



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

Curso Académico:

Documentos del Trabajo Fin de Grado

I. Memoria

II. Planos

III. Presupuesto

IV. Anexos

Documento I:

Memoria

Resumen

Los programas de diseño asistido por ordenador son capaces de realizar simulaciones de sistemas mecánicos permitiendo un importante ahorro de recursos destinados a la creación de prototipos. En los últimos años, la industria ha invertido muchos esfuerzos para que las simulaciones sean cada vez más realistas.

En este Trabajo Final de Grado se realiza el diseño y la simulación de una máquina calibradora para fruta en postcosecha utilizando el software Autodesk Inventor Profesional 2014, del cual se imparten nociones a los alumnos durante el transcurso del grado en Tecnologías Industriales.

El diseño de las piezas está basado en una máquina ya existente en el IVIA (Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias) para tareas de investigación. En el proceso de creación se explicarán detalladamente todos los pasos necesarios para la implementación del modelo en el programa, incluyendo el funcionamiento de las herramientas de “*Design Accelerator*” de las que dispone “Inventor” para facilitar la creación de piezas normalizadas. Posteriormente se procederá a la explicación del ensamblaje de las piezas enumerando las restricciones necesarias para el montaje de la máquina.

En la parte de simulación de las partes móviles de la cadena se presentarán dos procedimientos distintos para la simulación de una transmisión de cadena de rodillos. Ambos procedimientos son alternativos al tipo de simulación utilizada por la herramienta que el programa dispone para la creación de transmisiones por cadena debido a que sus características que no cumplen las expectativas para la simulación requerida.

En la última parte del trabajo se exponen las conclusiones extraídas sobre cada tipo de procedimiento, el realizado por el programa y los dos alternativos, en función de los resultados obtenidos y los requerimientos para la simulación. También se comentan algunas características positivas y negativas de algunos aspectos del programa.

Índice

1. Contexto de las máquinas calibradoras de fruta y clasificación	5
1.1. Máquinas por calibración mecánica.....	6
1.2. Máquinas por calibración electrónica	8
2. Herramientas para la realización del modelo	11
2.1. Máquina de ejemplo	11
2.2. Autodesk inventor	12
3. Diseño de las piezas de la máquina	13
3.1. Piezas estructurales.....	13
3.2. Cadena principal.....	21
4. Ensamblaje de las piezas	33
4.1. Sistema de poleas de la máquina calibradora de fruta.....	33
4.2 Eslabones.....	37
4.3. Ensamblaje final	38
5. Simulación dinámica.....	45
5.1. Simulación por acople de velocidades	45
5.2. Simulación mediante contacto 3D	53
6. Conclusiones sobre “Autodesk Inventor”	57
7. Bibliografía.....	61

Objetivos

Con la realización de este Trabajo Fin de Grado, se pretende demostrar los conocimientos adquiridos durante la realización del Grado en Tecnologías Industriales, centrándose especialmente en toda aquella formación adquirida en el campo de la ingeniería gráfica como el uso de software para el diseño asistido por ordenador o el conocimiento de las normativas internacionales para la representación. También se han aplicado conocimientos de teoría de máquinas y mecanismos de transmisión de potencia.

El objetivo de este TFG es el diseño y la simulación de las partes móviles de una máquina de inspección y calibración de fruta, utilizando el software del cual se han recibido nociones durante el transcurso del grado, *"Autodesk Inventor 2014"*, creación de planos de las distintas partes y elaboración de un presupuesto.

En este trabajo se hace especial énfasis en la forma en la que *"Autodesk Inventor"* diseña y simula distintos elementos de transmisión de potencia creados mediante la herramienta *"Design accelerator"* como las cadenas de rodillos y las correas trapezoidales; y en la propuesta de dos procedimientos alternativos que lo mejoren, especialmente, la parte de simulación y la parte de animación.

La primera parte del trabajo consistirá en el diseño de las piezas. Para ello, se emplearán la mayoría de herramientas que el programa dispone. Es importante aclarar que el diseño de la máquina está basado en una máquina existente en el IVIA (Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias), tomándose las medidas directamente desde la máquina o mediante fotografías. Posteriormente se unirán las distintas piezas empleando la herramienta de ensamblaje de inventor. Con el ensamblaje completo, se realizarán 2 tipos de simulaciones distintas. La primera, mediante contactos 3D, pretende ser una simulación más real de la máquina mientras que el segundo procedimiento está destinado a una mejor animación.

Finalmente se evaluarán ambas simulaciones y se compararán con la automática del programa evaluando las ventajas e inconvenientes que presentan.

1. Contexto de las máquinas calibradoras de fruta y clasificación

Durante las últimas décadas, el sector hortofrutícola ha experimentado un gran cambio debido a la alteración de una serie de factores externos. Por una parte, el constante aumento de la producción y la globalización de los mercados han traído consigo una gran competitividad al sector. Por otra parte, el aumento de las exigencias por parte del consumidor y fundamentalmente de la legislación en base a la calidad, ha resaltado la importancia de los procesos de procesamiento y comercialización de los productos. En España, como miembro de la Unión Europea, es la normativa comunitaria la encargada de regular los requisitos mínimos generales de calidad, madurez, tolerancias y el marcado de origen del producto. Dicha norma se compone de una primera parte general, en la que se disponen las características que deben cumplir todos los productos seguida de una segunda parte que completa la anterior de forma más específica para cada tipo de producto. Para el cumplimiento de este tipo de normativas y poder garantizar la competitividad en el mercado, se puede afirmar que las máquinas destinadas a la clasificación de fruta resultan indispensables para todas aquellas empresas que basan su actividad económica en la comercialización de frutas y hortalizas. Por ese motivo en este último tiempo han aumentado en gran medida los recursos destinados a mejorar todo tipo de sistemas de inspección, detección y clasificación.

A lo largo de este apartado se va a introducir al lector en el conocimiento de este tipo de mecanismos, centrándose en los que permiten la separación por el calibre de las piezas, se va a realizar una clasificación de los mismos citando las ventajas y desventajas de cada tipo.

Las operaciones de clasificación de productos hortofrutícolas están basadas en la eliminación de productos que no cumplen los criterios mínimos de calidad y en la separación por categorías de los mismos. Este proceso se puede realizar de forma manual, por la acción humana, o se puede mecanizar. La clasificación manual fue la más empleada durante muchos años y tiene como principal ventaja la alta capacidad para detectar defectos exteriores de todo tipo en el producto, en cambio,



presenta muchas desventajas. En comparación con los sistemas mecánicos, la producción por hora muy baja, que junto con el elevado coste de la mano de obra hace imposible un precio final competitivo. Además, la clasificación del producto depende en la mayoría de ocasiones del criterio subjetivo del operario encargado. Todas estas desventajas han hecho que actualmente, este tipo de calibración esté prácticamente desfasado y solo se emplee para productos exclusivos de baja producción y en los que se necesita gran delicadeza en su tratamiento.

Figura 1.1: Calibradores de anillas manuales para frutas esféricas

Este espacio que ocupaba el calibrado ha sido ocupado en su totalidad por los sistemas mecanizados, tanto por sistemas mecánicos como ópticos-electrónicos.

1.1. Máquinas por calibración mecánica

Las máquinas por calibración mecánica permiten la clasificación de frutas y hortalizas exclusivamente por criterios físicos como el peso, el diámetro o la longitud. La incorporación al mercado de este tipo de maquinaria, permitió aumentar la velocidad del proceso considerablemente reduciendo el tiempo y el coste. Otra ventaja importante respecto al calibrado manual es que garantizan la clasificación objetiva del producto. Sin embargo, la mecanización del proceso aumenta la probabilidad de que el producto sufra daños, en algunos casos inevitables, lo que conlleva a la pérdida de calidad.

Otro aspecto negativo a destacar de este tipo de procesos, es la imposibilidad de acelerar el proceso para el cumplimiento del resto requisitos que impone la legislación, como por ejemplo, no permite la detección de piezas dañadas o podridas, siendo necesaria la inspección humana.

El hecho de la amplia variabilidad física y geométrica de las frutas y hortalizas ha propiciado que en el mercado existan numerosas tecnologías distintas para la calibración. A continuación se va a proceder a explicar algunas de las tecnologías más usadas para este tipo de calibrado.

Calibración mediante rodillos

La tecnología de calibración mediante rodillos es una de las más utilizadas para la calibración. Permite la clasificación tanto de productos esféricos (naranjas) como alargados (calabacín) con velocidades de 10 toneladas por hora o superiores.

En este tipo de máquinas el producto avanza sobre una cinta formada por rodillos. Para el calibrado existen dos posibilidades, que el espaciado entre los rodillos de la cinta vaya aumentando a medida que se avanza o que la separación de los rodillos sea constante y se coloque una segunda fila de rodillos debajo de la cinta. A modo que la calibración la marca la distancia entre rodillos fijos y móviles de la máquina. Cuando la separación entre rodillos es superior al diámetro de la pieza, esta cae a por gravedad a unas cintas transportadoras inferiores para su extracción de la máquina.



Estas máquinas son muy versátiles ya que normalmente se puede regular la separación de los rodillos y el número de salidas para ajustar las características del calibrado a las de la producción. Aunque las cintas inferiores normalmente se acolchen para reducir al mínimo los daños por la caída, este tipo de tecnología es más adecuada para productos más resistentes como zanahoria o patata

Figura 1.2: Máquina calibradora mediante rodillos (Fabricante: Raúl Lujan)

Calibración mediante peonza

Esta tecnología se basa en la fuerza centrífuga para el calibrado del producto. Se compone principalmente de un dispositivo circular que gira y desplaza el producto hacia el exterior donde hay instalados unos bordes de distancia variable. Su uso está restringido para la clasificación de productos esféricos y las piezas tienen que entrar alineadas a la peonza por lo que es necesaria la incorporación de una cinta previa para el alineamiento.



Figura 1.3: Máquina calibradora de "peonza" (Fabricante Greefa)

Calibración mediante mallas

El funcionamiento de las calibradoras mediante mallas está basada en la vibración, motivo por el que no es aconsejable para productos delicados. Principalmente es utilizada para ajos y cebollas.

La máquina se compone de distintas parrillas superpuestas en las que la cinta es una malla de acero con orificios de tamaño fijo, por lo que cada parrilla corresponde a un calibre. A medida que se avanza por la máquina el calibre de las mallas va aumentando de forma que con la vibración, las piezas caen a las cintas inferiores que proceden a su extracción del sistema.



Figura 1.4: Detalle de las parrillas y el mallado

Mecánicamente este tipo de máquinas es más complejo ya que necesita un sistema de vibración y un motor distinto para cada parrilla, además es más ruidosa debido a las vibraciones.

Calibración mediante tornillo sin fin

Este tipo de mecanismos se componen de tubos de diámetro constante con mecanismos de tornillo sin fin en ambos lados. El producto, previamente alineado, es desplazado por el tornillo cuya separación con el tubo central va aumentando de forma gradual a medida que se avanza, de forma que las piezas caen por gravedad normalmente a cintas extractoras acolchadas para disminuir los posibles daños. Este sistema es empleado para frutas esféricas y que requieren un tratamiento más delicado como cerezas o albaricoques.



Figura 1.5: Máquina de calibrado mediante tornillo sin fin

1.2. Máquinas por calibración electrónica

A día de hoy, las máquinas para la calibración de fruta mediante procedimiento electrónico se encuentran en todas las grandes empresas del sector en las que se trabaja con grandes cantidades de producto. Este tipo de máquinas presentan grandes ventajas respecto a los otros tipos de procedimiento, están equipadas con avanzada tecnología lo que supone fuerte inversión inicial.

Actualmente la industria clasificadora de alimentos está fuertemente especializada, se podría decir que prácticamente cada tipo de fruta y hortaliza dispone de tipo de máquina específica, aun así, todas comparten una serie de características que se enumeran a continuación.

- a) Alta productividad. Los avances tecnológicos han hecho posible la aplicación de sistemas electrónicos ultra rápidos y con porcentajes de error mínimos. Fácilmente pueden obtenerse producciones de 15 toneladas por hora en muchos productos.
- b) Desplazamiento estático del producto. El producto se desplaza por la máquina de forma individual sobre dispositivos especiales como rodillos bi-cónicos o cazoletas. Esto presenta una gran mejora en el tratamiento del producto reduciendo considerablemente la probabilidad de sufrir daños exteriores a causa de golpes con otras piezas de la máquina u otros productos, como sucede en los procedimientos mecánicos. Esto permite que los productos mantengan su calidad y posteriormente tengan un precio mayor en el mercado.
- c) Empleo de células fotoeléctricas. Esta es la característica principal de este tipo de máquinas. La determinación de las características del producto se realiza mediante procedimientos electro-ópticos basados en las propiedades ópticas de los distintos productos. Permite una examinación

más exhaustiva de cada unidad y se aumentan los criterios disponibles para la clasificación. Con este tipo de procesos es posible separar los productos por características físicas exteriores: Tamaño, peso, color, defectos; pero además se pueden determinar otras características internas como: el grado de humedad interior, la cantidad de pulpa contenida, grados Brix, el porcentaje de azúcar, etc.

El empleo de métodos electrónico-ópticos es lo que realmente marca la diferencia con el resto de sistemas. El profundo análisis que permiten reduce considerablemente la necesidad de recurso humano por lo que los costes de producción disminuyen. Por otra parte, el hecho de que todo el proceso esté informatizado, permite recopilar gran cantidad de datos de cada unidad de producto que son almacenados y posteriormente analizados de forma que se pueden detectar fallos o realizar ajustes para la mejora del sistema.

Todas estas ventajas han permitido que el uso de métodos ópticos para el análisis de productos se extienda más allá de la industria hortofrutícola. A continuación se van a presentar algunos de los sistemas electrónico-ópticos más empleados en la industria alimentaria.

Visión Artificial

La visión artificial es una rama de la Inteligencia Artificial que consiste en todos aquellos procedimientos destinados a la obtención, procesamiento y análisis de cualquier tipo de información a partir de la adquisición de imágenes digitales mediante sistemas ópticos y sin contacto con el producto.

Este sistema lo componen tres tipos de dispositivos:

- Destinados a la captación de la información.
- Destinados a la transformación y el procesamiento de la información obtenida
- Actuadores.

El dispositivo encargado de recopilar la información y transmitirla al sistema procesador es una cámara. Existen diferentes tipos en función de los datos que se deseen obtener. Un buen ejemplo, son las cámaras de alta velocidad, muy utilizadas en el control de producción, otras son las cámaras infrarrojas, utilizadas para medir parámetros no visibles al ojo humano como la temperatura. La calidad de las cámaras se basa en la cantidad de píxeles (número de sensores) y la velocidad de lectura de estos. Pero, para que la información obtenida sea de calidad, son necesarios dispositivos que ayuden a que las condiciones para la captura sean las más adecuadas. Normalmente la condición crítica suele ser la luminosidad a la hora de que la cámara tome la fotografía, para solucionarlo, se incorporan accesorios lumínicos como los laser (para medidas de profundidad), fibra óptica (para objetos de pequeño tamaño), fluorescentes (para control de calidad) o diodos led (para aplicaciones que requieran luz difusa).

Una vez está recogida la información, es necesario un Hardware de altas prestaciones que permita ejecutar cíclicamente el software específico de la aplicación, normalmente basado en el análisis de píxeles, en el menor tiempo posible. La mejora en los sistemas informáticos, como las herramientas de conexión de dispositivos, ha sido claves para el funcionamiento de estos sistemas.

Finalmente, después de procesar la información el sistema puede simplemente guardar dicha información o enviar una señal a los dispositivos actuadores para que intervengan. La variedad de actuadores es amplia, para los sistemas de clasificación de fruta que nos incumben en este trabajo, los actuadores pueden ser desde palancas hasta chorros de aire para desechar una pieza, etc.

Espectroscopia Ultra Violeta-Visible (UV/VIS) e Infrarroja Cercana (NIR)

El segundo método utilizado actualmente para la clasificación de fruta son las distintas técnicas basadas en la radiación electromagnética. Estas técnicas están basadas la emisión de radiaciones que atraviesan el producto y su detección para el análisis y obtención de la información. Existen dos tipos de radiaciones para la obtención de información, la radiación ultra-violeta visible y la radiación infrarroja cercana.

La radiación ultra violeta-visible (VIS) trabaja con radiaciones de longitud de onda comprendida entre 160 Y 780nm. Trabajando con estas frecuencias se consigue que los electrones de enlace de las moléculas de la pieza a analizar se exciten al absorber la radiación. El dispositivo receptor recibe la radiación restante y la analiza. Dicha información está relacionada con características exteriores de la pieza y permiten detectar daños externos, partes desechables o el color de la muestra analizada, que está en muchas ocasiones relacionado con la madurez del producto.

La radiación infrarroja cercana (NIR) trabaja con ondas de mayor amplitud, entre 800 y 2500nm, dependiendo de la calidad del sistema. El modo de funcionamiento es similar al de la radiación VIS, pero en este caso la información que se obtiene del análisis es diferente. Con la radiación NIR se pueden conocer datos internos de la muestra como por ejemplo el contenido de algún tipo de traza, la cantidad de azúcares, la acidez, etc.

En el mercado se comercian multitud de dispositivos que combinan longitudes de onda de ambos espectros de forma que se obtienen los beneficios de ambos sistemas, y la información sobre la muestra es más completa, pues se conocen tanto datos internos como externos.

Un espectrómetro para UV-VIS-NIR está compuesto principalmente por las siguientes partes:

- Lámparas. Son los dispositivos encargados de emitir la radiación. Son necesarias dos tipos de lámparas, una para cada sistema. Para el espectro UV-VIS se emplean lámparas de wolframio o de deuterio de baja presión, mientras que para el espectro NIR se utilizan lámparas de filamento de tungsteno.
- Obturador. Dispositivo que se abre y se cierra para limitar el tiempo que la muestra está expuesta a la radiación. se puede ajustar la apertura y el cierre en función de la velocidad de la máquina, solo a velocidades muy altas se mantiene el obturador abierto todo el tiempo.
- Lentes. Hay varias en el sistema y se encargan de enfocar la radiación en la dirección deseada.
- Monocromadores y filtros. Su misión es recibir toda la radiación y separar aquella con una longitud de onda adecuada para la correcta toma de datos.
- Detectores de radiación. Son los encargados de recibir la radiación tras el paso por la muestra. Suelen ser fotodiodos agrupados en una matriz que junto con una serie de circuitos grabados sobre un chip forman el núcleo del espectrógrafo.

2. Herramientas para la realización del modelo

2.1. Máquina de ejemplo

La máquina en la que está basada la simulación que se desarrolla en este trabajo fin de grado corresponde a un prototipo cedido por la compañía Roda Ibérica para tareas de investigación. La función de esta máquina, dentro de todo el proceso de calibración y clasificación de frutas, es la recopilación de información del producto mediante métodos electrónicos. En función de la clasificación de las máquinas calibradoras explicada en apartados anteriores, esta máquina se clasifica como calibradora electrónica de Visión Artificial para fruta esférica de rodillos bi-cónicos.



Figura 2.1: Vista de la máquina calibradora en la que se basa el proyecto

El funcionamiento de la máquina consiste en el movimiento de una cadena principal mediante un motor eléctrico de 0.37 KW, a los eslabones de la cadena se acoplan los rodillos bi-cónicos que se encargan del traslado de la fruta de manera individual. El sistema de visión artificial está formado por una cámara modelo Manta G-125C de ALLIED TECHNOLOGIES capaz de tomar 30 imágenes/s con una resolución de 1292x964 píxeles, y por un sistema de iluminación que proporciona luz estroboscópica que está formado por tiras de LED PLCC2 SMD, de 3 mm de grosor y separados entre sí 10 mm, siendo la intensidad lumínica de aproximadamente 20 lm/cm. Para que la toma de datos sea completa, la máquina dispone de un sistema interno formado por una cadena y transmisiones de correa, estas correas están en contacto con los rodillos bi-cónicos y los dotan de giro, este giro a su vez hace que la fruta gire y de esta forma la cámara puede tomar imágenes de toda la superficie de la fruta, ya que la fruta rota a la vez que avanza a través del sistema de visión.

2.2. Autodesk inventor

El programa Inventor es un producto de la empresa Autodesk, una compañía estadounidense reconocida a nivel mundial que cuenta con otros importantes productos en el mercado. El más conocido es probablemente "AutoCAD", especialmente utilizado para la creación de planos e imágenes 3D, pero hay otros destinados a otros campos del diseño como "Maya", para la animación digital, o "Autodesk Vault", destinado a la gestión y el almacenamiento de datos.

El programa se ubica en el campo de la ingeniería mecánica, destinándose al diseño, creación y simulación de piezas y ensamblajes con la ayuda de numerosas herramientas que facilitan el uso del programa. Respecto al sistema de creación, Inventor usa el modelo paramétrico, es decir, las piezas se crean a partir de bocetos 2D en los que el usuario introduce una serie de valores como cotas, de forma que si se cambia alguno de esos parámetros, el programa actualiza automáticamente las nuevas dimensiones.

Aparte del diseño de piezas, el programa también permite agruparlas en ensamblajes donde se aplican restricciones para ir reduciendo los grados de libertad entre ellas, además incorpora una biblioteca bastante extensa de todo tipo de piezas normalizadas. El programa tiene capacidad para ensamblar un número elevado de piezas, por lo que la complejidad y el tamaño que pueden alcanzar los ensamblajes son elevados, para facilitar los diseños "Inventor" permite realizar ensamblajes de otros ensamblajes más pequeños.

La versión del programa "Profesional" incorpora algunas herramientas más avanzadas, propias de programas de nivel medio-alto, como el análisis de tensiones mediante elementos finitos de los ensamblajes creados.

Los formatos que utiliza inventor (.ipt), (.iam), (.idw) o (.dwg) son compatibles con muchos de los programas creados por "Autodesk" como "AutoCAD" incluso con programas de otros fabricantes como ANSYS, un software de alto nivel especializado en el análisis por elementos finitos, esta característica aumenta sin duda la calidad y la utilidad del programa.

3. Diseño de las piezas de la máquina

En el siguiente apartado se explican todos los procedimientos necesarios para la creación de todas las piezas necesarias para el simulado de la máquina calibradora de cítricos. Para saber las medidas de las piezas reales, se han utilizado diversas fotografías que se encuentran en el Anexo.

3.1. Piezas estructurales

3.1.1. Estructura principal

Esta es la pieza central del ensamblaje sobre la que se restringen el resto de piezas. Para su creación se aprovecha que gran parte es simétrica. Para empezar se crea un boceto en el plano XY y se dibuja un cuadrado de 700 mm de lado y se restringe simétricamente respecto al plano YZ. Se finaliza el boceto y se extruye 30 mm.

Se sigue con la creación de las barras laterales de la estructura, para ello, se crea un nuevo boceto sobre el plano extruido, y se dibuja un cuadrado de 30 mm de lado, restringiéndolo a la esquina superior izquierda de la extrusión anterior. Se finaliza el boceto y se extruye el boceto 1245 mm. Mediante la herramienta de patrón rectangular se coloca una barra en cada esquina, para ello, se seleccionan como direcciones el eje X e Y, 2 componentes en cada dirección y espaciado de 670 mm.

La siguiente operación es crear un plano paralelo al XY desfasado 550 mm que contendrá las barras verticales de la estructura. Se crea un nuevo boceto sobre el plano XZ y se dibuja otro rectángulo de 50x30 mm aplicando la restricción de simetría respecto en nuevo plano creado. Se extruye el boceto 640 mm aplicando equidistancia a ambos lados del plano de extrusión.

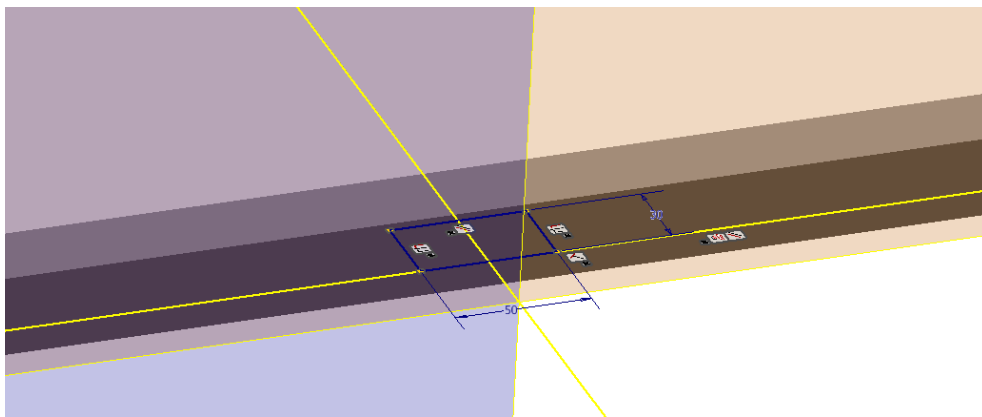


Figura 3.1: Boceto para la creación de las barras verticales de la estructura

Para la creación de la segunda barra vertical se utiliza nuevamente la herramienta de patrón rectangular, solo en la dirección del eje X y 2 componentes separados 670 mm.

Se crea un nuevo boceto sobre el mismo plano XY, dibujando un rectángulo de 540x50 mm y restringiéndolo simétricamente respecto al plano de trabajo 1 creado. Este boceto se extruye de

forma asimétrica, 155 mm por la parte superior y 160 mm por la parte inferior y se le aplica un empalme de 10 mm en sus 2 esquinas superiores.

Todas las partes creadas hasta el momento son simétricas, por lo tanto se aplica simetría a la pieza y se crea un plano medio que será útil tanto para posteriores operaciones como para las restricciones de la estructura en la fase de ensamblado.

Es necesaria la creación de una abertura para la salida del producto, para ello se realiza una extrusión negativa de un boceto creado sobre el plano XY que consiste en un cuadrado de 300 mm de lado, con la arista horizontal inferior restringida colonialmente al plano XZ. Posteriormente se restringirá una chapa para facilitar dicha salida, por lo que es necesario la creación de unos rebordes. En la siguiente imagen se puede ver el boceto utilizado que se extruye 5 mm y se le aplica una simetría respecto el plano YZ.

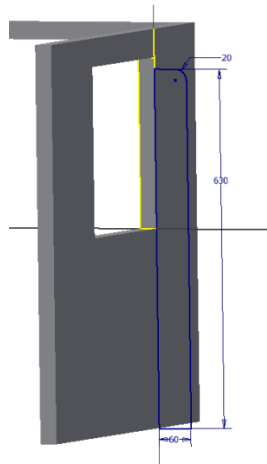


Figura 3.2: Boceto de los rebordes de la estructura

El siguiente paso es crear las guías sobre los que se fijarán los ejes que permiten girar la cadena principal de la máquina, para ello se crea un boceto en la cara interior del extremo de la estructura al que anteriormente se le ha aplicado la extrusión negativa. Es importante que la distancia del eje de simetría del boceto al plano YZ sea de 150 mm, y la distancia de la arista horizontal superior del boceto al plano XZ sea de 28 mm. Finalmente se extruye 510 mm.

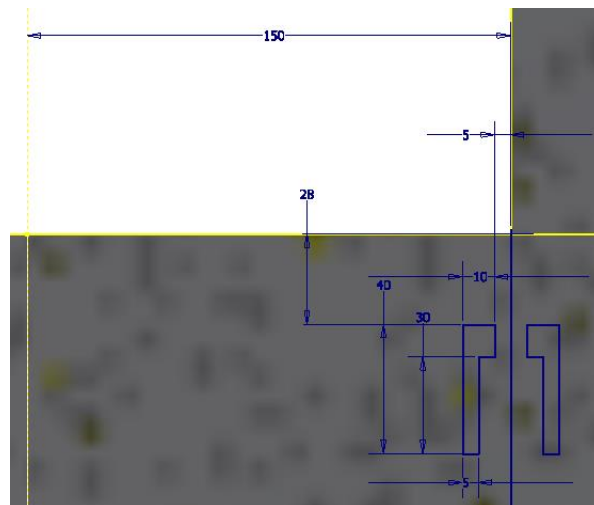


Figura 3.3: Boceto de la sección de las guías

En el otro extremo de la estructura, se crean 2 guías como la anterior. Para ello se crea la primera de ellas con el procedimiento antes explicado y se aplica un patrón rectangular en la dirección del eje X de 2 componentes y 300 mm de espaciado.

Para crear la base de la pieza, se crea un boceto sobre el plano medio de la estructura. Un rectángulo de 750x150 mm y restringido de forma colonial a las aristas inferiores de las barras horizontales. En este caso, la extrusión no es simétrica, 1290 mm por la parte izquierda y 1330 mm por la parte derecha.

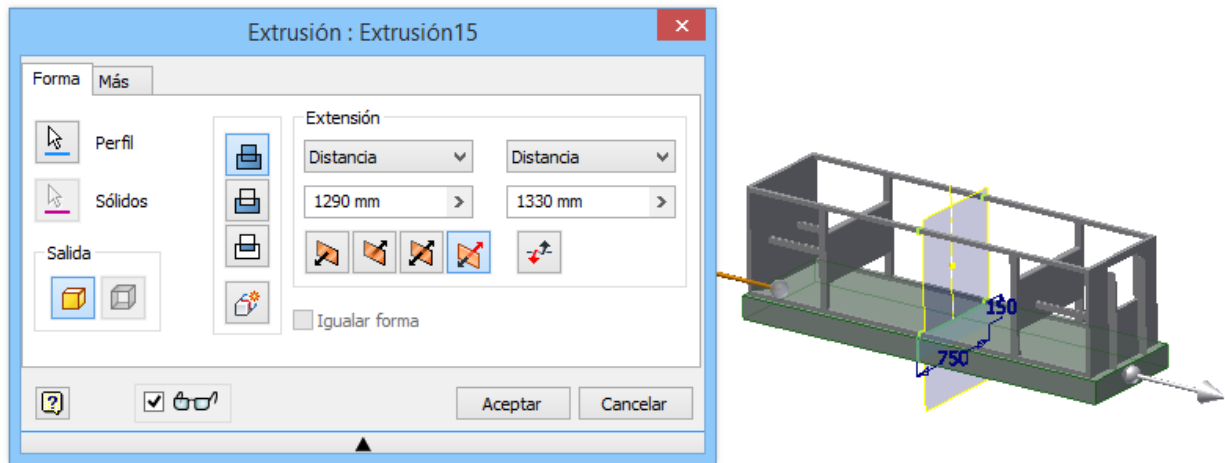


Figura 1.4: Extrusión de la base de la estructura

Por último, se crean las patas de la estructura con la ayuda de la herramienta de elevación. Esta herramienta requiere 2 bocetos, el primero se crea sobre la cara inferior de la base y consta de un cuadrado de 120 mm de lado con sus aristas paralelas a los ejes y con sus ejes de simetría situados a 200 mm del plano YZ y 220 mm del plano de trabajo 1.

Para el segundo boceto se tiene que crear un plano de trabajo paralelo a la base de la estructura y a una distancia de 300 mm. El boceto consiste en otro cuadrado de 50 mm de lado pero en este caso las aristas tienen un ángulo de 45 grados respecto a los planos. Los ejes de simetría se sitúan a la misma distancia que en boceto anterior. Con los 2 bocetos creados se aplica la elevación entre ambos. El resto de patas se crean con un patrón rectangular de 2 componentes a lo largo de la dirección del eje X separados 400 mm, y 2 componentes a lo largo del eje Z y separados 1865 mm. La pieza resultante se puede ver en la siguiente imagen.

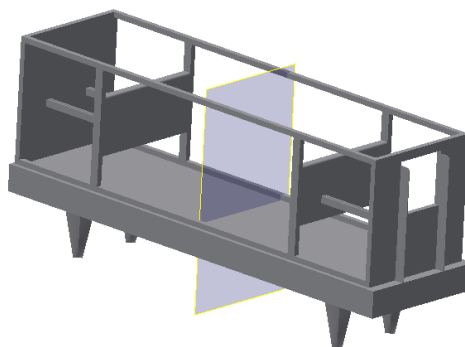


Figura 3.5: Estructura principal de la máquina

3.1.2. Guía para el apoyo de las correas.

Esta pieza es la guía necesaria para apoyar los ejes del sistema cadena-correa del interior de la máquina. El perfil de estas guías es exactamente igual que el perfil de las guías que forman parte de la estructura principal creadas anteriormente. El motivo por el que se crean separadas de la estructura es para facilitar el futuro ensamblaje del sistema cadena-correa a la estructura principal. Como ya se ha dicho, el boceto es el mismo que el presentado anteriormente y la longitud de extrusión simétrica es de 1370 mm.

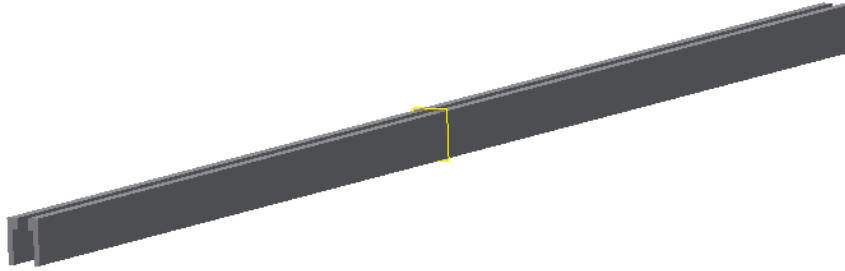
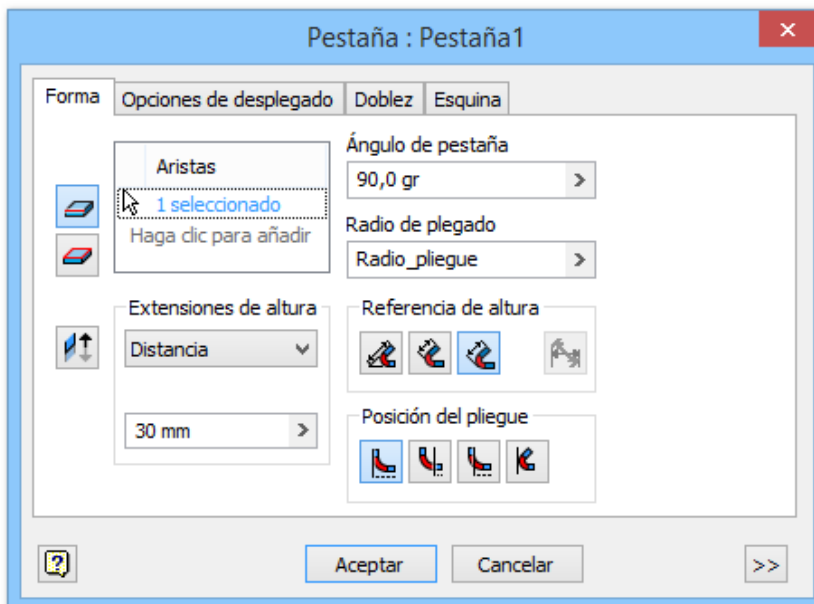


Figura 3.6: Guías para el apoyo de los ejes interiores

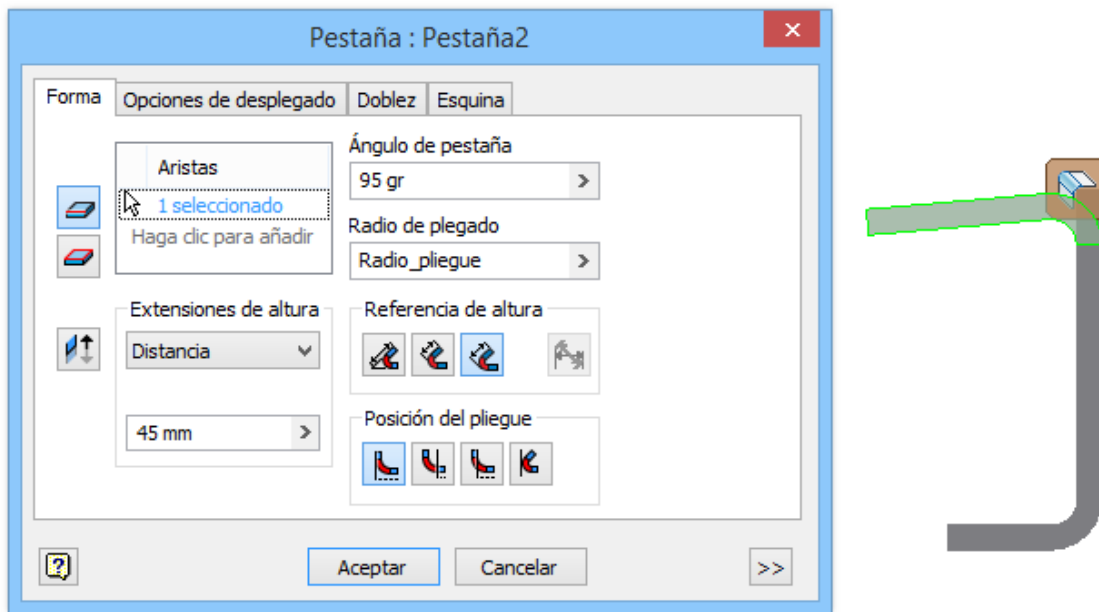
3.1.3. Protección de correa

Para la creación de esta pieza se utiliza la herramienta de chapa. Se crea un boceto y se dibuja un rectángulo de 70x5 mm y se extruye simétricamente 200 mm.

Luego se crean 2 pestañas con la configuración que se puede ver en las siguientes imágenes.



a)



b)

Figura 3.7: Configuración de las pestañas para la protección de correa: inferior (a) y superior (b)

3.1.4. Chapa superior

Aquí nuevamente se emplea la herramienta de chapa. Se empieza con la creación de un boceto como el de la siguiente imagen.

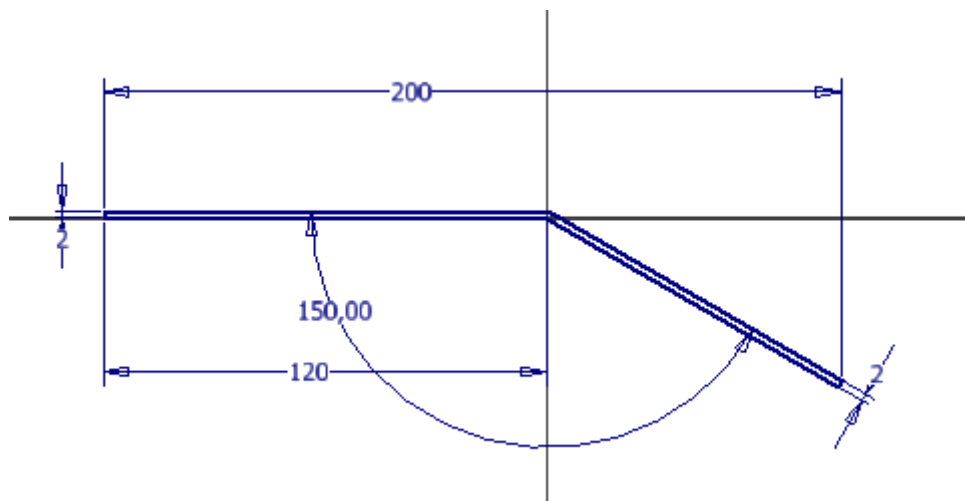


Figura 3.8: Boceto del perfil de la chapa superior

Este boceto se extruye el boceto simétricamente 2000 mm. A continuación, se hace un reborde al final de cara inclinada con las características que se aprecian en la imagen. El último paso es la creación de una pestaña al final de la cara horizontal de la pieza de 50 mm de largo y un ángulo de 90 grados.

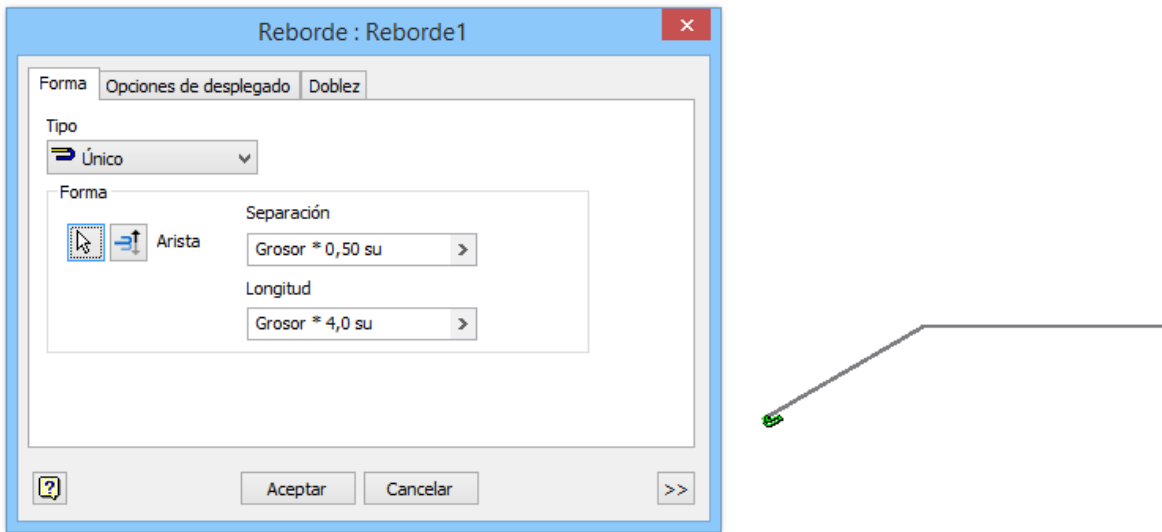


Figura 3.9: Configuración para la creación del reborde de la chapa superior

3.1.5. Soporte del motor eléctrico pequeño

Continuando haciendo uso de la herramienta de chapa, se crea una cara de chapa a partir de un boceto rectangular de 300x150 mm sobre el plano XY, restringido simétricamente respecto al plano XY. A continuación se crea en uno de los extremos una pestaña de 50 mm de largo y ángulo de 90 grados y en el otro, se crea un reborde de longitud 4 veces el espesor de la chapa. Finalmente se crean 2 agujeros de 10 mm de diámetro en la pestaña, con centro situado a 25mm de la arista superior y 25 mm de la arista lateral.

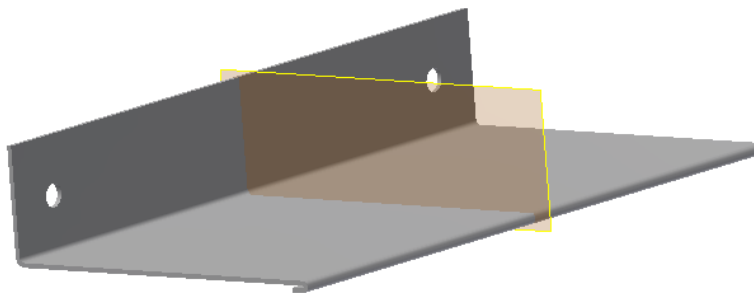


Figura 2: Soporte para el motor eléctrico pequeño

3.1.6. Soporte del motor eléctrico grande

La pieza esta creada como una chapa de 5 mm de espesor. Se empieza con un boceto rectangular de 450x180 mm y se restringe simétricamente respecto al plano XY. Con este boceto se crea una cara de

chapa y a continuación una pestaña de 50 mm de largo sobre la arista de 180 mm. En la arista opuesta se crea un reborde de longitud 4 veces el espesor de la chapa. Para terminar se crean 2 agujeros de diámetro 10 en la cara de la pestaña con centro situado a 25 mm de los bordes superior y lateral.

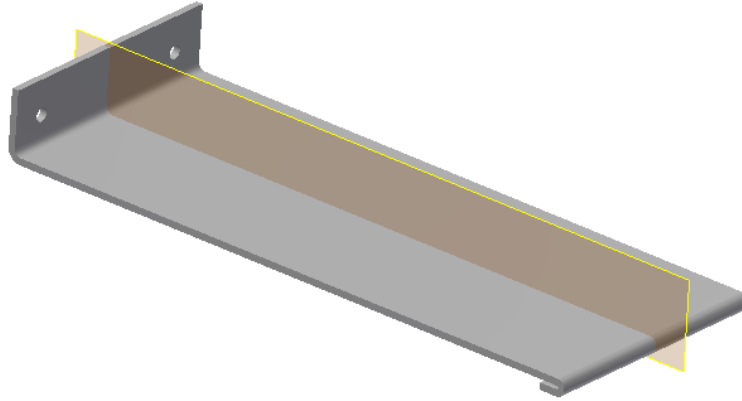


Figura 3.11: Soporte para el motor eléctrico grande

3.1.7. Tirante

Se empieza con la creación de una cara de chapa a partir de un boceto formado por un rectángulo de 30x180 mm. Posteriormente se crean 2 pestañas de 30 mm, una en cada extremo de la cara creada con ángulos de 30 y 60 grados respectivamente. Finalmente se crean 1 agujero de 10 mm de diámetro sobre cada pestaña con centro situado a 15 mm de los lados.

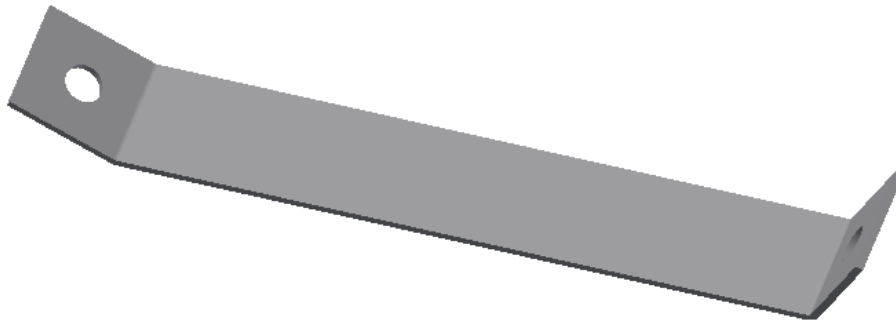


Figura 3.12: Tirante

3.1.8. Chapa para la salida del producto de la máquina

Se empieza creando un boceto en el plano YZ como el de la siguiente imagen.

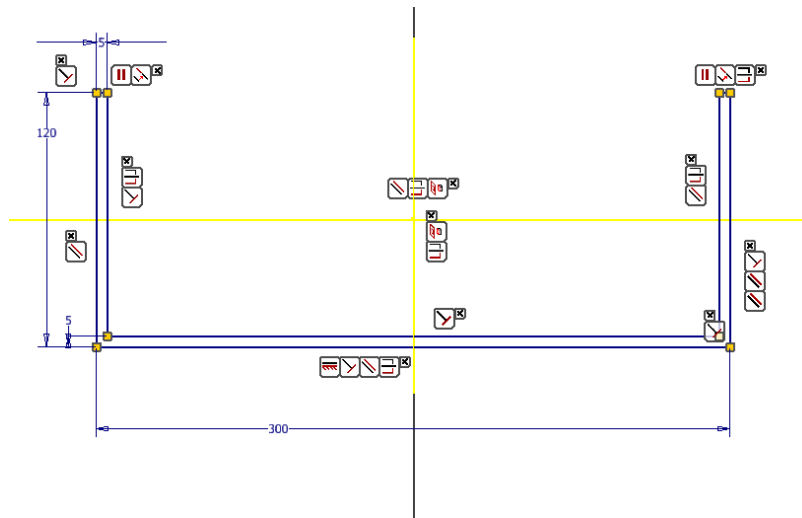


Figura 3.13: Boceto principal de la chapa para la salida del producto

Se extruye el boceto de forma simétrica 300 mm. A continuación se crea un nuevo boceto en una de las caras laterales de la pieza y se dibuja otro boceto como el de la siguiente imagen.

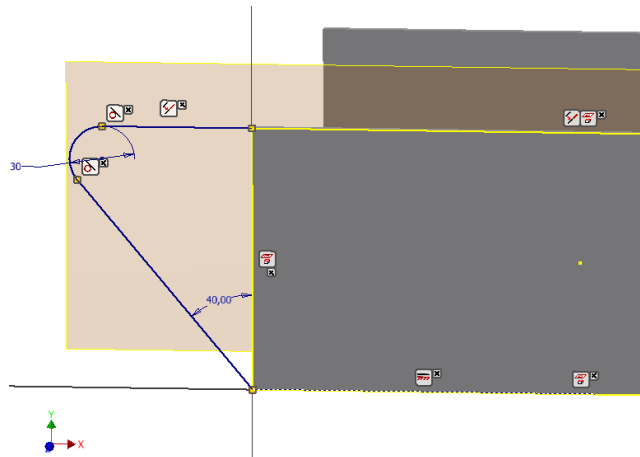


Figura 3.14: Boceto para la creación de parte de los laterales de la pieza

Este último boceto se extruye 5 mm y aplicándose simetría de esta operación respecto al plano XY. Finalmente se realiza un empalme de 2.5 mm para redondear las esquinas laterales de la pieza, tanto interiores como exteriores.

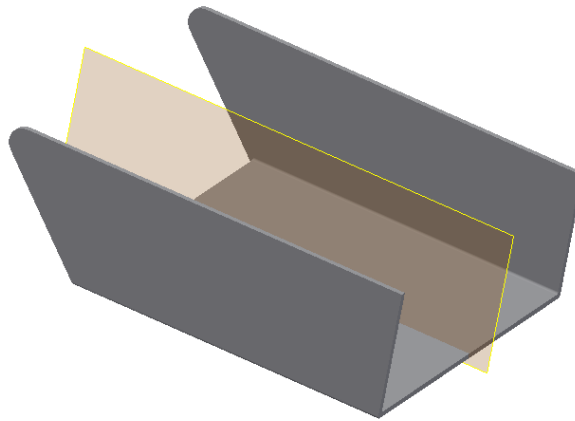


Figura 3.15: Chapa para la salida del producto

3.2. Cadena principal

Las siguientes pizas forman parte de la que denominamos cadena principal de la máquina. Es la cadena movida por el motor principal y que transporta la fruta.

“Autodesk Inventor” dispone de una herramienta para la creación de cadenas de rodillos, a la cual se accede fácilmente desde el menú diseño. Permite elegir el tipo de eslabón normalizado se quiera, el número de ruedas que se desee y el número de dientes de cada una de ellas. Una vez introducidos los datos necesarios se acepta y automáticamente se crean las ruedas y la cadena. El problema surge con la representación que el programa hace de los eslabones. Estos están creados como un barrido y no como eslabones unidos. Para reproducir la máquina calibradora de fruta, es necesario que se puedan ver los eslabones de la cadena principal, ya que hay piezas que están unidas a estos. Por ese motivo se tiene que crear la cadena sin usar la herramienta que proporciona “Autodesk Inventor”, con las ventajas e inconvenientes que esto conlleva.

Se empieza con la creación de una cadena con la herramienta proporcionada por “Autodesk inventor” desde un archivo de ensamblaje. El objetivo es aprovechar que la herramienta también crea las ruedas dentadas, que sí son útiles para el procedimiento alternativo.

Al abrir la herramienta se accede al menú de propiedades de cadena, y se selecciona el eslabón *DIN-8160-1999-20 Cadenas de casquillos de baja velocidad*.

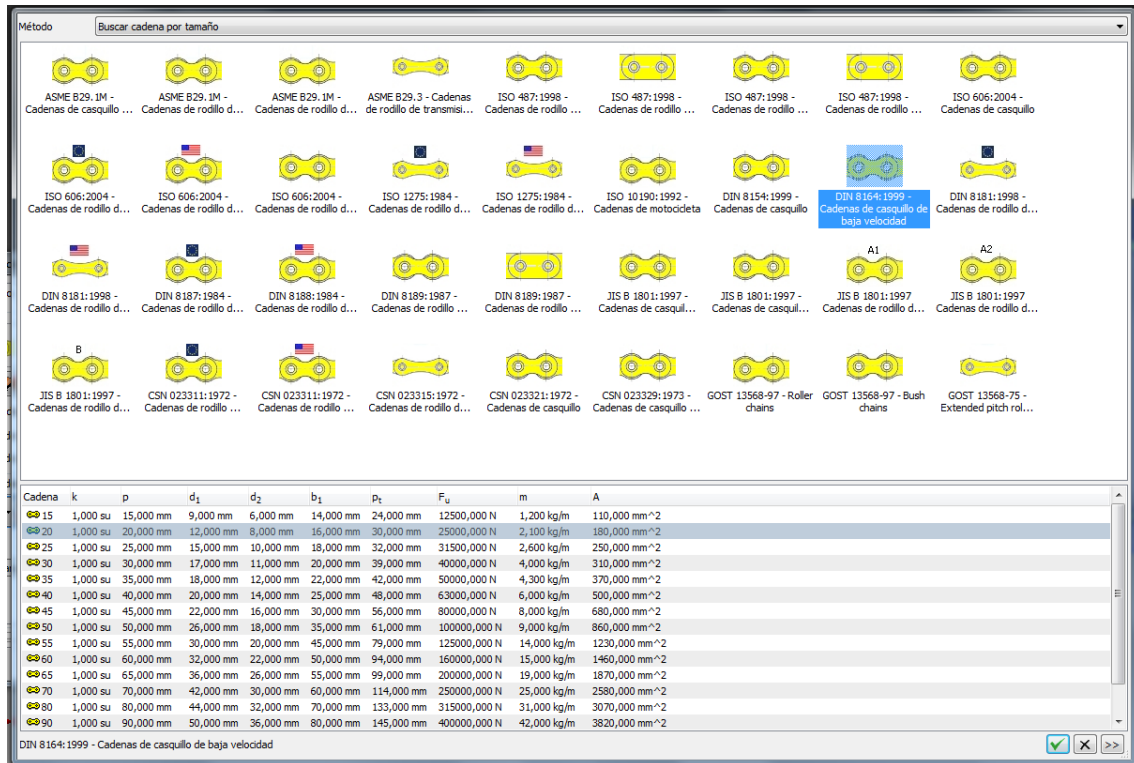


Figura 3.16: Menú de selección de eslabones normalizados

Para la máquina de fruta, ambas ruedas tienen el mismo diámetro por lo que en ambas ruedas se introducen las mismas características. En el menú de propiedades de la rueda se cambia el número de dientes, introduciendo 69, entonces en la casilla de diámetro primitivo aparecerá 439.419 mm.

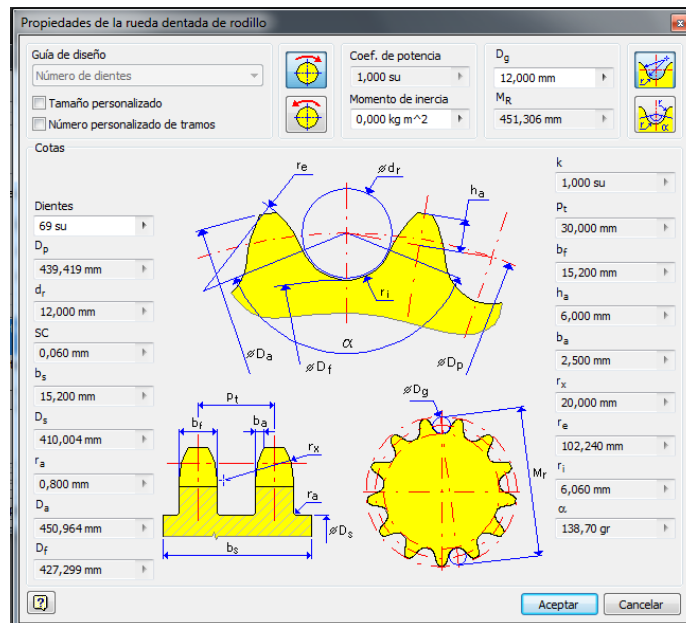


Figura 3.17: Menú de propiedades de la rueda dentada para el tipo de eslabón seleccionado

Como se ha explicado anteriormente, la cadena creada no se puede utilizar en el ensamblaje al no poder visualizar los eslabones pero, se va guardan las ruedas dentadas creadas con el nombre plato dentado para su posterior uso. Este hecho supone una gran ventaja por la dificultad que tiene dibujar una rueda dentada con las medidas normalizadas y con el perfil de diente correcto. Por lo tanto una vez guardada la rueda dentada cerraremos el archivo.

3.2.1 Eslabones

Para el diseño de los eslabones se ha optado por diseñar cada una de las piezas que los componen por separado y posteriormente ensamblarlas conjuntamente en un nuevo archivo. Las piezas que forman parte de los eslabones son: Rodillo, cojinete, pasador, lateral interior y lateral exterior. Las medidas para las piezas corresponden al tipo de eslabón que se eligió para la creación de la cadena con la herramienta que proporciona "Autodesk inventor". En la figura inferior se muestran dichas medidas.

Cadena	k	p	d ₁	d ₂	b ₁	p _t	F _u	m	A
15	1,000 su	15,000 mm	9,000 mm	6,000 mm	14,000 mm	24,000 mm	12500,000 N	1,200 kg/m	110,000 mm ²
20	1,000 su	20,000 mm	12,000 mm	8,000 mm	16,000 mm	30,000 mm	25000,000 N	2,100 kg/m	180,000 mm ²

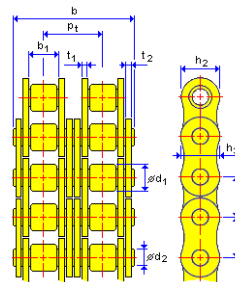


Figura 3.18: Medidas normalizadas del eslabón

Rodillo

Para la creación del rodillo es necesaria la variable d₁ que corresponde al diámetro máximo del rodillo. La variable d₂ corresponde al diámetro máximo del pasador, por lo tanto como entre el pasador y el rodillo va el cojinete, se toma como diámetro interior del rodillo 10 mm. Por lo tanto, se crea un boceto en el plano XY y se dibujan 2 círculos concéntricos, de 10 y 12 mm de diámetro. Finalmente se extruye el boceto siendo la variable b₁, distancia mínima entre placas interiores, la longitud de extrusión. Se realiza la extrusión de 16 mm con la condición de simetría de forma que el plano XY quede a la mitad de la pieza.

Cojinete

Para crear el cojinete se realizan los mismos pasos que para el rodillo. Primero se crea un boceto con dos círculos concéntricos de 10 y 8 mm de diámetro. En el montaje, el cojinete va insertado a los laterales del eslabón, por lo que la distancia a extruir es la distancia mínima entre placas más 2 veces la anchura del lateral del eslabón. Como los laterales de los eslabones tienen 3 mm de ancho, la extrusión simétrica es de 22 mm.

Pasador

El pasador se crea con una simple extrusión de una circunferencia de diámetro d_2 , diámetro máximo del pasador. La longitud mínima ha de ser la longitud del cojinete más dos veces la anchura del lateral exterior, que será de 3 mm, por lo tanto se dibuja la circunferencia de 8 mm y se extruye 32 mm. Finalmente se le aplica un empalme de 0.4 mm en los extremos.

Lateral interior

Para el diseño de esta pieza, se va a utilizar el parámetro p de la tabla, la distancia entre centros. Esta distancia es la que separa los centros de los pasadores que unen los eslabones siendo a su vez la distancia entre los centros del entalle de 2 dientes consecutivos. Para comprobarlo se abre la rueda dentada guardada anteriormente y se crean dos ejes concéntricos a la circunferencia de entalle. La distancia entre estos dos ejes es también el parámetro p , es decir, el paso de los eslabones de la cadena tiene que ser igual a la distancia entre los centros de las circunferencias de entalle. En la siguiente imagen se puede comprobar cómo la distancia coincide con el parámetro de la tabla.

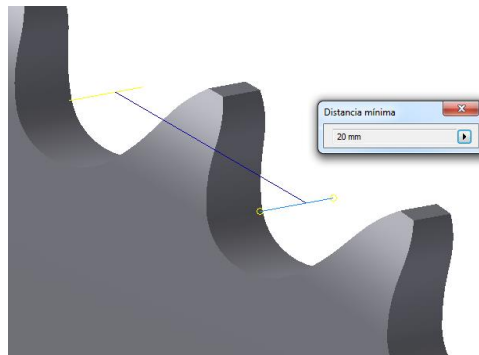


Figura 3.19: Distancia entre los ejes de dos circunferencias de entalle consecutivas

Pero en el caso que nos ocupa, los eslabones que se necesitan para la cadena no tienen que engranar cada 2 valles consecutivos sino que es necesario que se deje un valle en medio para que pueda engranar el perno que une al eslabón las piezas necesarias para el transporte de las piezas. Por lo tanto, se crean 2 ejes concéntricos al radio de entalle, dejando un valle de separación entre ambos y se mide la distancia mínima entre ellos. Para la rueda dentada guardada, esta distancia es de 39.959 mm que será el paso de los eslabones que se utilizaran para la cadena. En la siguiente imagen se puede ver la distancia.

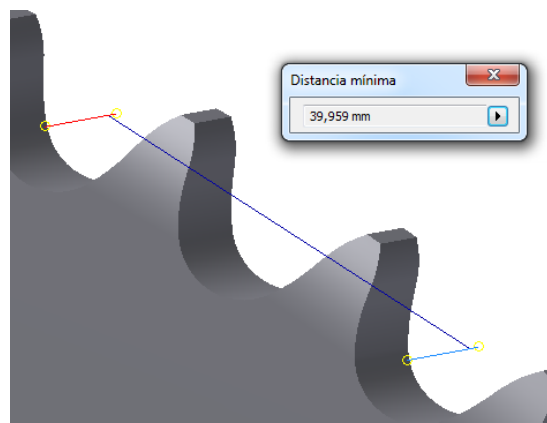


Figura 3.20: Distancia utilizada para el paso del eslabón

La altura del lateral tiene que ser ligeramente superior al diámetro del rodillo, 15 mm y el ancho extruido como se ha comentado anteriormente es de 3 mm. Las circunferencias interiores tienen el radio de los cojinetes sobre los que se inserta esta cara y la circunferencia central por donde se inserta el perno tiene 8 mm de diámetro.

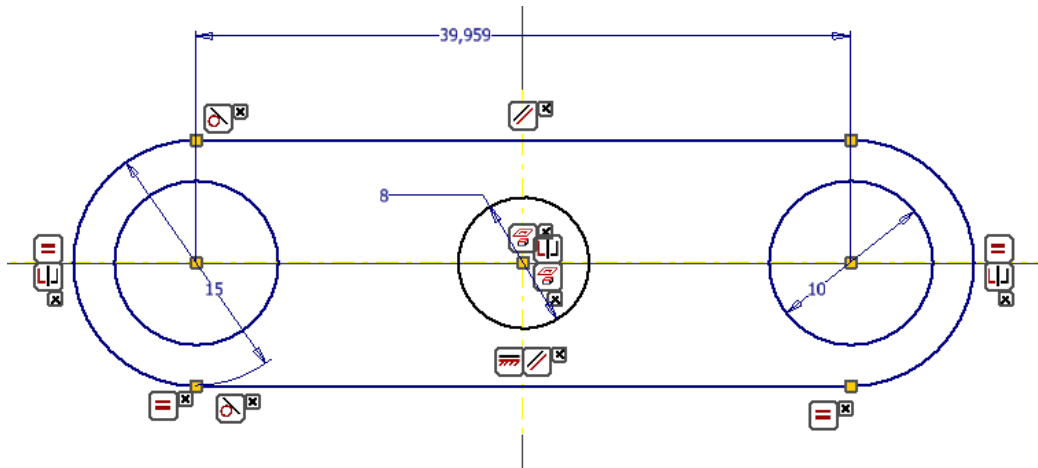


Figura 3.21: Boceto de la vista principal del lateral interior

Para finalizar se realiza un empalme de 0.4 mm en las aristas exteriores.

Lateral exterior

Este lateral se crea de la misma forma que la anterior, solo se cambia el diámetro de las circunferencias de los extremos de 10 a 8 mm, el diámetro los pasadores.

3.2.2. Recorrido 1

Esta pieza es el recorrido imaginario por el cual se deslizara la cadena. Está formada por un boceto sobre el plano XY. La longitud total del recorrido ha de ser igual a la longitud total de los eslabones que formen la cadena y la distancia entre ejes ha de ser cercana a los 2m. La ecuación que debe cumplirse es la siguiente:

$$N^{\circ} \text{ eslabones} \times \text{distancia entre pasadores} = 2\pi r + 2 \times \text{distancia entre ejes}$$

Para la simulación se van a considerar 132 eslabones y el radio del recorrido ha de ser necesariamente el radio primitivo de la rueda dentada. Por lo tanto se puede despejar la distancia entre ejes que resulta ser de 1947.997mm.

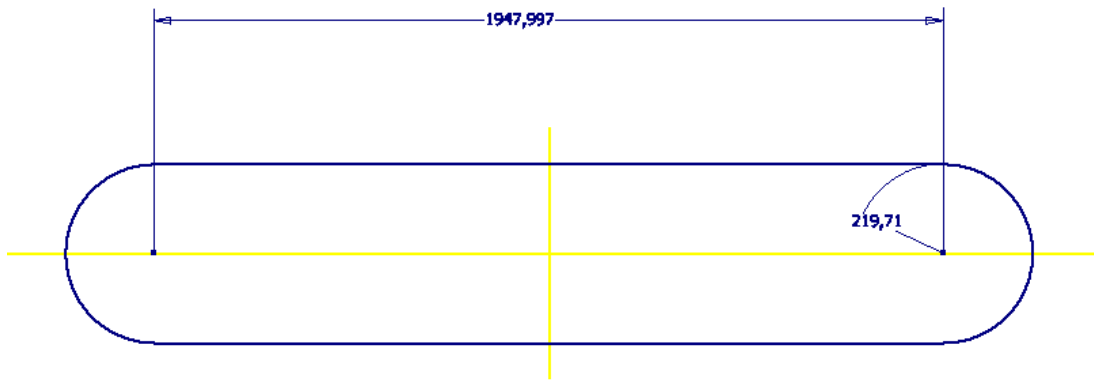


Figura 3.22: Recorrido imaginario de la cadena

Se finaliza el boceto y se crean dos ejes paralelos al eje Z y que pasen por los centros de ambas circunferencias. Estos ejes son muy importantes pues son imprescindibles para la simulación dinámica.

3.2.3. Recorrido 2

Esta pieza representa el recorrido imaginario tangente a los rodillos de los eslabones. Se crea un boceto formado por 2 circunferencias de radio 213.71 mm y una distancia entre ejes igual a la anterior, 1947.997 mm.

3.2.4. Rodillo bi-cónico

El diseño de esta pieza empieza con la creación de un boceto como el que se muestra en la siguiente imagen.

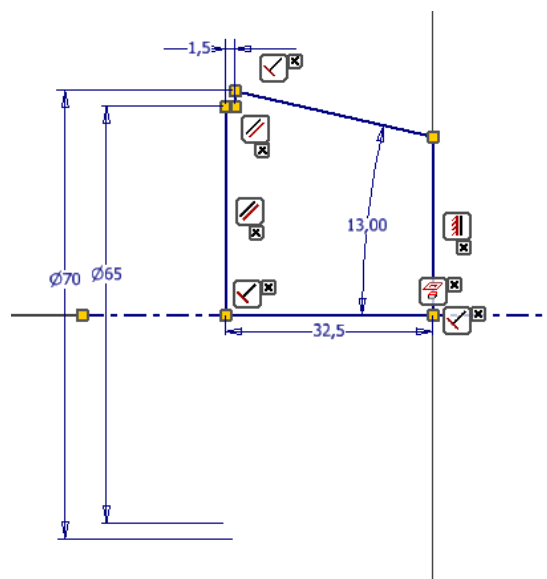


Figura 3.23: Boceto de la revolución del rodillo bi-cónico

Se dejan como variables los diámetros exteriores del diábolo, su anchura, el reborde para las correas y el ángulo de la cara de contacto con la fruta. A este boceto se le aplica una revolución de 360 grados.

La siguiente operación que se realiza es un vaciado a la pieza. Para ello se selecciona la primera y se introduce un grosor de 2.5 mm, por otra parte, en el menú de grosor de cara única se selecciona la cara interior del fondo y se aplica un grosor de 5 mm.

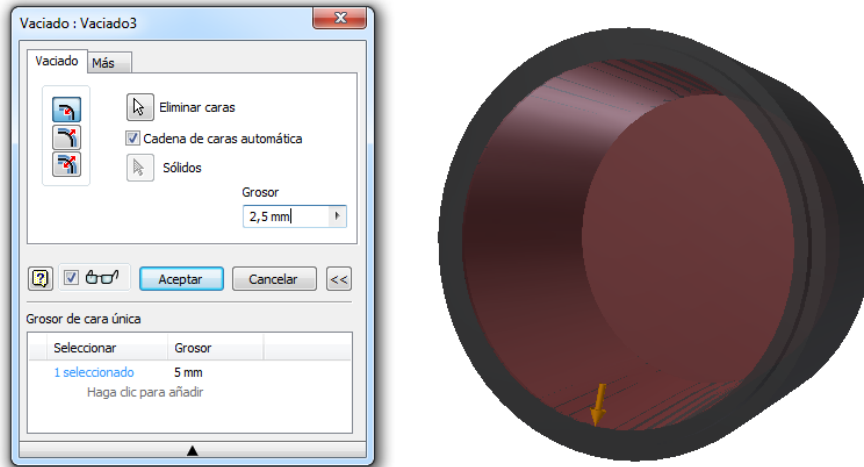


Figura 3.24: Menú de características de la operación de vaciado

Se sigue con una extrusión de 18 mm de un boceto creado en la cara interior del diábolo y formado por una circunferencia de 15 mm de diámetro. Una vez hecha la extrusión se crea un nervio interior mediante la herramienta del programa con el mismo nombre. Es necesario un boceto como el de la siguiente figura para poder realizar la operación.

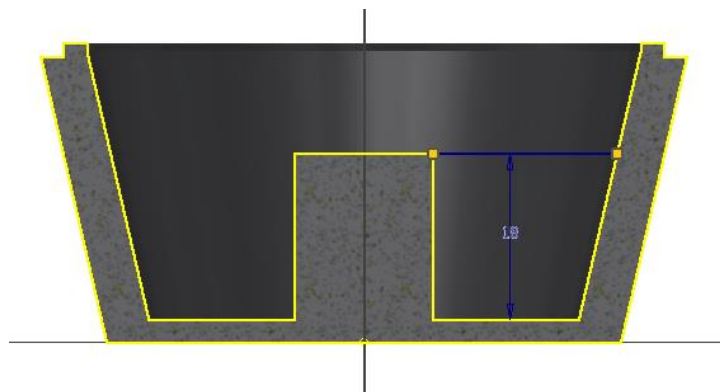


Figura 3.25: Boceto para la operación de nervio

Una vez hecho el nervio se le aplica un patrón circular de 4 componentes y 360 grados. La siguiente parte que se crea son unos relieves en la cara exterior del diábolo cuya función es mejorar el contacto diábolo-fruta. Para ello se crea un boceto como el de la imagen en el plano YZ y se le aplica una revolución de 360 grados.



Figura 3.26: Boceto para los relieves del rodillo bi-cónico

A la revolución creada se le aplica un patrón circular de 360 grados y 8 componentes. Se aplican varios empalmes de 2.5 mm sobre la circunferencia de diámetro 70 mm y de 0.5 mm sobre la circunferencia de diámetro de 65 mm.

Todas las operaciones creadas hasta el momento en la pieza son simétricas respecto al plano YZ por lo que se aplica simetría de toda la pieza respecto a este plano.

Por último, en uno de los lados se extruye 49.5 mm una circunferencia de 15 mm de diámetro y se crea sobre ella un agujero pasante de 8 mm resultando la siguiente pieza.



Figura 3.27: Vista del rodillo bi-cónico

3.2.7. Perno

El perno se encarga de unir las piezas necesarias para el movimiento del producto a los eslabones de la cadena. Para su creación se empieza con una extrusión de una circunferencia de 8 mm de diámetro y 210.5 mm de largo. La cabeza de perno se crea en una de las caras a partir de una extrusión de 2 mm de una circunferencia de 10 mm de diámetro. Por cuestiones estéticas se aplica un chaflán de 1 mm de distancia a la cabeza del perno. Finalmente al otro extremo se le realiza una rosca de 14 mm de longitud del tipo ANSI M8x1.25.



Figura 3.28: Vista del perno

3.2.8. Arandela

Debido a las medidas especiales de la arandela no se ha podido encontrar ninguna en el centro de contenido que pueda valer, por ese motivo se crea. El diámetro interior es de 8 mm, el exterior de 15 mm, el espesor de la extrusión es de 1 mm.

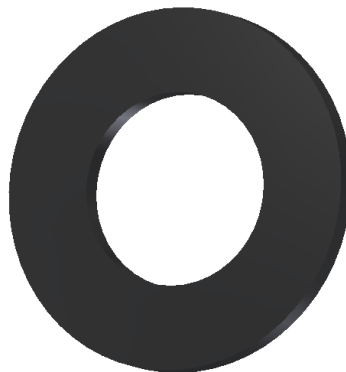


Figura 3.29: Vista de la arandela

3.2.9. Tuerca 467-M8

La tuerca utilizada también se tiene que crear debido a que entre las tuercas de la clase 467 que se encuentran en el centro de contenido no se encuentra la de métrica 8. La pieza se crea mediante una revolución a partir de un boceto como el de la siguiente imagen.

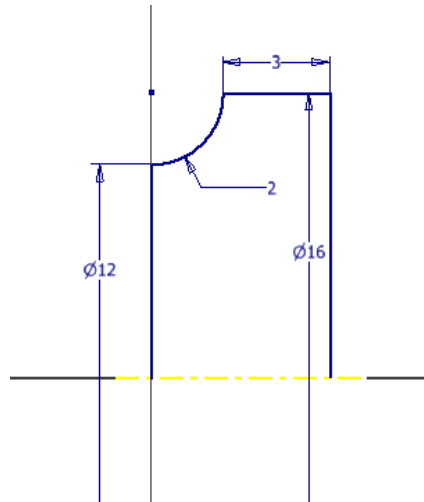


Figura 3.30: Boceto de la revolución de la tuerca 467 – M8

Para mejorar el roscado se crean unas muescas sobre la cara cilíndrica de diámetro 16 mm, para ello se crea una de las muesca mediante extrusión y se aplica un patrón circular. El agujero roscado es de métrica ANSI-M8x1.25. Finalmente se aplican unos chaflanes de 45 grados a las aristas.

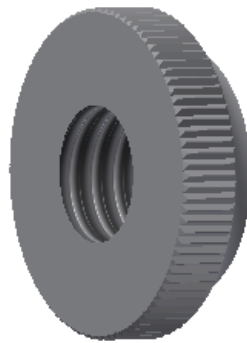


Figura 3.31: Vista de la tuerca

3.2.10. Apoyos de eje

Esta tipo de piezas sirven para poder fijar un eje a la estructura. Se necesitan 3 tipos de apoyos: uno para los ejes de la cadena principal y dos más para los ejes de las poleas interiores. Los tres tipos de piezas se crean de forma similar. El primer paso es crear un boceto del alzado de la pieza. El diámetro del agujero debe tener el mismo diámetro que los rodamientos que se utilizaran en el eje. En la siguiente imagen se puede ver el boceto de la pieza de apoyo del eje de la cadena principal.

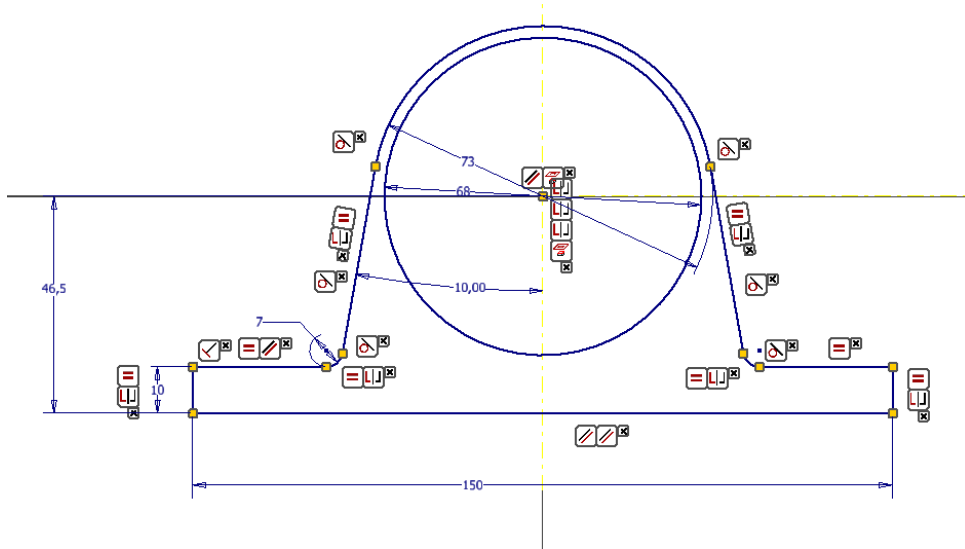


Figura 3.32: Boceto para la creación del apoyo para los ejes de la cadena principal

Es importante dejar como variable la distancia del centro de las circunferencias a la base de la pieza, en este caso, 46.5 mm. Para los apoyos de los ejes de las correas las distancias del centro a la base son de 40 y 65 mm respectivamente para el apoyo del eje que contiene a las poleas grandes y para el apoyo de los ejes que contienen a las poleas pequeñas. El boceto del alzado se extruye en los tres casos 30 mm, la misma anchura que tienen las guías.

El segundo paso es crear un tope para los rodamientos en uno de los extremos del agujero mediante una revolución en el interior. Para ello se crea un boceto respecto al plano YZ y se dibuja un cuadrado de 5 mm de lado. Este cuadrado tiene que estar restringido de forma colineal a las aristas de corte del plano sobre la pieza. Para finalizar, se aplica un empalme de 2 mm a todas las aristas exteriores de la pieza. A continuación se pueden ver los distintos apoyos para los ejes:



a)

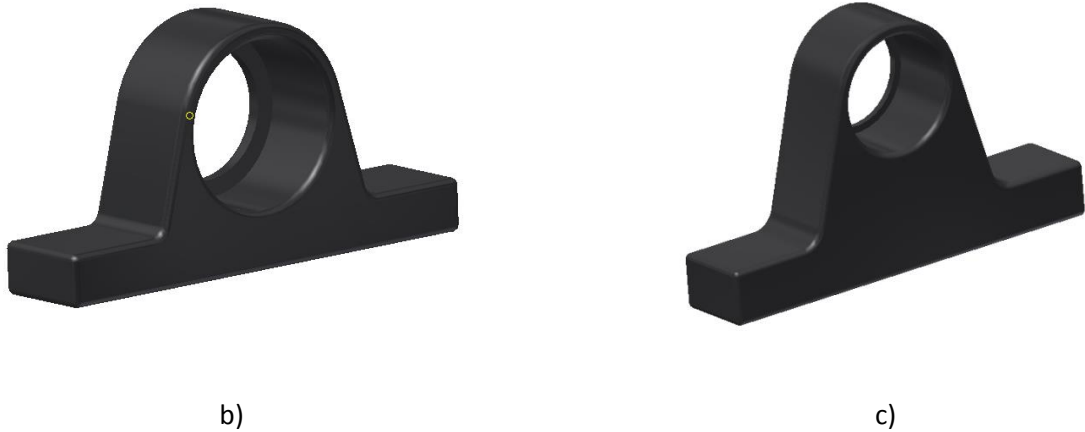


Figura 3.33: Perspectivas de las piezas para representar el apoyo del eje principal de la máquina (a), el eje de las poleas de mayor tamaño (b) y el de las poleas de menor tamaño (c)

1.2.11 Motores eléctricos

Estas piezas son de carácter visual, simulan las carcasas de los motores eléctricos que se necesitan para el correcto funcionamiento de la máquina. El motor principal de la máquina es el que transmite el giro a los platos dentados que mueven la cadena de rodillos. La segunda carcasa simula el pequeño motor que forma parte del sistema de correas interiores de la máquina.

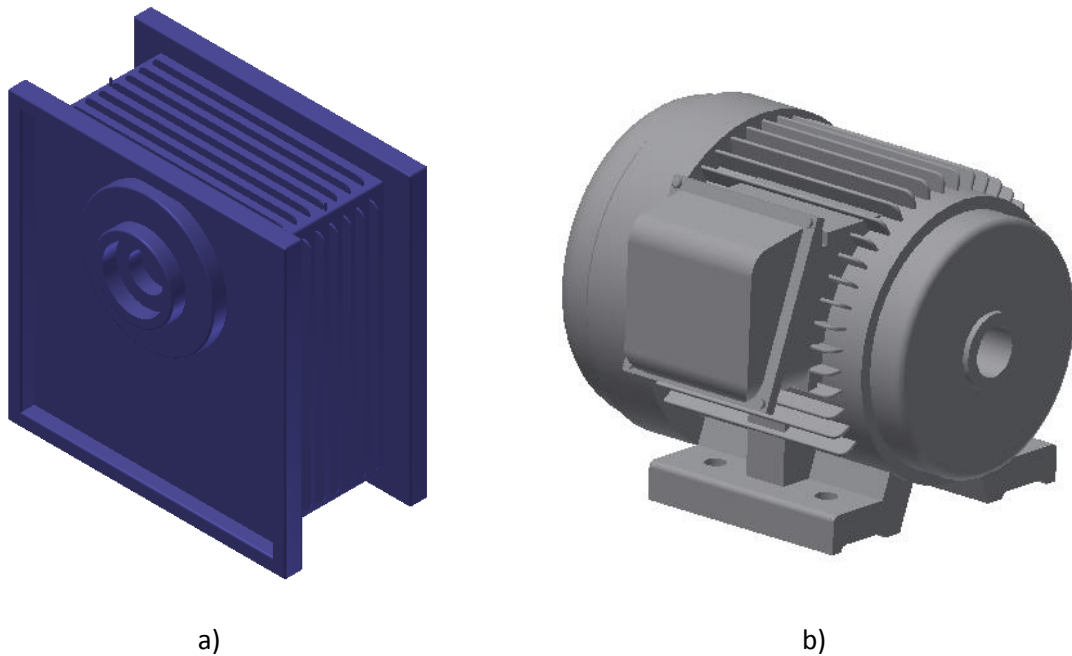


Figura3.34: Perspectivas de las piezas modeladas para representar el motor principal (a) y del sistema de correas (b) en el prototipo final

4. Ensamblaje de las piezas

Una vez se crean todas las piezas, el siguiente paso es crear ensamblarlas aplicando las restricciones necesarias. Para facilitar el proceso se realizaran primero subensamblajes de distintas partes de la máquina que finalmente se insertarán en un ensamblaje final.

4.1. Sistema de poleas de la máquina calibradora de fruta

El subensamblaje comienza con la creación de los ejes de las poleas. El primero de ellos corresponde al eje solidario con las poleas de mayor tamaño y el piñón pequeño de la cadena de rodillos. Se abre la herramienta para la creación de ejes y se crean 4 tramos distintos para el eje con las medidas que aparecen en la siguiente tabla:

Tramo	Longitud y diámetro	Distancia ranuras ANSI 27.7M
1	30 y $\varnothing 15$	7.55 mm (2ª arista)
2	20 y $\varnothing 40$	25 mm (2ª arista)
3	215.55 y $\varnothing 25$	44.2 mm, 57.5 mm (1ª arista) 44.2 mm, 57.5 mm (2ª arista)
4	50 y $\varnothing 20$	25 mm (1ª arista)

Tabla 4.1: Medidas de los tramos y ranuras para anillas de retención del eje que contiene las poleas de mayor tamaño y el piñón de la cadena.

El segundo, es el eje solidario con las poleas de menor tamaño. Las medidas para este eje son las siguientes:

Tramo	Longitud y diámetro	Distancia ranuras ANSI 27.7M
1	50 y $\varnothing 15$	25 mm (2ª arista)
2	215.55 $\varnothing 20$	41.7 mm, 55 mm (1ª arista) 41.7 mm, 55 mm (2ª arista)
3	50 $\varnothing 15$	25 mm (1ª arista)

Tabla 4.2: Medidas de los tramos y ranuras para anillas de retención del eje que contiene las poleas de menor tamaño

En cada ranura creada se inserta desde el centro de contenido una anilla de retención ANSI B27.7M 3CMI. Las siguientes piezas que se restringen a los ejes son los rodamientos, 2 a cada uno de ellos. Se crean con la herramienta proporcionada por "Inventor". Los rodamientos escogidos son los rodamientos de bolas de 4 puntos de contacto Rollar Bearing GB/T 194. Para el eje de las poleas pequeñas se selecciona el tamaño QJ104, mientras que para el otro eje se selecciona el tamaño QJ105. Las caras de los ejes sobre la que se restringen los rodamientos son para ambos ejes las mismas, entre las anillas de retención del tramo más largo del eje. A continuación se insertan los distintos apoyos para los ejes, 2 para cada eje. En primer lugar se restringe el eje del agujero de los apoyos al eje de los rodamientos y a continuación se aplica una restricción de coincidencia de 1 mm

entre la cara lateral externa del rodamiento y la cara lateral interna de los apoyos. En la siguiente imagen se puede apreciar esta restricción.

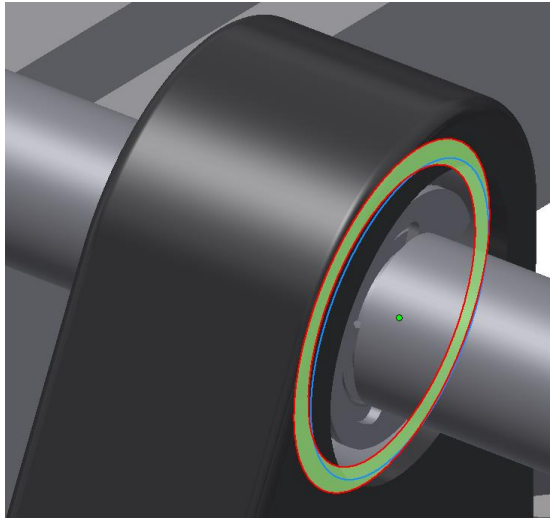


Figura 4.1: Restricción de coincidencia de 1mm entre el rodamiento y el apoyo del eje

Con esta restricción se consigue que en el ajuste del eje no haya ninguna diferencia entre el extremo fijo y el libre.

Las siguientes piezas que se insertan en el ensamblaje son las guías a las que se fijan los ejes. En primer lugar se restringen los planos XY y XZ de las guías a los planos YZ y XZ del ensamblaje. Posteriormente se hacen coincidir las bases de los apoyos de los ejes con la cara superior de las guías y se nivelan sus caras laterales. Para fijar el eje a las guías basta con una restricción de coincidencia entre el plano YZ de uno de los apoyos y el plano XY de la guía, la distancia de estos planos es de 600 mm. El segundo eje no hace falta fijarlo pues al insertar las correas quedará totalmente fijado.

Las correas se crean con la herramienta de “*Design accelerator*”, se selecciona la correa trapezoidal estrecha DIN 7753 SPB 1800, con una longitud de referencia de 1800 mm, y se crean 2 unidades. Antes de fijarlas a los ejes se restringe el plano XZ de cada polea al plano XZ del eje correspondiente, de esta forma se asegura que el giro del sistema sea perfecto, pues se comprobó que con las restricciones que “*Inventor*” aplica al crear las uniones de chaveta no era suficiente y se producían alteraciones de ángulo entre las chavetas y las poleas.

Una vez restringidos los planos de las poleas se procede a la creación de las uniones de chaveta. Para la unión entre el eje y las poleas de mayor tamaño se ha elegido la chaveta ISO 2991C 6x4, de longitud 28 mm, mientras que para las poleas de menor tamaño la chaveta elegida ha sido la ISO 2991C 5x3 de longitud 28 mm. La herramienta para la creación de uniones por chaveta crea automáticamente el chavetero en el eje, el orificio para la chaveta en la polea y restringe la chaveta al eje. Para unir cada polea al eje se aplica coincidencia del eje Z de cada polea y el eje X del eje correspondiente y finalmente con la restricción de insertar quedan totalmente restringidos.

Antes de empezar con la cadena de rodillos se aplican uniones con perno entre las guías y los apoyos de los ejes, 2 por cada apoyo.

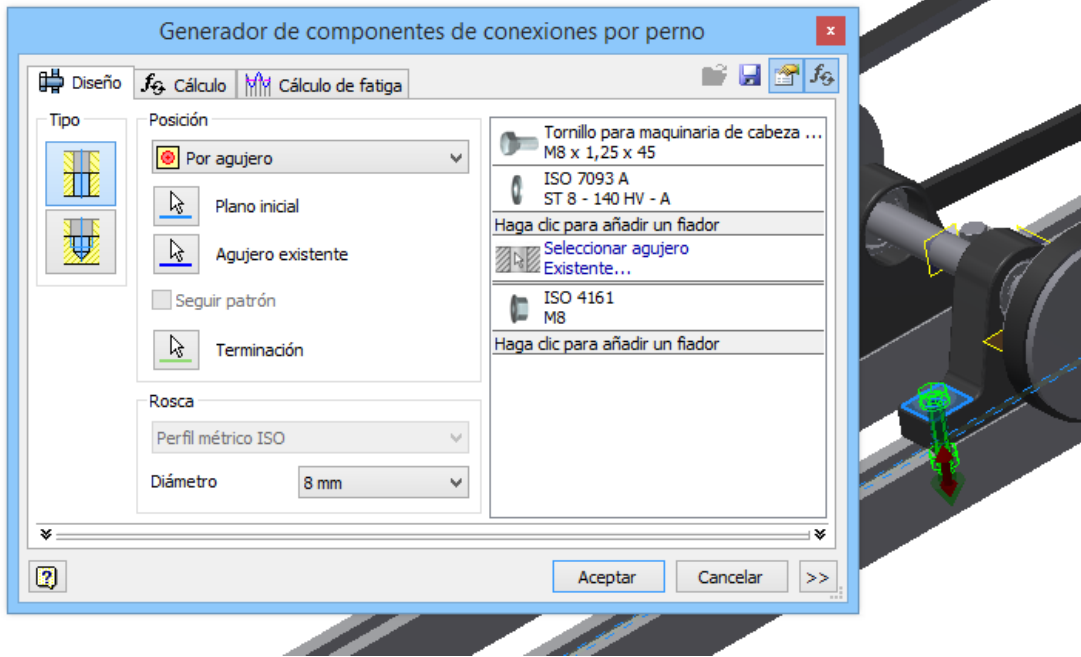


Figura 4.2: Configuración de las conexiones con perno entre guías y apoyos

Para insertar la cadena en el ensamblaje es necesario la creación de un plano que la contenga. La cadena va insertada sobre el tramo con menor diámetro del primer eje creado y el piñón tiene 7.7 mm de ancho, por lo que el plano creado es paralelo al plano inicial del eje y el desfase es de 3.8 mm respecto a la cara interior del tramo el cual contiene al piñón, de esta forma el plano creado coincide con el plano medio de la cadena.

La cadena de rodillos también se crea con la herramienta "Design accelerator". El motivo por se utiliza la herramienta proporcionada por "Inventor" para la creación de la cadena y no se crea como la cadena principal de la máquina es sencillo, los eslabones de esta cadena no llevan otras piezas insertadas a ellos por lo tanto es indiferente que aparezcan los eslabones o no. En este caso la cadena escogida es la ASME B29.1-40-1-56, con 56 eslabones, plato de 30 dientes y piñón de 15. En primer lugar se restringe el piñón al eje. El procedimiento es el mismo que para la restricción de las poleas, en primer lugar se restringen los planos, luego se crea la unión de chaveta, que en este caso es nuevamente la ISO 2991C 5x3 de 10 mm, y finalmente se aplica la restricción de inserción entre piñón y eje.

El eje sobre el cual va insertado el plato de la cadena tiene las siguientes características:

Tramo	Longitud y diámetro	Distancia ranuras
1	25 y $\varnothing 20$	No hay ranuras
2	30 y $\varnothing 15$	7.55 mm (2ª arista)

Tabla 4.3: Medidas de los tramos y distancia de la ranura para anillos de retención del eje del motor eléctrico que contiene al plato de la cadena.

Este eje se inserta a la carcasa del motor eléctrico que a su vez está unido al soporte que posteriormente se fijará a la estructura principal. Para esta unión se restringen el plano medio de la carcasa con el plano XY de la chapa y la base de la carcasa con la cara superior de la chapa. Por último se crean 4 uniones con perno entre ambas piezas. Una vez más se aplican las mismas restricciones anteriores para la restricción del plato al eje, incluida la misma conexión de chaveta que para el piñón. Para que la cadena quede totalmente restringida al ensamblaje, y teniendo en cuenta que luego se tendrá que restringir todo el ensamblaje a la estructura principal, se nivela el soporte del motor a un extremo de una de las guías.

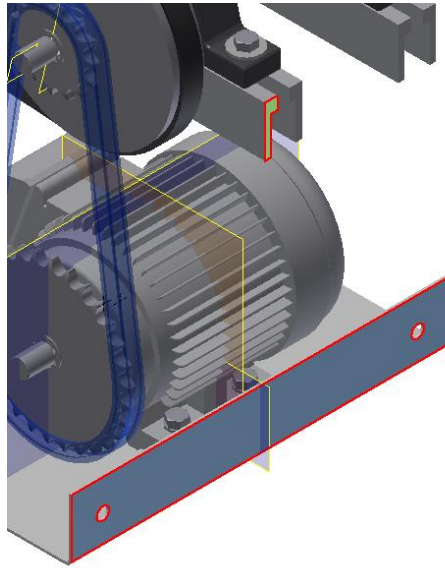


Figura 4.3: Restricción de nivelación entre el final de las guías y la chapa de apoyo del motor pequeño

Por último, solo quedan por incluir en el ensamblaje los dos tirantes, que se restringen a la base de la chapa y se crean 2 conexiones con perno. La distancia de los tirantes al plano medio de la chapa es de 125 mm. Finalmente, se restringe el extremo restante de los tirantes a la cara de las guías como se hizo con el soporte de la carcasa del motor. El ensamblaje final queda de la siguiente forma.



Figura 4.4: Vista del subensamblaje "Sistema de poleas"

4.2 Eslabones

Como se explicó anteriormente se han creado cada una de las piezas que componen los eslabones de la cadena por separado. A continuación se explica la creación de 2 ensamblajes a los que se les denomina, eslabón interior y exterior.

4.2.1. Eslabón exterior de la cadena

Para crear este ensamblaje se empieza insertando 2 veces la pieza lateral exterior y 1 vez la pieza pasador. La primera restricción es una nivelación entre el plano XY del pasador y el plano XY del ensamblaje. A continuación se hacen coincidir el eje longitudinal del pasador con el eje de los agujeros laterales de cada uno los laterales exteriores. Se hace una nivelación de 11 mm entre las caras interiores de los laterales y el plano XY del pasador. Después se restringen los ejes de los agujeros de los laterales que no se han restringido antes. El siguiente paso es restringir el plano YZ de uno de los laterales con el plano YZ del ensamblaje. Para terminar se crea un eje en uno de los agujeros de un lateral y se crea un punto en la intersección de este eje con el eje X del ensamblaje

4.2.2. Eslabón interior de la cadena

Este ensamblaje lo conforman las piezas del propio eslabón más las piezas destinadas al desplazamiento de la fruta. Para empezar se inserta un pasador, un cojinete y un rodillo. Se hacen coincidir todos los ejes y se nivelan sus respectivos planos XY con el plano XY del ensamblaje. Por otra parte se inserta otro cojinete y otro rodillo y se realizan las mismas restricciones que con el otro conjunto.

A continuación se insertan los cojinetes a los laterales interiores, haciéndose una nivelación del plano YZ con el plano YZ del ensamblaje en uno de los laterales. Para terminar el ensamblaje de las piezas del eslabón, se crea un eje asociado al cojinete sobre el cual no se había restringido un pasador y se crea un punto en la intersección de este eje con el eje X del ensamblaje. La creación de este punto es imprescindible para la simulación dinámica.

Se continúa el ensamblaje insertando 2 diábolos. Se hace coincidir el eje longitudinal de cada uno de ellos con el eje asociado al agujero central de los laterales del eslabón y se aplica una coincidencia entre la cara exterior del lateral y la cara interior de los eslabones.

Se insertan las arandelas y se actúa de la misma forma, se restringe su eje asociado al eje longitudinal de los rodillos y se aplica una coincidencia entre sus caras. La siguiente pieza será el perno repitiéndose la misma operación y finalmente la tuerca en la que se aplica coincidencia entre su eje y el del perno y se hace coincidir su cara interior con la de la arandela. El resultado del ensamblaje se muestra a continuación.

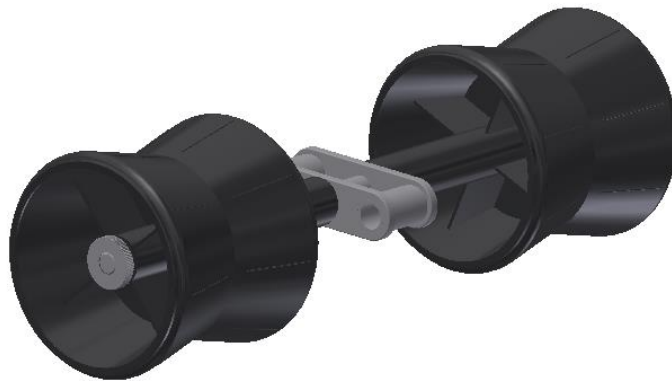


Figura 4.5: Vista del subensamblaje "Eslabón interior"

Para el procedimiento de "Acople por velocidades" se ha de crear un primer eslabón ligeramente diferente al ensamblaje anterior. Para ello se crea un ensamblaje con el nombre "primer eslabón interior". El montaje de las piezas varía en que solo se inserta un rodillo. Concretamente, se omite el rodillo concéntrico al único pasador del ensamblaje. Este rodillo se añadirá posteriormente en el ensamblaje final. En la siguiente imagen se puede ver la omisión de este rodillo.

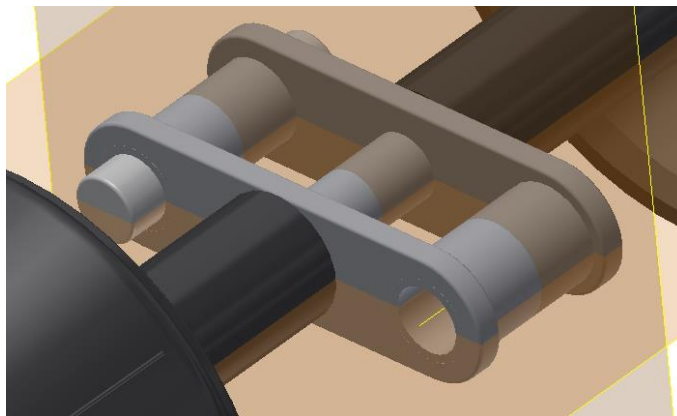


Figura 4.6: Vista de detalle del "Primer eslabón interior"

4.3. Ensamblaje final

Este es el ensamblaje sobre el que posteriormente se simula, está formado por las piezas relativas a la estructura de la máquina calibradora y los ensamblajes creados anteriormente.

Se empieza insertando la estructura principal de la máquina. Se restringe el plano YZ de la pieza al plano XY del ensamblaje, el plano de trabajo¹² al plano YZ del ensamblaje y ambos planos XZ entre sí.

A continuación se insertan los 2 platos dentados. Se restringen los planos XY de las ruedas al plano XY del ensamblaje. Para diferenciarlas, se cambia nombre de la rueda dentada más cercana a la salida de la máquina por el nombre "rueda motora". Esta será la rueda a la que se le aplicaran fuerzas en la simulación posterior

El siguiente paso es la creación de los ejes mediante la herramienta “*Design accelerator*”. Para el eje de la rueda motora se crean 3 tramos: el primero de longitud 200 mm y $\varnothing 40$ mm, el segundo 15 mm de longitud y $\varnothing 100$ mm y el tercero 150 mm de longitud y $\varnothing 40$ mm. Se aplican chaflanes en los extremos del eje y se crean ranuras para anillas de retención para la serie ANSI 27.7M. La siguiente tabla muestra todas las medidas necesarias.

Tramo	Longitud y diámetro	Distancia ranuras ANSI 27.7M
1	180 y $\varnothing 40$	11.65 mm, 28.4 mm y 163 mm (1ª arista)
2	15 y $\varnothing 100$	
3	130 y $\varnothing 40$	29.85 mm (2ª arista)

Tabla 4.4: Medidas de los tramos y ranuras para anillas de retención del eje motor de la cadena principal.

Para el segundo eje se actúa de la misma forma, solo hay que cambiar las medidas.

Tramo	Longitud y diámetro	Distancia ranuras ANSI 27.7M
1	180 y $\varnothing 40$	11.65 mm, 28.4 mm y 163 mm (1ª arista)
2	15 y $\varnothing 100$	
3	150 y $\varnothing 40$	136.4 mm y 119.65 mm (1ª arista)

Tabla 4.5: Medidas de los tramos y ranuras para anillas de retención del eje que contiene a la rueda arrastrada de la cadena principal.

Las chavetas para la unión de los ejes con las ruedas dentadas se crean con “*Design accelerator*”. Para ambos ejes la chaveta utilizada es la ISO 2491 C – 12x6x28 mm. La ranura del chavetero se sitúa sobre el primer tramo de los ejes, con una distancia de 0 mm respecto al extremo interior del tramo. La herramienta crea automáticamente la ranura para la chaveta en el eje, el agujero en la rueda y restringe la chaveta al eje. Para hacer solidarios los ejes y las ruedas dentadas se inserta el eje en la rueda correspondiente seguido de una coincidencia entre una cara lateral de la chaveta y una de las caras laterales del agujero creado en la rueda dentada.

Una vez unidos los ejes y las ruedas, se insertan desde el centro de contenido una anilla en cada una de las ranuras creadas. Mediante “*Design accelerator*” también se crean en cada eje 2 juegos de rodamientos de 4 puntos de contacto, modelo Rolling Bearing GB/T 194-1994 QJ1008, con anchura de 15 mm y diámetro exterior de 68 mm. El rodamiento va insertado entre las dos anillas situadas cerca de los extremos del eje. Finalmente se aplica una restricción de coincidencia entre el lateral del rodamiento y la cara lateral de una de las anillas insertadas.

Las siguientes piezas que se insertan en el ensamblaje son los apoyos de eje. Se insertan 3 unidades, 2 de ellas se restringen respecto a los rodamientos de la rueda arrastrada y la pieza restante se restringe respecto al rodamiento del eje de la rueda motora. Las restricciones son las mismas para las tres piezas. En primer lugar se hace coincidir el eje imaginario del agujero de la pieza con el eje del

rodamiento, se continúa con la nivelación entre la cara superior de las barras de apoyo de la estructura y la base de los apoyos.

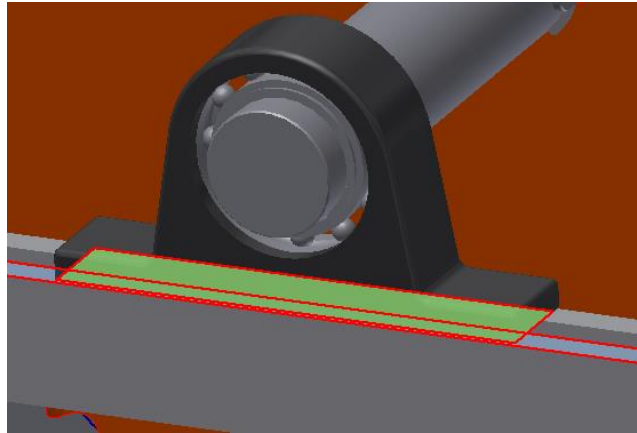


Figura 4.7: Restricción de nivelación entre las guías y el apoyo de los ejes

La última restricción para todos los apoyos es una nivelación de su cara lateral con la cara lateral de las guías de la estructura como

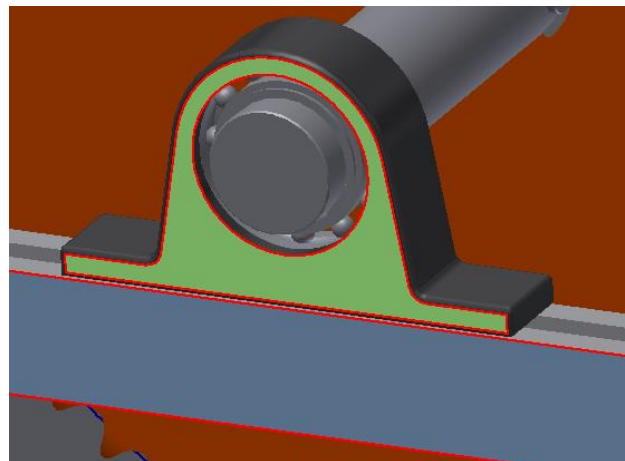


Figura 4.8: Restricción de nivelación entre las caras laterales de las guías y los apoyos de los ejes

A continuación, se insertan las piezas: recorrido 1 y 2, y se restringen sus planos XY y YZ a los planos del ensamblaje, además se hacen coincidir los planos XZ de ambos recorridos entre sí. De esta forma ambos recorridos solo pueden desplazarse a lo largo del eje Y del ensamblaje. Por otra parte, es necesario aclarar que el motivo por el que se insertan 2 recorridos por separado y no se crea un único boceto, es por el funcionamiento del procedimiento de simulación de la cadena.

Finalmente se restringen los ejes X de los a los ejes creados en el centro de las circunferencias del "recorrido 1". Esta restricción del conjunto rueda-eje respecto a un eje imaginario, permite que el recorrido, por donde se deslizará la cadena, encaje perfectamente sobre el diámetro primitivo de las ruedas y haga más real la simulación.

En este momento todas las piezas que componen la cadena están restringidas, las siguientes piezas que se insertan en el ensamblaje pertenecen a la estructura de la máquina. La primera pieza es la chapa para la salida del producto. Se empieza con la nivelación del plano XY de la pieza con el plano YZ de la estructura. A continuación se quiere conseguir que la cara interior de la chapa sea vertical, paralela al plano XY, para ello se realiza una restricción de ángulo entre el plano XZ de la estructura y una de las aristas interiores de la pieza siendo el ángulo de desfase de 0 grados. En la siguiente imagen se aprecia la arista y el plano seleccionado para la restricción de ángulo.

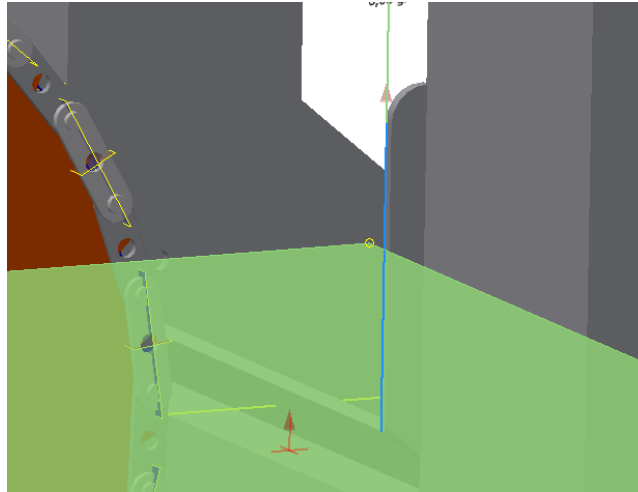


Figura 4.9: Restricción de ángulo entre la chapa para la salida de producto y la estructura

La siguiente restricción se aplica entre la cara inferior de la pieza y una de las aristas de la estructura. De nuevo nos ayudamos de una imagen para explicar la restricción.

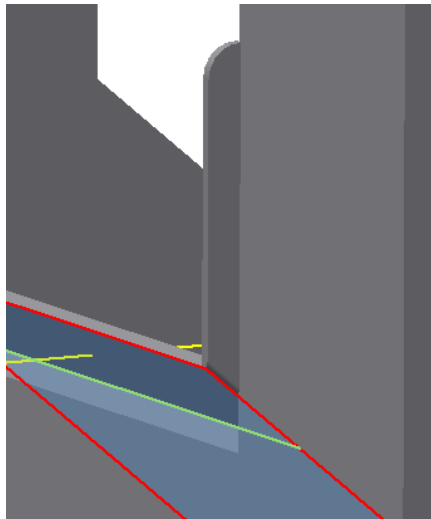


Figura 4.8: Restricción de coincidencia entre la base de la chapa para la salida de producto y una arista de la estructura

Finalmente se realiza una nivelación de 15 mm entre la cara interior de la chapa y la cara interior de la estructura.

Las siguientes piezas estructurales a restringir son las protecciones de correa, en este caso se insertan 2 unidades. En primer lugar, para centrar las piezas se restringen sus planos XY con el plano

de trabajo12 de la estructura. En segundo lugar, se hace coincidir la cara inferior de la chapa con una de las caras de la estructura, como se muestra en la siguiente figura.

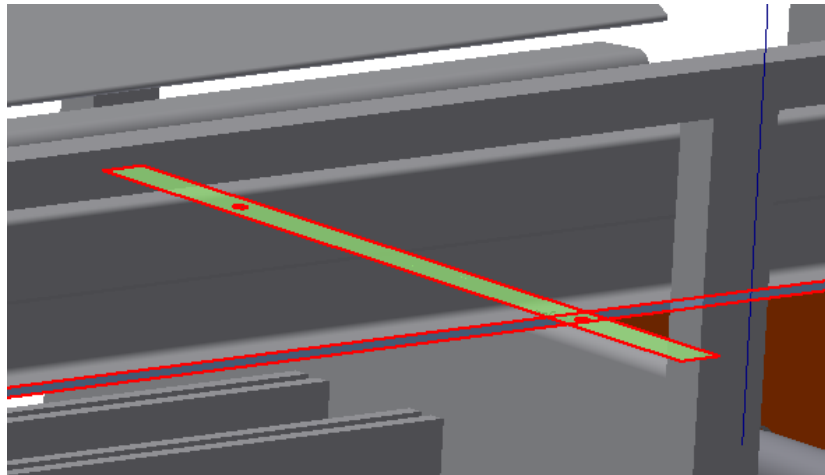


Figura 4.9: Restricción de coincidencia entre la base de la chapa y la estructura

En tercer lugar se hace una nivelación de 140 mm entre los planos YZ de las chapas y el plano YZ de la estructura.

La siguiente pieza a restringir es la chapa superior de la cual se insertan 2 unidades. Igual que en las chapas anteriormente restringidas, se empieza con la nivelación del plano XY de la pieza con el plano de trabajo12 de la estructura. La segunda restricción es una coincidencia entre la cara interior de la estructura y la cara sin reborde de la pieza.

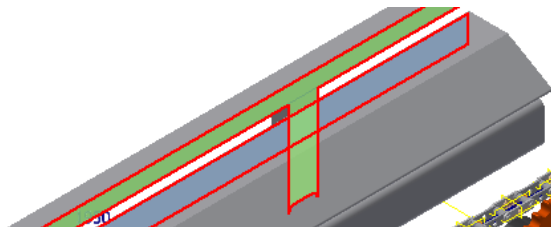


Figura 4.10: Restricción de coincidencia entre la chapa superior y la cara lateral interna de la estructura

La tercera y última restricción es una nivelación de 45 mm entre la cara superior de la chapa y la cara superior de la estructura. Para terminar el ensamblaje se inserta el subensamblaje anteriormente creado "sistema de poleas de la máquina". En primer lugar se hacen coincidir los planos YX e YZ del subensamblaje con los mismos planos de la estructura. Por último se aplica una restricción de tangencia entre la cara superior de una de las correas y el reborde interior de los diábolos, es decir, la cara circular de diámetro 65 mm.

El agujero de la carcasa del motor grande se inserta en el extremo del eje motor, su plano XY y su base se hacen coincidir el plano XY de la "chapa del motor grande" y la cara superior de esta. Finalmente se une la chapa a la estructura principal mediante dos uniones por perno.

La cadena está compuesta por 132 eslabones. Todas las restricciones entre eslabones necesarias para realizar la simulación dinámica se realizan dentro de esta. Solamente es necesario insertar un

eslabón interior y aplicarle una restricción de nivelación entre su plano XY con el plano XY de la pieza “recorrido 1”. Como se explicará en el siguiente apartado de la memoria, se van a realizar dos tipos de simulación distintos. Para la simulación por acople de velocidades, el primer eslabón insertado ha de ser el “Primer eslabón interior” mientras que para la simulación por contacto 3D el primer eslabón tiene que ser un “eslabón interior”

5. Simulación dinámica

En este capítulo se van a explicar detalladamente dos formas distintas de realizar una simulación de la cadena de rodillos.

El primer procedimiento está más encaminado a una animación de una cadena de rodillos. Las restricciones aplicadas entre las piezas y la forma de introducir el movimiento distan bastante de las reales pero, se aprecia mejor el giro de la cadena. En cambio, el segundo de los procedimientos presenta una mayor similitud con el comportamiento real de la máquina, pero los cálculos que tiene que realizar el programa son muy complejos por lo que baja el rendimiento del programa y visualmente no se aprecia correctamente el movimiento de la cadena.

5.1. Simulación por acople de velocidades

El procedimiento utilizado está basado en un procedimiento similar expuesto en el capítulo 8 del libro "Inventor y su simulación con ejemplos prácticos (ISBN 978-84-267-1792-4)". La condición en la que basa el procedimiento es que los eslabones se han de desplazar con velocidad constante por un recorrido curvo, lo que implica la necesidad de que 2 puntos de cada eslabón se encuentren en todo momento sobre el recorrido. Por otra parte, se aplica el movimiento por separado a los platos dentados y los eslabones realizando un ajuste de posición para conseguir el acople.

La primera tarea que se realiza al abrir la herramienta de simulación, antes de aplicar las uniones, es la configuración de la simulación. Desde el menú de configuración se desactiva la opción "convertir automáticamente restricciones en uniones estándar". En la parte izquierda de la pantalla se despliega el menú de restricciones estándar, donde aparecen las uniones que automáticamente la herramienta ha aplicado a la simulación a partir de las restricciones del ensamblaje. Se deben eliminar todas las uniones creadas por el programa excepto la unión plana entre el "primer eslabón interior" y el "recorrido 1". Antes de aplicar las uniones, se van a marcar a las piezas "recorrido 1" y "recorrido 2" como fijas.

Se inserta la pieza, "primer eslabón interior". A las uniones de esta pieza se le aplicarán las condiciones de movimiento, por ese motivo se le aplican unas uniones distintas a las del resto de eslabones. Se empieza restringiendo un punto del eslabón al "recorrido 1" mediante una unión de tipo "deslizamiento: curva de punto". Se selecciona el "recorrido 1" como curva y el punto situado en el centro del agujero del eslabón. En la siguiente figura se puede ver los elementos seleccionados, la curva en azul y el punto en verde.

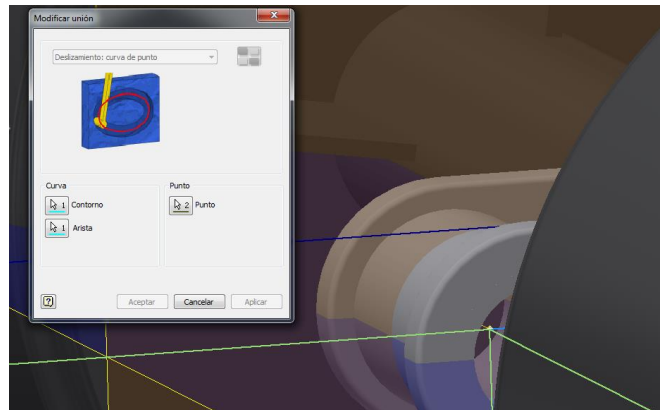


Figura 5.1: Unión “deslizamiento: curva de punto” entre el “recorrido 1” y el eslabón

El “primer eslabón interior”, como se explica en la parte de ensamblaje, solo tiene insertado uno de los rodillos del eslabón, por ello es necesario la inserción de un rodillo. Al rodillo se le aplican dos uniones, la primera de ellas es una unión de revolución con el cojinete del eslabón. La segunda y última, es una unión de tipo “giro curva de cilindro”, para ello se selecciona como cilindro la cara externa del rodillo y como curva el “recorrido2”.

Una vez restringido el primer eslabón interior se van restringiendo uno a uno el resto de eslabones, alternando los eslabones interiores y exteriores. Para ello se necesitan dos uniones en cada eslabón. La primera es una unión de revolución entre el pasador del nuevo eslabón insertado y el cojinete del eslabón anterior. La segunda, es una unión de tipo “deslizamiento: curva punto” con el “recorrido 1”.

Para unión de revolución de los eslabones exteriores se selecciona como componente 1 el pasador del eslabón exterior y como componente 2, el cojinete del eslabón interior que le precede. En este caso, no es necesario editar el origen del centro de coordenadas del giro, el que inventor coloca automáticamente al seleccionar las superficies es el correcto.

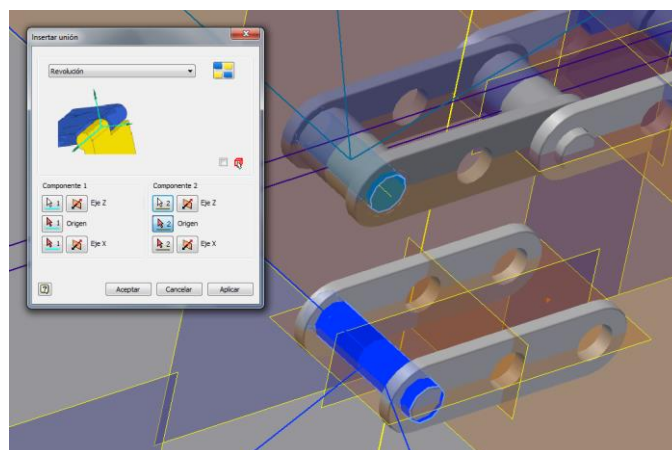


Figura 5.2: Partes seleccionadas para la unión de revolución entre eslabones exteriores e interiores

Para la restricción de “deslizamiento: curva de punto”, se seleccionan el “recorrido 1” y el punto creado en el eslabón en la intersección de su eje X y el eje de los agujeros. en la siguiente figura se pueden ver coloreadas en azul las partes seleccionadas.

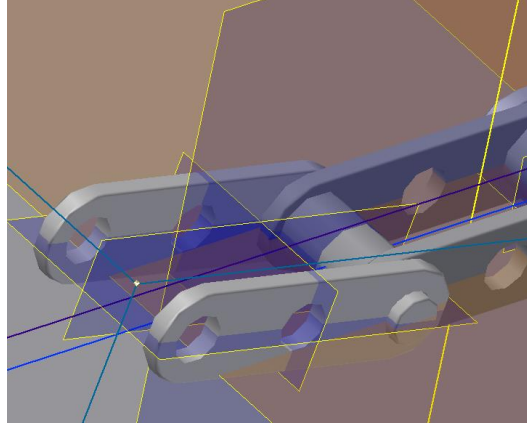


Figura 5.3: Partes seleccionadas para la unión de curva de línea en los eslabones exteriores

Para la restricción de un eslabón interior se aplican las mismas uniones. En primer lugar se crea una unión de revolución entre el pasador del eslabón interior y uno de los agujeros laterales del eslabón exterior que le precede. El componente 1 seleccionado es el pasador del nuevo eslabón y el componente 2, es uno de los agujeros del lateral del eslabón predecesor. A diferencia de la unión creada para los eslabones exteriores, sí es necesario introducir el origen para el centro de coordenadas del componente 2. Para introducir el origen se selecciona el plano medio. En la siguiente figura se pueden ver en azul las partes seleccionadas.

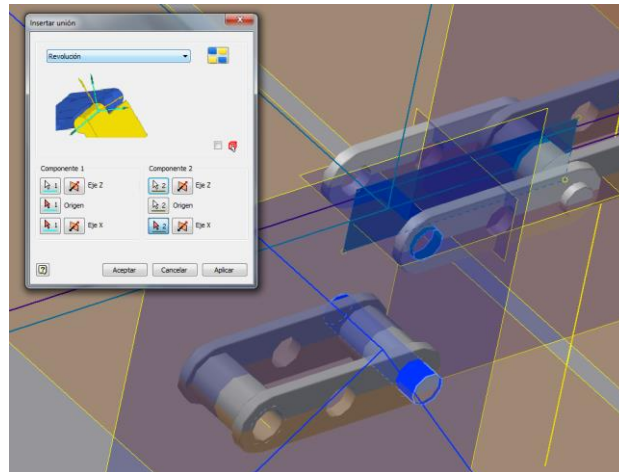


Figura 5.4: Partes seleccionadas para la unión de revolución entre eslabones interiores y exteriores

La segunda restricción es una unión “deslizamiento curva de punto”, con el recorrido 1

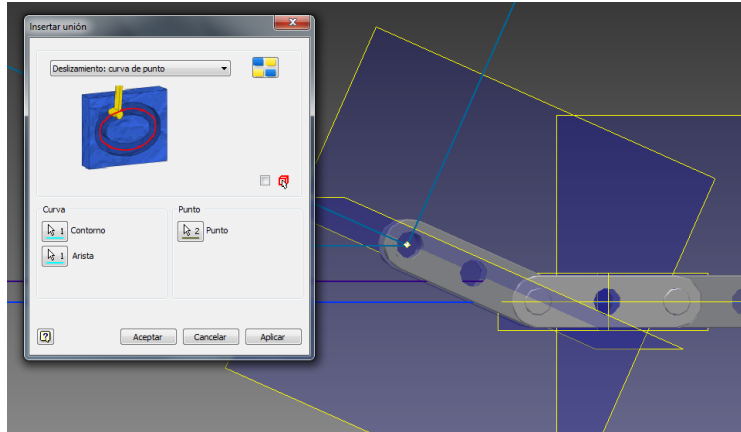


Figura 5.5: Partes seleccionadas para la unión de curva de línea en los eslabones interiores

Una vez están se insertan los 132 eslabones y se les aplican las uniones necesarias, se procede a la creación de las uniones para los platos dentados. A cada rueda dentada se le aplica una única unión de revolución respecto al “recorrido 1”, que esta fijo. Para poder aplicar la restricción hace falta crear un plano sobre cada eje que a su vez coincida con el plano medio de las ruedas dentadas, para ello se editan los ejes y se crea un plano paralelo al plano inicial del eje y desfasado 7.6 mm, la mitad del ancho de los platos, respecto a la cara del tramo del eje con mayor diámetro.

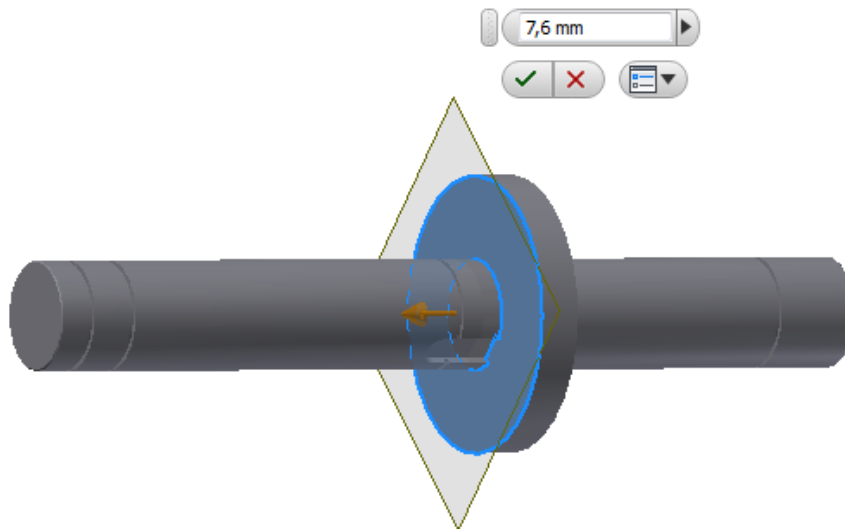


Figura 5.6: Desfase del plano de trabajo respecto a la cara del tramo de mayor diámetro

Volviendo a la simulación dinámica, se aplica la restricción de revolución entre cada uno de los ejes y el eje perteneciente al “recorrido 1”, concéntrico al centro de las ruedas dentadas. Cuando se selecciona el eje se marca como origen del centro de coordenadas el nuevo plano creado.

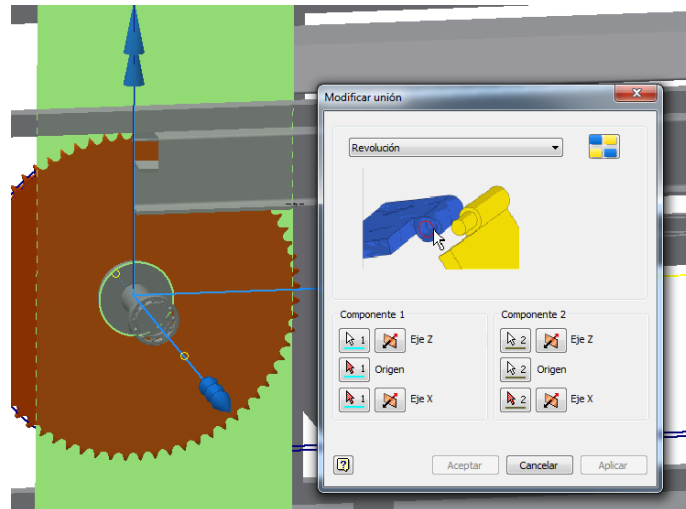


Figura 5.7: Partes seleccionadas para la unión de revolución entre el eje motor y el recorrido 1

Una vez creadas las dos uniones es necesario modificar sus propiedades antes de aplicar la última unión. Para la revolución de la rueda motora, dentro del menú propiedades se modifica su posición inicial a 0 grados. Por otra parte, para la otra rueda se modifica la posición inicial a 180 grados. Ahora sí puede aplicarse la última unión necesaria que es la unión de correa entre ambas ruedas dentadas. Para ello se seleccionan como componentes la cara más externa del diente de cada una de las ruedas, seleccionando primero la rueda motora. Esta restricción hace solidarias a ambas ruedas de forma que si se cambia la posición inicial de una de las ruedas, la posición de la otra cambia automáticamente.

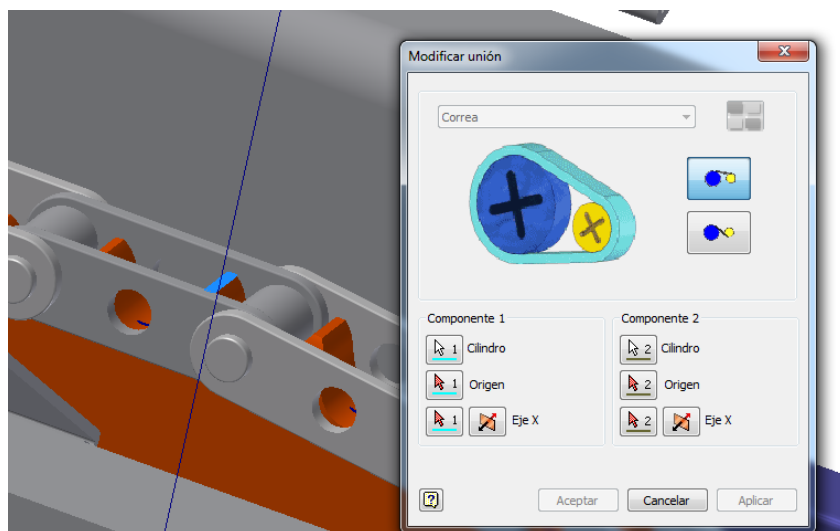


Figura 5.8: Parte del diente seleccionada para la aplicación de la restricción de correa

Una vez están todas las uniones creadas se modifican dos de ellas para dar movimiento al montaje. Lo primero es definir la velocidad de giro de la máquina, para que se pueda apreciar mejor la simulación, se ha establecido una velocidad de 0.5 m/s.

Para saber la velocidad a la cual deben girar las ruedas se aplica la ecuación:

$$\omega = \frac{v}{r}$$

Para una velocidad lineal de 0.5 m/s en un radio primitivo de 219.71 mm, la velocidad angular de las ruedas dentadas tiene que ser de 130.39 gr/s. Se abre la unión de revolución creada en el eje motor y dentro del menú propiedades se introduce dicha velocidad. Como se ha aplicado la unión de correa entre ambas ruedas no es necesario introducirle velocidad a la otra rueda dentada.

El siguiente paso es introducir la velocidad de la cadena aplicando un procedimiento similar al empleado para las ruedas. En este caso la unión a modificar va a ser la unión de revolución entre el rodillo y el primer eslabón interior de la cadena. Para el movimiento lineal de la cadena se debe introducir una velocidad angular al rodillo siendo la velocidad lineal en su superficie la velocidad de avance de la cadena. Por lo tanto, si se ha establecido una velocidad lineal de los eslabones de 0.5m/s y el rodillo tiene un radio de 6 mm, la velocidad angular a la cual debe girar el rodillo ha de ser 4774,647 gr/s.

En principio resultaría más fácil y cómodo modificar la restricción de punto línea entre uno de los eslabones y el "recorrido 1" e introducirle una velocidad lineal, pero al iniciar la simulación el programa interpreta la velocidad introducida como constante en módulo y dirección. Como la trayectoria que realizan los eslabones no es rectilínea, la simulación da error en el momento en el que el eslabón al que se le ha introducido la velocidad entra en la parte curva del recorrido.

Para iniciar la simulación solamente es necesario modificar las dos uniones mostradas, ahora bien, si se simula es este instante, se puede comprobar que cuando el eslabón, al cual se le ha introducido la velocidad, entra en la parte curva, su velocidad aumenta y por lo tanto la posición de los eslabones se desacopla con la de los platos.

Para cuantificar el incremento de velocidad en el paso por curva se crea un gráfico velocidad /tiempo que muestre la velocidad lineal de los eslabones tomándose el dato de la velocidad cada 0,01 s.

Al finalizar la simulación se exportan los datos a una hoja de Excel para analizarlos, obteniéndose una hoja con los valores de la velocidad cada centésima de segundo y una gráfica como la siguiente.

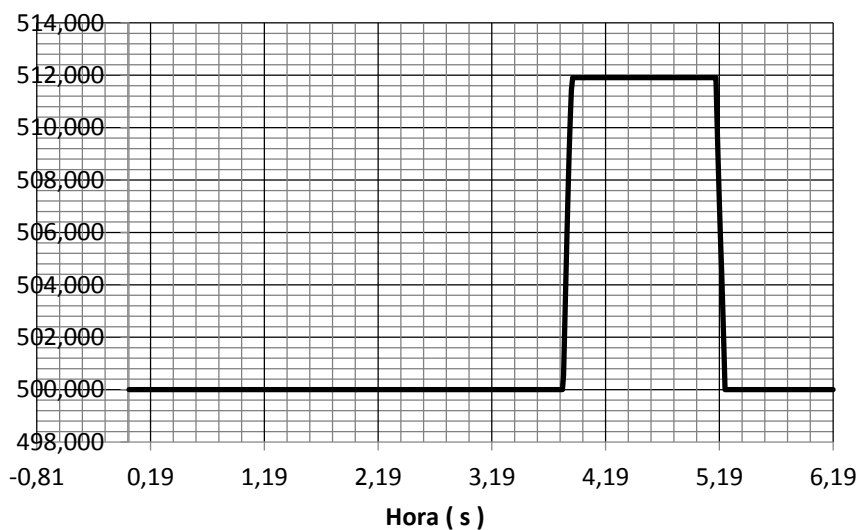


Figura 5.9: Velocidad lineal de los eslabones durante el recorrido

En esta gráfica se observa como los eslabones se desplazan a una velocidad constante de 500 mm/s y al entrar en la curva del recorrido se produce un incremento de velocidad durante aproximadamente 0.09 s. Posteriormente, se estabiliza la velocidad en 511.908 mm/s. El incremento de la velocidad de los eslabones es aproximadamente de un 2.4%, dependiendo este valor del radio de la pieza a la que se la aplica la velocidad de rotación, en este caso el rodillo. A menor radio, el incremento de velocidad en la curva es menor, por lo que es conveniente que la pieza que gire sea lo más pequeña posible. A su vez, la pieza no se puede hacer tan pequeña como se quiera pues "Inventor" necesita unos momentos de inercia mínimos para poder simular, lo que conlleva a que nunca se puede conseguir un error nulo. Por lo tanto, la solución para este problema es configurar la velocidad del primer eslabón para que sea variable en el tiempo, de forma que sea de 0.5 m/s en las rectas e inferior en las curvas para que el incremento de velocidad que aparece establezca la velocidad final en los 0.5m/s deseados.

Para introducir la velocidad variable se cambia el valor anteriormente introducido en la unión de revolución del rodillo por la opción "Gráfico de entrada". Esta gráfica solo es válida para una velocidad lineal de 0.5m/s y cuando el rodillo restringido al primer eslabón este situado en la parte superior izquierda del recorrido, justo en el punto donde empieza el tramo horizontal superior. En la siguiente tabla se muestran los valores de velocidad angular y tiempo de cada uno de los cinco puntos de la gráfica.

Tramo	Tipo	Duración (s)	T_1	Ω_1	T_2	Ω_2
1	Lineal	3.81	0	-4774,6483	3.81	-4774,6483
2	Spline	0.09	3.81	-4774,6483	3.9	-4663,5805
3	Lineal	1.29	3.9	-4663,5805	5.19	-4663,5805
4	Spline	0.08	5.19	-4663,5805	5.27	-4774,6483

Tabla 5.1: Datos para cada punto de la gráfica ω/t del rodillo.

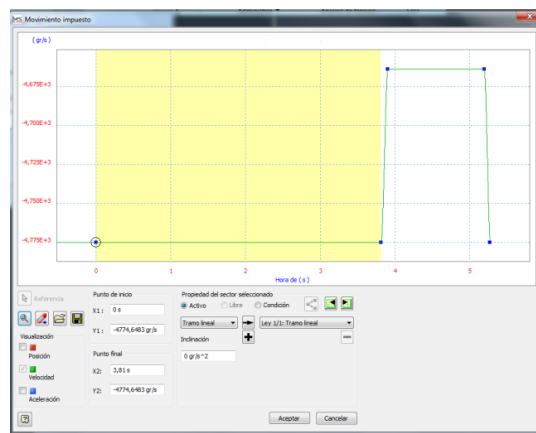


Figura 5.10: Gráfica ω/t del rodillo

Se realiza una simulación con la nueva velocidad y se exportan nuevamente datos a Excel para poder ver los resultados obteniendo la siguiente gráfica:

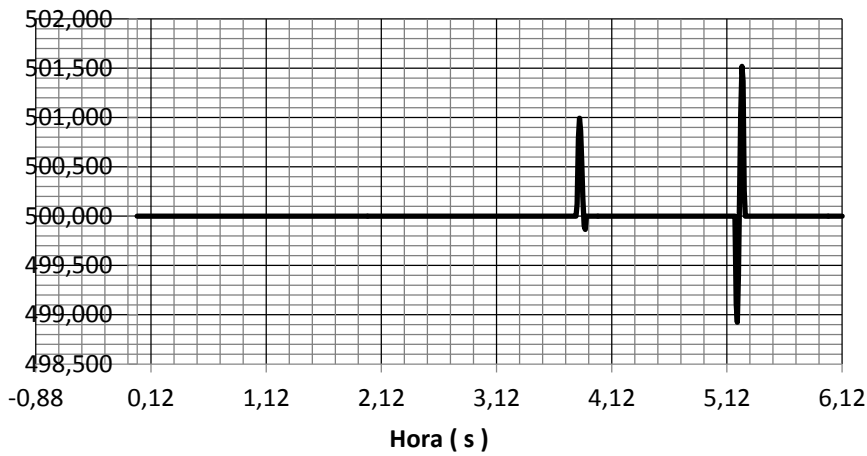


Figura 5.11: Velocidad lineal de los eslabones con la función de velocidad variable

Como se puede apreciar ahora, la velocidad lineal del eslabón es prácticamente 500 mm/s en todo el recorrido, solo sufre unas ligeras variaciones durante el tiempo en el que el eslabón entra y sale de la curva, aproximadamente 0.08 s, con un pico máximo a la salida de 501.52 mm/s lo que supone un error del 0.304%. Estos picos son debidos al hecho de que no es posible realizar el gráfico ω /posición y por tanto la posición del eslabón se tiene que ajustar manualmente al principio del recorrido antes de iniciar la simulación.

Finalmente, se va a comprobar que con la velocidad angular introducida en los platos dentados, la velocidad lineal de un punto situado sobre su diámetro primitivo tenga la velocidad correcta. Para poder comprobarlo se tiene que editar el plato dentado y crear un punto sobre el diámetro primitivo. Posteriormente, desde el menú de gráficos se crea trazo del punto respecto a la parte fija del sistema. Al simular nuevamente el sistema se obtiene la siguiente gráfica.

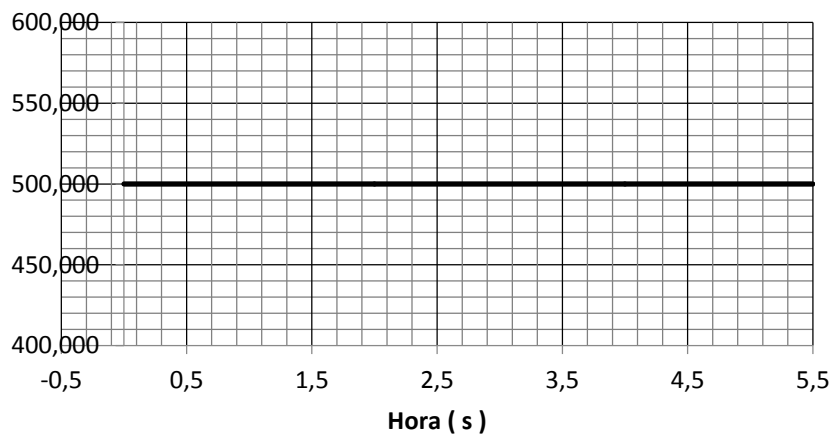


Figura 5.12: Velocidad lineal de un punto perteneciente a la rueda dentada situado sobre su diámetro primitivo

Como se puede comprobar, la velocidad es constante e igual a 500mm/s. Por lo tanto se comprueba la sincronización de ambos movimientos y el correcto efecto visual del movimiento de la cadena.

5.2. Simulación mediante contacto 3D

Este procedimiento sirve para la realización de una simulación más realista pero, debido a la gran cantidad de uniones que se necesitan introducir la simulación es más compleja y visualmente se aprecia peor el giro de los eslabones que con el sistema anterior.

La primera parte de la simulación es muy parecida a la expuesta en el punto anterior. En primer lugar, no es necesario que al primer eslabón de la cadena se le tenga que añadir un rodillo, en este procedimiento se inserta como primer eslabón un “eslabón interior”. Uno de sus puntos se restringe sobre el “recorrido 1” mediante unión de “deslizamiento: curva de punto”. La segunda restricción es una unión “deslizamiento: cilindro sobre plano” entre el “recorrido 2” y el “eslabón interior”. Al seleccionar el rodillo del eslabón como cilindro, es necesario marcar el plano medio de la pieza como origen del sistema de coordenadas. En la siguiente imagen se puede apreciar en verde la selección.

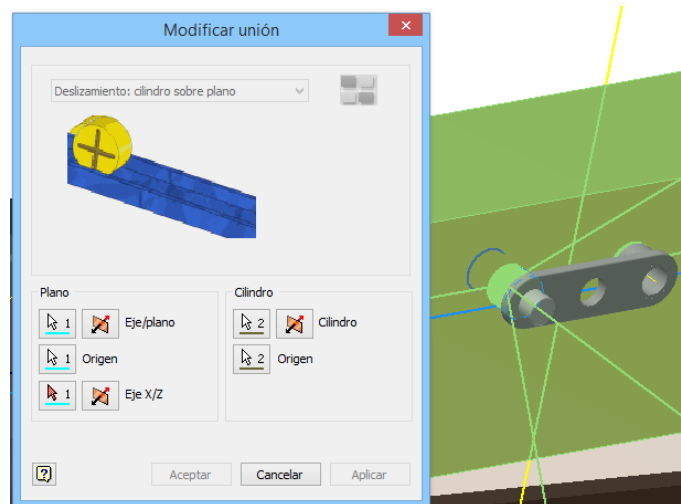


Figura 5.13: Restricción cilindro sobre plano

Las siguientes operaciones que se aplican son para restringir los eslabones entre sí y al “recorrido 1”, siendo dichas uniones exactamente iguales a las creadas en el procedimiento anterior. Lo mismo ocurre con las uniones de revolución de los ejes y la unión de correa.

Este procedimiento tiene la ventaja de que no es necesario aplicar velocidades distintas a las ruedas dentadas y a los eslabones. En este caso, solamente es necesario introducir la velocidad de giro al eje motor y el movimiento se transmite a los eslabones. Para que sea posible, se deben aplicar uniones por “contacto 3D” entre los rodillos de los eslabones y las ruedas dentadas. La forma más realista de realizar la simulación es aplicar a cada rodillo una unión de “contacto 3D” con cada una de las ruedas dentadas, lo que supone la creación de un número muy elevado de contactos.

Existe la posibilidad de restringir cada eslabón solamente a uno de los platos dentados reduciendo a la mitad el número de uniones por “contacto 3D”. De esta manera se puede realizar una simulación en la que se puede visualizar mejor el giro de cadena pero se pierde fiabilidad en los datos recogidos.

Se puede concluir que en este procedimiento el usuario tiene la posibilidad de buscar un equilibrio entre simulación y animación; cuantas más uniones 3D se introduzcan más real va a ser la simulación y peor la animación.

Para la creación de las uniones 3D se selecciona en primer lugar la superficie exterior de del rodillo de un eslabón y en segundo lugar una de las caras del perfil del diente. En la siguiente figura se puede ver la selección de ambas partes.

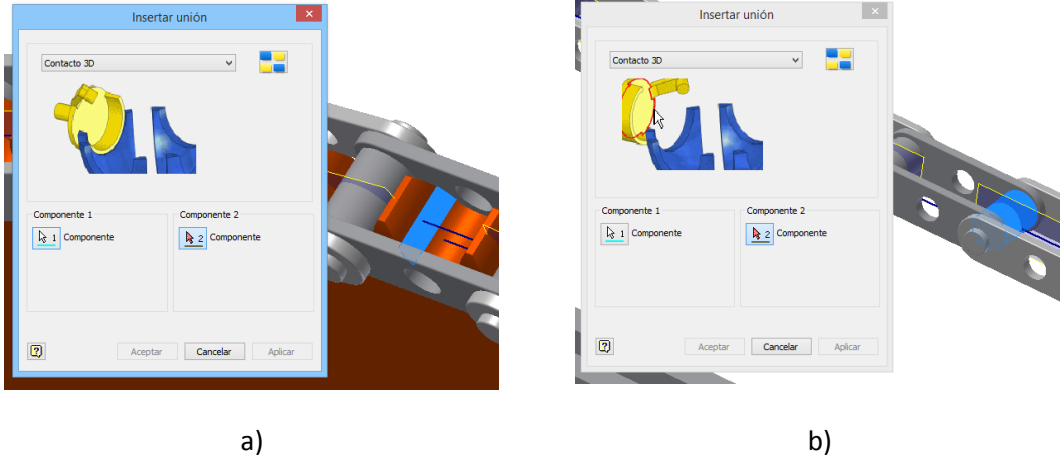


Figura 5.14: Partes seleccionadas para la unión por contacto 3D

Una vez se introducen todos los contactos 3D solo queda introducir la velocidad de giro de la máquina. Para ello se modifican las propiedades de la unión de revolución entre el eje motor y el recorrido fijo.

Para intentar simular el arranque de la máquina se va a introducir una velocidad variable de forma lineal, de forma que la máquina consiga alcanzar la velocidad de 0.5 m/s durante los primeros 4 segundos. Para comprobar el buen funcionamiento del ensamblaje se realiza una simulación y se extraen los resultados a una hoja de Excel. El siguiente gráfico muestra la velocidad lineal de los eslabones y la velocidad angular de la rueda motora.

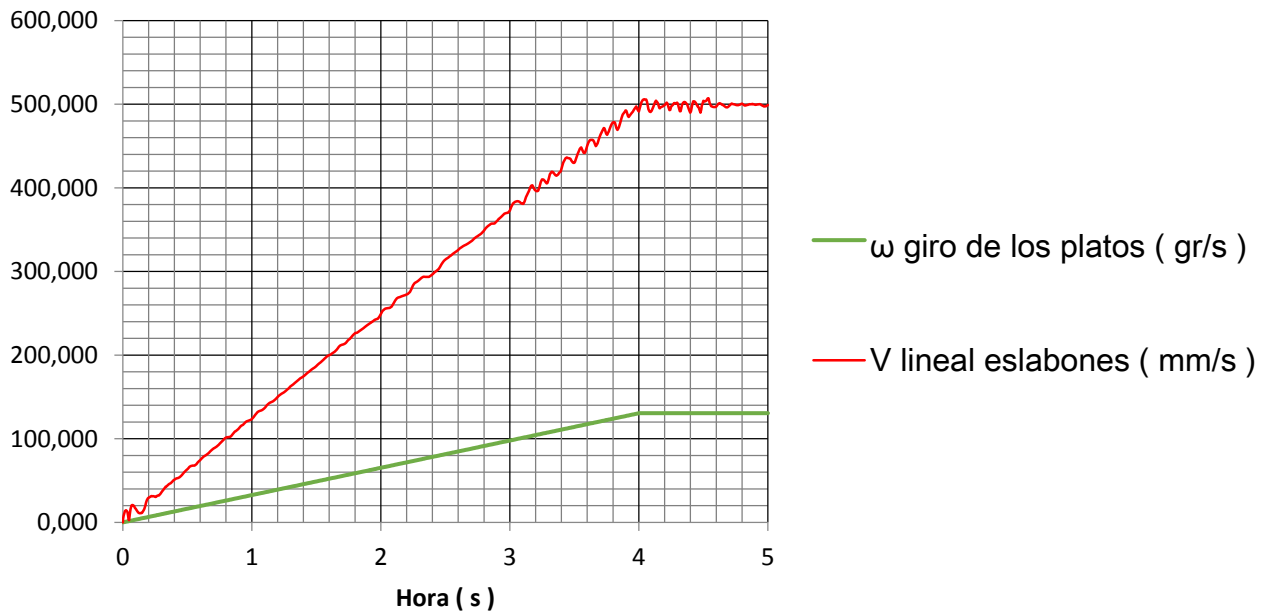


Figura 5.15: Velocidades de la cadena y la rueda motora

En la gráfica anterior se puede apreciar el aumento lineal de la velocidad de giro de la rueda motora, en cambio, la velocidad de la cadena tiene una tendencia lineal pero se pueden apreciar pequeñas variaciones de velocidad a consecuencia del tipo de contacto introducido.

Para terminar, la siguiente figura muestra el aspecto final del ensamblaje con todas las piezas insertadas y restringidas.

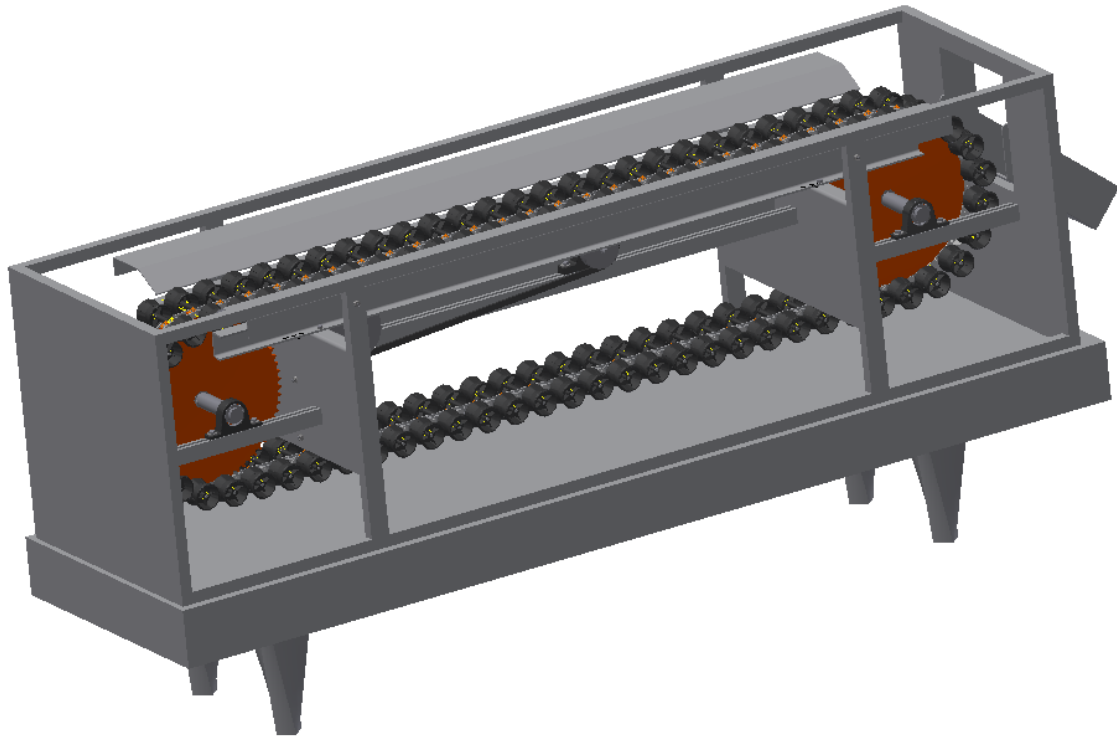


Figure 5.16: Vista del ensamblaje final

6. Conclusiones sobre “Autodesk Inventor”

La herramienta utilizada para la realización de este trabajo fin de grado, “Autodesk Inventor 2014”, es una potente herramienta en cuanto diseño y creación de piezas, especialmente reconocida para la creación de sistemas mecánicos porque incorpora distintas herramientas que facilitan la creación de diversos elementos característicos de este tipo de ensamblajes como son rodamientos, ejes, levas, chavetas y transmisiones por engranajes, correas o cadenas, algunas de ellas han sido utilizadas para la realización de este TFG.

Otras de las características positivas de “Autodesk Inventor” son: su herramienta de cálculo para todos los elementos descritos es el anterior párrafo y la simulación de los ensamblajes y la posterior extracción de datos sobre su funcionamiento.

La primera de ellas resulta de ser de gran ayuda, pues se accede a ella desde el menú de diseño de cualquier tipo de transmisión de potencia que el programa permite crear dentro de un archivo de ensamblaje y permite introducir distintos parámetros característicos de cada tipo de transmisión como los factores de corrección de potencia, el tipo de lubricación o el entorno. La aplicación calcula automáticamente los otros parámetros de la transmisión como la vida útil, la tensión máxima, el par, la potencia o la velocidad de giro e indica cual es la limitación de la transmisión en cuestión y si su diseño es óptimo.

La segunda de ellas, permite una simulación del ensamblaje creado y la extracción de gran cantidad de datos, como velocidades y fuerzas sobre cualquier punto del ensamblaje, y el posterior análisis de esos datos mediante elementos finitos con el fin de conocer el comportamiento de una pieza en unas condiciones similares a las reales.

Para que los requerimientos del sistema a la hora de instalar el programa no sean tan elevados y se pueda ejecutar el programa con rendimiento óptimo, “Inventor” reduce los recursos destinados al motor gráfico. Por lo tanto, prevalece el cálculo sobre el rendimiento de la interfaz gráfica del programa. Este hecho, es comprobable en la manera en la que “Inventor” representa las transmisiones por correa o cadena. En ambos casos, al aplicar una velocidad de giro a la transmisión, visualmente solo se ven girar las poleas o las ruedas dentadas por lo que la cadena o la correa permanecen fijas. Por otra parte, en el caso de las cadenas, además de lo anterior tampoco aparecen representados los eslabones de la cadena, en su lugar el programa crea automáticamente un barrido que intenta simularlos.

En la mayoría de ocasiones, no es necesario que los eslabones estén visibles, de esa manera se reduce el número de piezas en el ensamblaje y en consecuencia se mejora el rendimiento del programa, pero, para conseguir el objetivo de este TFG era necesario que los eslabones estuvieran representados para poder ensamblar las piezas destinadas al desplazamiento de la fruta. Por ese motivo se han tenido que buscar procedimientos alternativos para la simulación de la cadena.

En los dos procedimientos presentados en este TFG los ensamblajes resultantes son muy complejos, con más de 1000 piezas móviles y en el caso del procedimiento por contacto 3D alrededor de 400 uniones. Consecuentemente, los cálculos para las simulaciones son muy complejos por lo que se ha podido constatar la necesidad de un ordenador con buenas características y las dificultades del

programa para realizar la simulación. Para realizar dichas simulaciones se necesitaba mucho tiempo y en muchas ocasiones el programa fallaba y se cerraba de forma repentina.

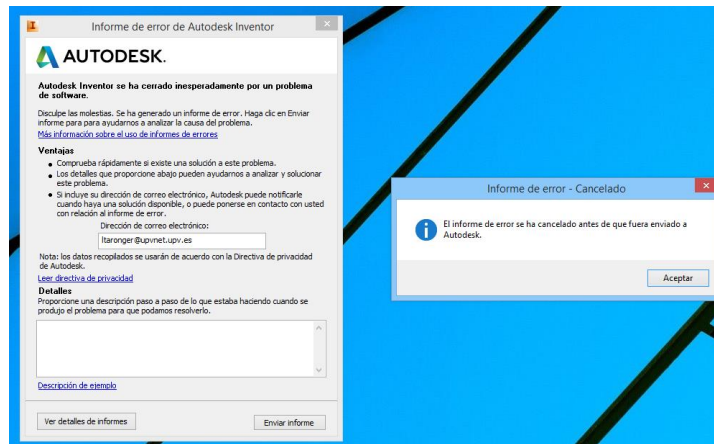


Figura 6.1: Error de Inventor durante la simulación

En la parte del procedimiento en la que se insertan los eslabones uno a uno, se intentó evitar este paso mediante la utilización de un patrón para multiplicar el eslabón a lo largo del recorrido y agilizar notablemente el proceso, hay que decir que este procedimiento funcionaba si se realizaba una animación de la cadena pero resultaba imposible si se trataba de hacer una simulación porque la herramienta consideraba el patrón como un único sólido fijo y no permitía aplicar ningún tipo de unión ni movimiento por lo que se han tenido que restringir los eslabones uno a uno.

Durante la parte de diseño de piezas se han utilizado muchas de las aplicaciones del “*Design Accelerator*”. Estas aplicaciones resultan ser muy prácticas para el usuario ya que facilitan muchas operaciones, como las uniones con pernos, y son muy sencillas de utilizar. Pero también es importante señalar algunos errores en otras como en las conexiones de chaveta, donde “*Inventor*” en ocasiones no es capaz de realizar correctamente la ranura sobre el eje. En la siguiente figura puede observarse como el programa crea una ranura errónea, en la que corta el eje longitudinalmente.



Figura 6.2: Eje con una ranura para chaveta errónea

Respecto a la parte de simulación cabe decir que es muy completa en cuanto a tipos de uniones entre piezas, tan solo se han detectado algunos errores en cuanto al cálculo de la simulación, como el aumento de la velocidad de los eslabones al pasar por la parte curva del recorrido o la imposibilidad de variar la velocidad introducida en la unión de deslizamiento punto línea.

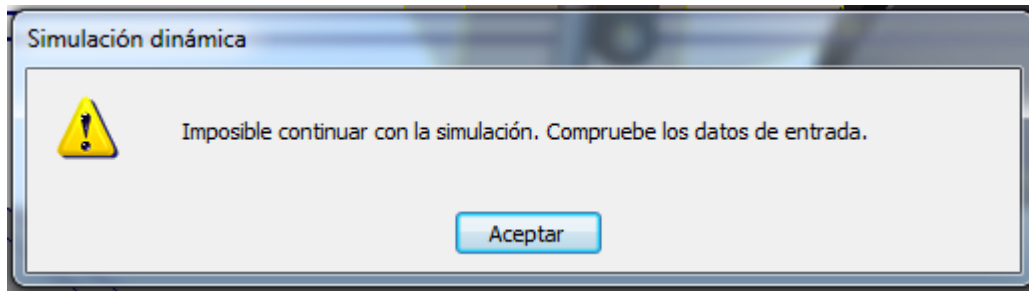


Figura 6.2: Mensaje de error cuando se simula con un movimiento impuesto por velocidad lineal

Durante la realización de este TFG se ha comprobado la complejidad de un sistema de transmisión de potencia por cadena de rodillos. Es un tipo de transmisión con gran número de piezas y restricciones. Al introducirlas en un programa CAD, la complejidad que alcanza el ensamblaje es muy elevada lo que afecta enormemente al rendimiento del programa. Por lo tanto se entiende la forma en la que inventor crea y simula este tipo de mecanismos de forma automática.

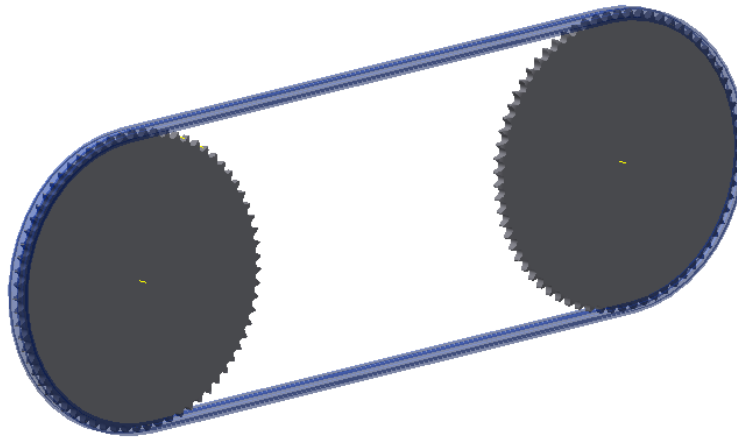


Figura 6.3: Ejemplo de cadena creada con "Design Accelerator"

7. Bibliografía

- [1] Inventor y su simulación con ejemplos prácticos (ISBN 978-84-267-1792-4)
- [2] Normas UNE sobre dibujo técnico AENOR
- [3] Diario Oficial de la Unión Europea, reglamento 543 (2011) L 157/54 Anexo Normas Comercialización Cítricos.
- [4] Boletín Oficial del Estado, BOE-A-2009-1171
- [5] Apuntes Teoría de Máquinas, capítulo 5. Transmisiones
- [6] Wikipedia: Espectroscopía ultravioleta-visible
https://es.wikipedia.org/wiki/Espectroscopia_ultravioleta-visible
- [7] [http://www.aeratp.com/documentos/Presentacion_VISION%20\(7\).pdf](http://www.aeratp.com/documentos/Presentacion_VISION%20(7).pdf)
- [8] <http://ben.upc.es/documents/eso/aliments/HTML/vegetales-4.html>
- [9] <http://www.agrimundo.cl/?p=27681>
- [10] <http://www.agroterra.com/p/calibradora-de-fruta-delicada-3059628/3059628>
- [11] <http://hortyfruta.es/Images/folletotipificacion.pdf>
- [14] <http://www.greefa.nl/ES/productos-m225quinas-de-calibrado-a3.htm>
- [15] http://www.alimpo.com/documentos/2.-anexo_Normas_Comercializacion

Documento II:

Planos

Índice

1. Ensamblaje de los eslabones de la cadena
2. Piezas de los eslabones
3. Perno y arandela
4. Tuerca 467 – M8
5. Rodillo bi-cónico
6. Apoyo del eje principal
7. Apoyo del eje de las poleas de mayor tamaño
8. Apoyo del eje de las poleas de menor tamaño
9. Chapa superior
10. Protección de correa
11. Chapa para la salida del producto de la máquina
12. Soporte del motor pequeño
13. Soporte del motor grande
14. Tirante

Documento III:

Presupuesto

Índice

Presupuesto	3
1.1 Costes por mano de obra	3
1.2 Costes de material.....	4
1.3. Presupuesto General	5

Presupuesto

En este apartado se realiza una estimación del coste que tendría la realización de este trabajo en el mercado. En el presupuesto se van a contabilizar 2 tipos de costes, los que cuantifican el tiempo dedicado a su realización y los costes derivados de material utilizado y amortizaciones.

1.1 Costes por mano de obra

El trabajo está realizado por un ingeniero junior con poca experiencia en el desarrollo de proyectos. Para el cálculo de la remuneración que debe tener el ingeniero se separan las distintas actividades que se han desarrollado para el desarrollo del trabajo y en el número de horas.

- Adquisición y estudio de la información. Se tiene en cuenta el tiempo destinado a la recopilación de toda la información necesaria para el trabajo: recopilación de datos de la máquina, conocimiento profundo del software y búsqueda de posibles soluciones. Se estima que se han invertido 140 horas en este proceso, que resulta ser prácticamente la mitad del tiempo destinado al trabajo. Se considera que un ingeniero con experiencia habría empleado menor tiempo para la realización de esta parte por lo que la remuneración del ingeniero junior ha de ser menor, por lo tanto admitirá una tarifa de se considera que la tarea ha sido realizada por un ingeniero junior, con una tarifa de 25€/h.
- Diseño y simulación de la máquina calibradora de fruta. Con una duración de 90 horas, se contemplan todos los procesos de diseño, ensamblaje y simulación de la máquina calibradora de fruta. Se considera un trabajo que el ingeniero junior puede realizar igual que un ingeniero con experiencia por lo que la tarifa para esta parte del trabajo será de 45€/h.
- Realización de planos. Para esta parte del proyecto se han invertido 25 horas. Como en la primera actividad, se considera que un ingeniero junior emplea más tiempo para el dibujo de los planos que un ingeniero con experiencia en este tipo de trabajos, por consiguiente se establecerá una tarifa de 25€/h.
- Realización de documentos. En documentación del trabajo se han invertido 60 horas. Se considera que este trabajo requiere menor especialización que en las tareas anteriores, por lo que se considera que la tarifa del técnico que realiza los documentos es de 25€/h.

1.2 Costes de material

En este apartado se incluyen todos los materiales utilizados a lo largo de este trabajo y la amortización de los programas y accesorios utilizados.

- Autodesk Inventor Profesional 2014. El precio del programa es de 9.490€, habitualmente el fabricante renueva anualmente el producto pero se considera que el software queda desfasado cada 3 años. El programa se ha utilizado en la parte de estudio del problema y fundamentalmente para todo el proceso de diseño, simulación y realización de los planos lo que supone un uso aproximado de 200 horas.
- Ordenador Dell Vostro 3700. Este ordenador portátil tiene un precio de 950€ y ha sido utilizado para prácticamente todas las fases del trabajo. Su periodo de amortiguación se considera de 5 años y se ha utilizado para la realización de todas las partes del proyecto por lo que se considera un uso de 300 horas.
- Microsoft Office Profesional 2013. El precio de este producto es de 539€ y tiene un periodo de amortización de 5 años. Durante la realización del trabajo ha sido utilizada la herramienta “Word” para la documentación y la herramienta “Office” durante la simulación que corresponde a 65 horas.
- Gastos diversos. En este apartado se incluyen los gastos de reprografía, los desplazamientos a la empresa para la inspección de la máquina y la toma de medidas. Se consideran de 50 €

1.3. Presupuesto General

1. Costes por mano de obra				
Concepto	Unidad Básica	Cantidad	Precio (€) por unidad básica	Importe (€)
Adquisición y estudio de información	h	140	25,00	3500,00
Diseño y simulación de la máquina calibradora de fruta	h	90	45,00	4050,00
Realización de planos	h	25	25,00	625,00
Realización de documentos	h	60	20,00	1200,00
			Total	5375,00
		Costes Indirectos	2%	107,50
Presupuesto Parcial				5.482,50

2. Costes de material				
Concepto	Precio (€)	Periodo de amortización (h)	Uso del producto (h)	Importe (€)
Office	539,00	3750	65	9,35
Inventor	9.490,00	3750	200	506,13
Ordenador	950	10000	300	28,5
Costes reprografía y material	50	-	-	50
			Total	593,98
			Costes Indirectos	2%
				11,88
Presupuesto Parcial				605,86

3. Presupuesto General			
Concepto			Importe (€)
Costes de personal			5.482,50
Costes de material y amortizaciones			605,86
Presupuesto Total			6.088,36
	IVA	21%	1.278,55
Presupuesto de ejecución por contrata			7.366,91

Documento IV:

Anexos

Anexo 1: imágenes de la máquina en las que se basa el diseño





