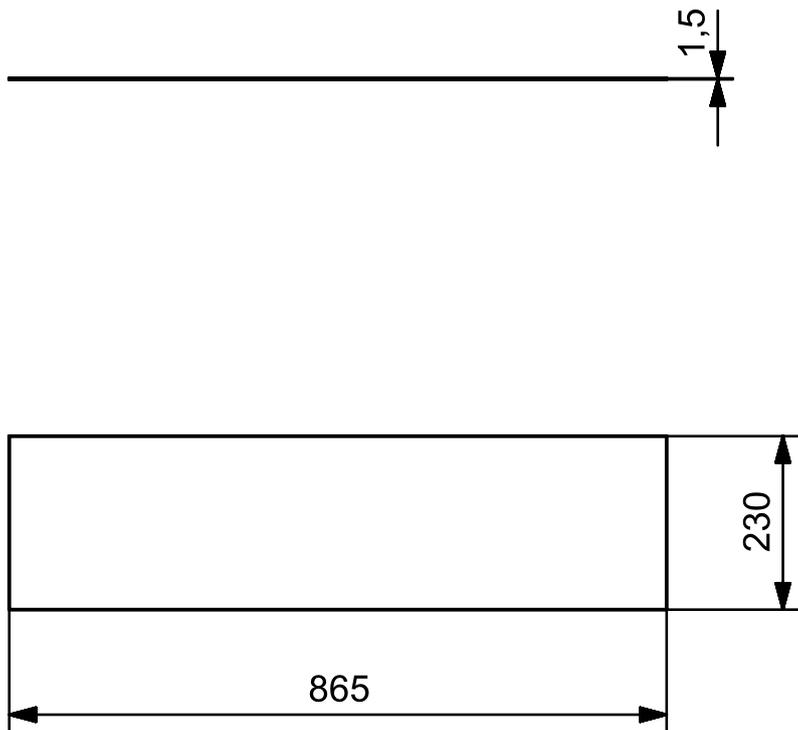
Tipos de skate. (18 de Julio de 2021). Obtenido de <https://compratuskate.online/blog/tipos-de-skate/>

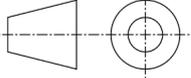
Tipos de tablas de skate. (24 de Marzo de 2017). Obtenido de skatespain: <https://skatespain.com/tipos-de-tablas-de-skate#material-tablas-skate-fibra-vidrio>

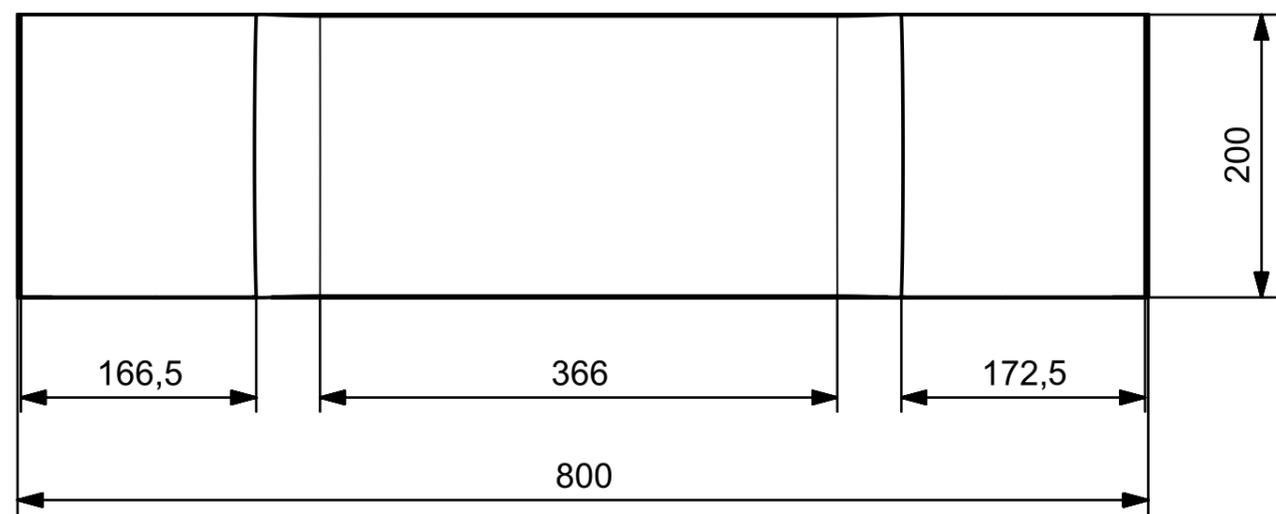
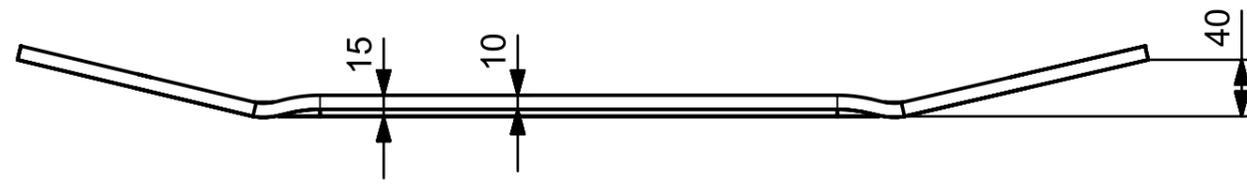
Tipos Skateboards. Elegir skate. (16 de Mayo de 2017). Obtenido de Blog BeXtreme: <https://bextremeboards.com/blog/tipos-skateboards-elegir-skate/>

8. Planos

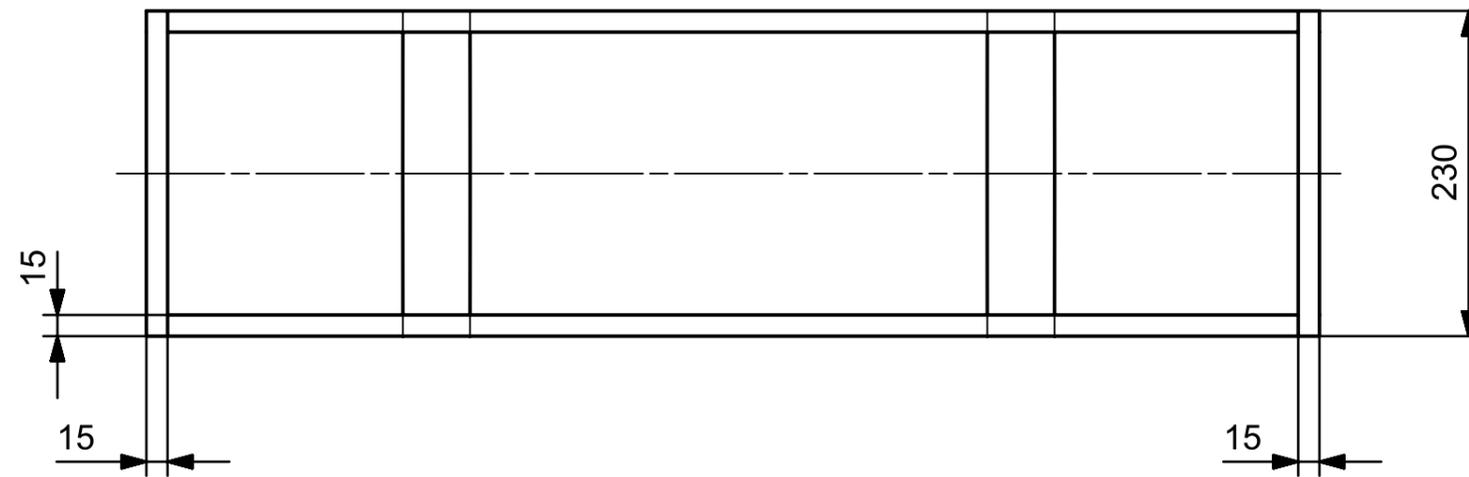
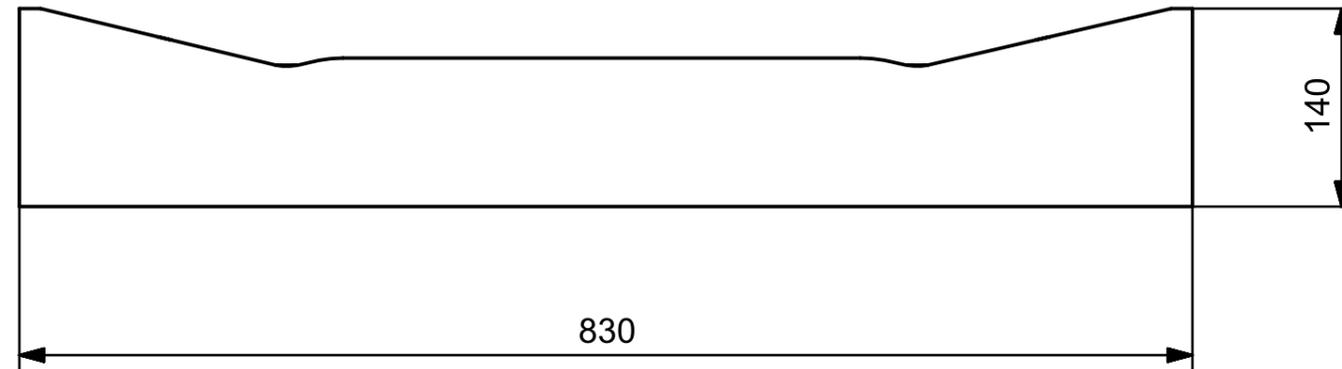
A continuación, se incluyen los planos de las piezas modeladas en Siemens NX.



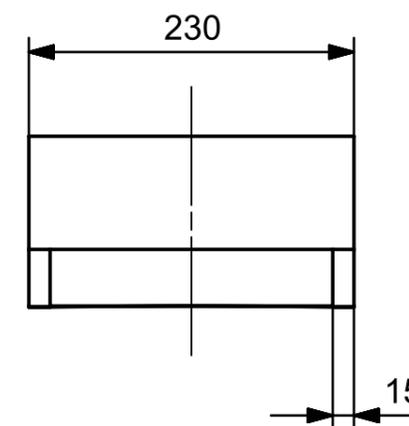
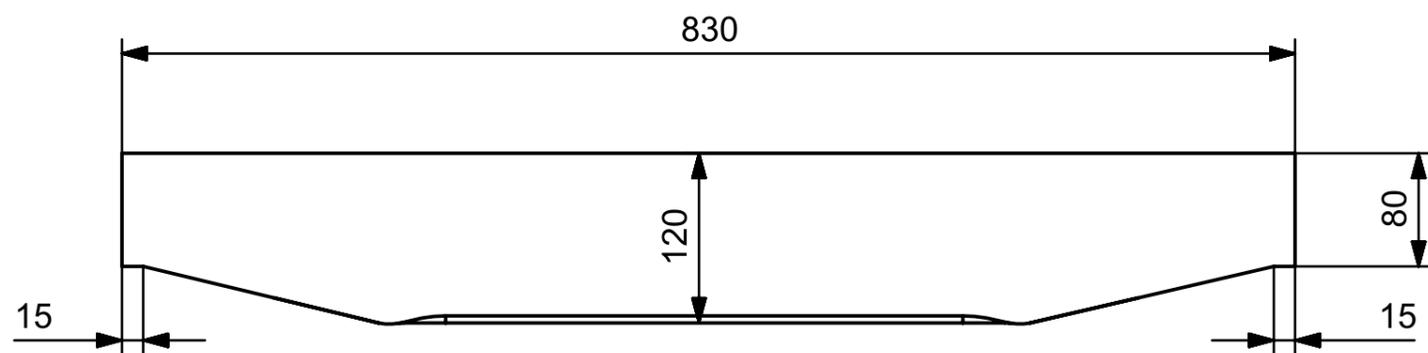
	Nombre	Fecha		 UNIVERSITAT POLITÀCNICA DE VALÈNCIA	Màster Universitari en Disseny y Fabricación Integrada Asistidos por Computador
Dibujado	Laura Munuera Ruipérez	19/08/21			
Tolerancia general ISO 2768-m					
Escala	Denominación				Número
1:10	Lámina de madera				1 de 5



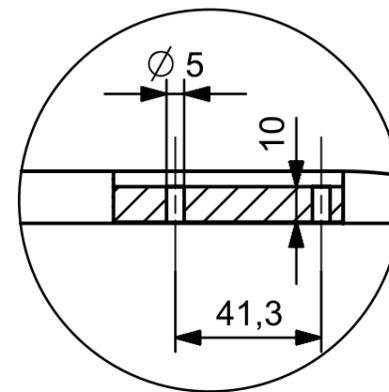
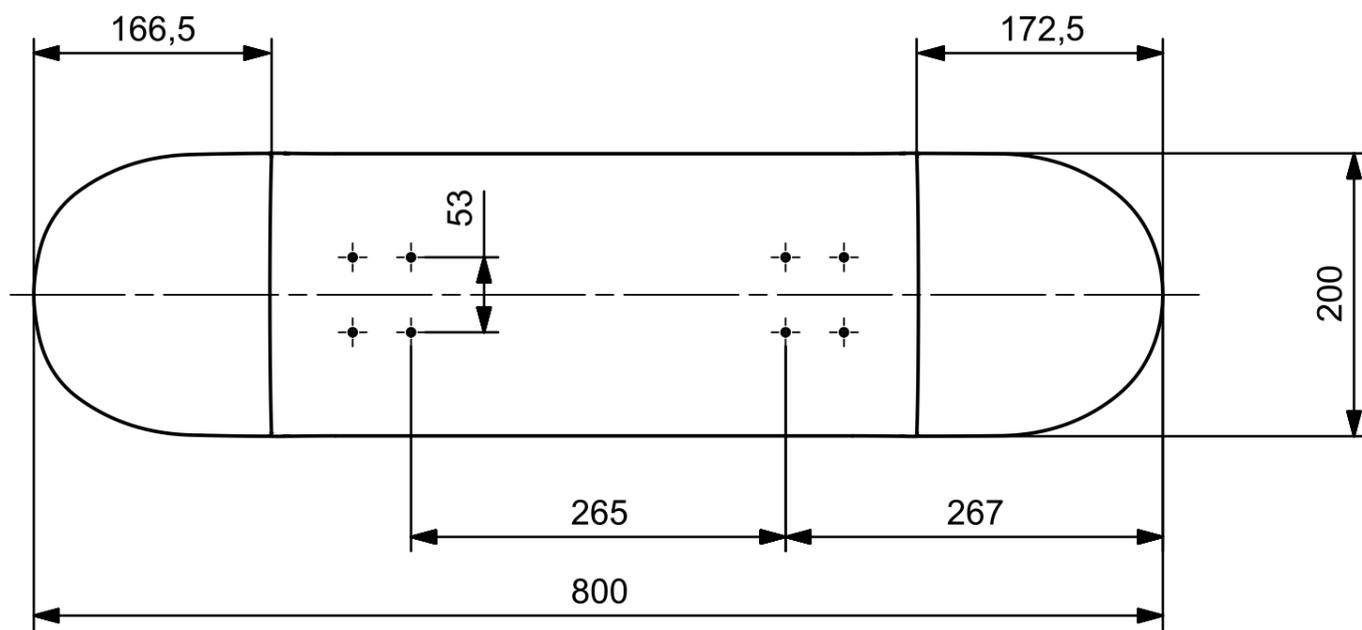
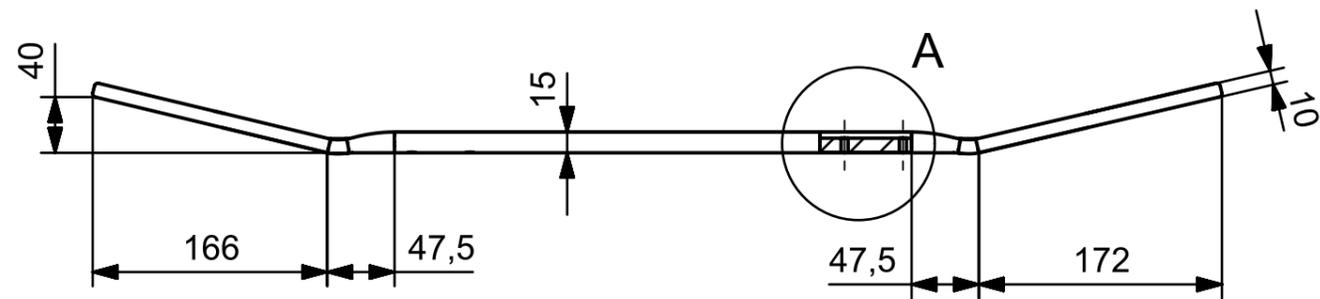
	Nombre	Fecha			Máster Universitario en Diseño y Fabricación Integrada Asistidos por Computador
Dibujado	Laura Munuera Ruipérez	19/08/21			
Tolerancia general ISO 2768-m					
Escala	Denominación				Número
1:5	Tabla prensada				2 de 5



	Nombre	Fecha			Máster Universitario en Diseño y Fabricación Integrada Asistidos por Computador
Dibujado	Laura Munuera Ruipérez	19/08/21			
Tolerancia general ISO 2768-m					
Escala	Denominación				Número
1:5	Molde inferior				3 de 5



	Nombre	Fecha			Máster Universitario en Diseño y Fabricación Integrada Asistidos por Computador
Dibujado	Laura Munuera Ruipérez	19/08/21			
Tolerancia general ISO 2768-m					
Escala	Denominación				Número
1:5	Molde superior				4 de 5



DETALLE A
ESCALA 1:2

	Nombre	Fecha			Máster Universitario en Diseño y Fabricación Integrada Asistidos por Computador
Dibujado	Laura Munuera Ruipérez	19/08/21			
Tolerancia general ISO 2768-m					
Escala	Denominación				Número
1:5	Tabla de skate				5 de 5