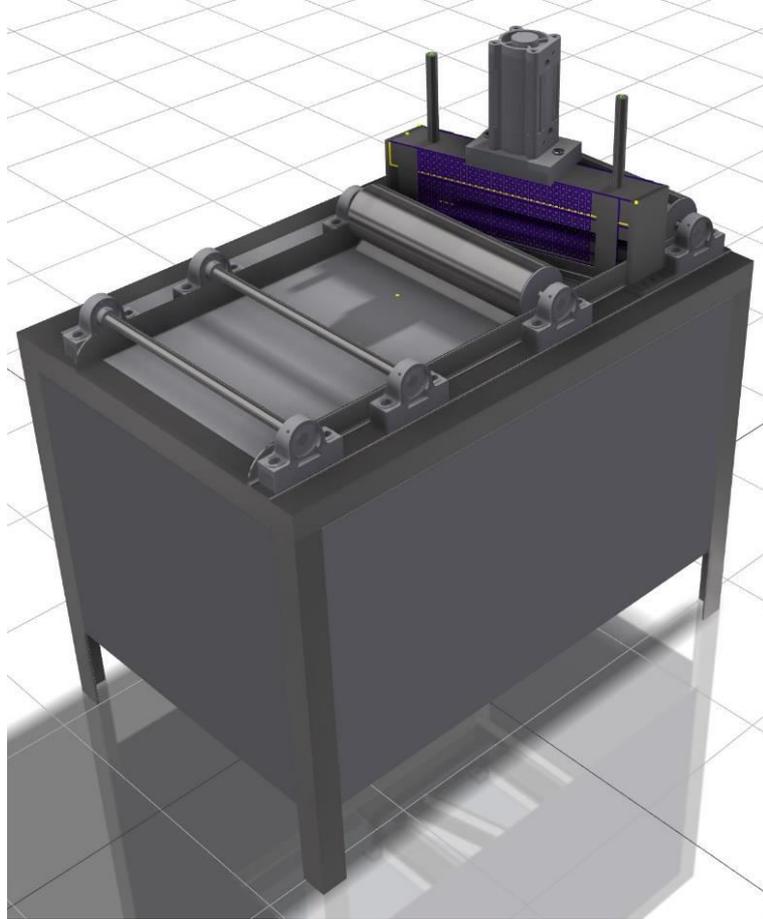


DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS



Autor:

David Crovo, estudiante de Ingeniería Mecánica.

Tutor:

Gelso, Héctor; Ingeniero Mecánico.

Facultad de Ingeniería -Departamento de Mecánica

Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina.

Julio 2019.



RINFI se desarrolla en forma conjunta entre el INTEMA y la Biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Mar del Plata.

Tiene como objetivo recopilar, organizar, gestionar, difundir y preservar documentos digitales en Ingeniería, Ciencia y Tecnología de Materiales y Ciencias Afines.

A través del Acceso Abierto, se pretende aumentar la visibilidad y el impacto de los resultados de la investigación, asumiendo las políticas y cumpliendo con los protocolos y estándares internacionales para la interoperabilidad entre repositorios



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-
NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Contenido

DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS.....	1
Contenido.....	2
Resumen.....	7
Introducción.....	8
Reseña histórica.....	9
Origenes del Ranurado.....	10
Conceptos teóricos.....	11
Cuchos, Ingredientes Compuestos y su criterio en el recauchutado del neumático.....	11
Criterios elementales para la selección de cauchos para el recauchutado del neumático.....	12
Tecnología de fabricación para el neumático Recauchutado.....	12
Metodología de recauchutado.....	14
<i>Sistemas de prueba de neumáticos no destructivos</i>	15
Proceso de fabricación de recauchutado.....	15
Tecnología verde del neumático.....	17
Introducción y descripción histórica.....	17
<i>Tecnología verde aplicada al neumático: el estado del arte</i>	18
Resistencia al rodamiento.....	19
Seguridad, tecnología ecológica, reciclaje y ahorro de costos en recauchutado de neumáticos.....	23
Mecanismo de la falla de caucho.....	25
Análisis de desgaste en cuchillas para corte de caucho.....	28
Descripción del arte previo.....	28
Breve descripción del mecanismo de corte.....	29
Breve descripción de los dibujos.....	29
Relación de Cargas en elastómeros.....	31
1. DUREZA.....	31
2. RESISTENCIA A LA ABRASIÓN.....	32
3. PROPIEDADES DE COMPRESIÓN.....	32
4. PROPIEDADES MECÁNICAS.....	32
5. LAS PROPIEDADES DE TRACCIÓN.....	33
6. RESISTENCIA AL DESGARRO.....	33
7. RESILIENCIA.....	34
8. FLEX PROPIEDADES.....	34
9. PROPIEDADES DE BAJA TEMPERATURA.....	34
10. RESISTENCIA AL CALOR SECO.....	34

DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

11. RESISTENCIA AL AGUA.....	34
12. PROPIEDADES ELÉCTRICAS.....	34
13. ACEITE GRASA Y RESISTENCIA QUÍMICA.....	35
14. PROPIEDADES DE FRICCIÓN.....	35
Cuchos: comportamiento mecánico.....	35
Tracción.....	35
Normas.....	36
ASTM D412 · DIN 53504 · ISO 37 · ISO 1798 · JIS K6251.....	36
ASTM D412 · Ensayo de tracción sobre caucho vulcanizado y elastómeros termoplásticos.....	36
ISO 1798:1999 · Resistencia a la Tracción y Alargamiento a la Rotura de los materiales poliméricos flexibles celulares.....	36
Elongación, Alargamiento a la Rotura.....	36
Desgarro.....	37
ASTM D624 tipo C · UNE 53516.....	37
Abrasión.....	37
DIN 53516 · UNE 53527.....	37
Compresión Set.....	37
ASTM D395 Met.B · UNE 53511 · UNE 53578 · ASTM D 1056-78 · DIN 53517 · UNE EN ISO 1856.....	38
UNE 53511.....	38
Resiliencia e Histéresis.....	38
Propiedades a tener en cuenta para la conservación del filo.....	38
Dureza.....	39
Tenacidad.....	39
Importancia en el examen.....	40
Máquinas de ensayos universales.....	40
Tipos de Grips.....	40
Otros requerimientos.....	40
Mecanismos tribológicos presentes durante el cizallamiento del caucho:.....	40
Análisis cinemático y tribológico del corte.....	40
Necesidades y problemáticas.....	44
Alcance del producto.....	44
Beneficios una vez tratada la banda.....	44
Desarrollo.....	46
Diagramas aclaratorios.....	46
Memoria de funcionamiento.....	50

DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

Diseño y calculo.....	54
Rotativas:.....	55
Método traslativo de corte:	57
Método de corte alternativo:.....	58
Matriz de selección	59
Diseño del bastidor	61
Diseño del sistema de traslación de banda.....	64
Rodillo de tracción.....	66
Trinquete -Engranaje-	70
Uña del trinquete	75
Brazo palanca	77
Selección de cilindro neumático para traslación de banda	79
Selección de poleas y correas sincrónicas.....	80
Selección de rodamientos y soportes	83
Diseño de la estructura de la guillotina.....	84
Diseño del porta cuchillas	84
Selección del cilindro neumático para accionar la cuchilla.....	86
Puente de corte.....	88
Calculo a la fatiga	90
Selección de bulones para sujeción de los elementos de la estructura de corte	92
Selección del elemento de corte.....	92
Diseño y cálculo del circuito electroneumático.	93
El cilindro tractor y válvula.....	93
El cilindro de corte y válvula.....	94
Elementos neumáticos.....	94
Diagrama neumático.....	94
Control y sensores.....	95
Conclusión	96
Anexos.....	97
Anexo #1 - Ampliación de conceptos teóricos.....	97
Parte 1	97
Cauchos usados para recauchutado del neumático	97
Caucho natural (NR)	97
Propiedades del caucho natural (NR).....	97
Caucho Estireno-butadieno.....	98
Caucho polibutadieno (PBR)	99

DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

Propiedades efectivas de caucho polibutadieno para recauchutado	99
Cuchos de propileno de etileno	100
Caucho reciclado	101
Proceso a través de digestor	102
Proceso Pan (sartén/olla)	102
Proceso de “Reclaimator”	102
Caucho pulverizado / granulado	103
Procesabilidad, caracterización y características de los ingredientes en compuestos de recauchutado del neumático	104
Procesabilidad	106
Requisito de propiedades mecánicas.....	106
Percepciones del refuerzo en el compuesto de caucho	108
Refuerzo de sílice, silicatos y carbonatos para recauchutado de neumáticos.....	110
Agregados especiales para las bandas de rodadura	111
Adherencia a los neumáticos usados/desgastados.....	112
Resistencia al oxígeno, al ozono y a doblar.....	113
Parte 2	113
Shearografía	113
Shearografía láser.....	114
Inspección de rayos X.....	114
Holografía.....	115
Parte 3	116
Propiedades físicas esenciales en el diseño de recauchutado.....	116
Pasos para la fabricación del recauchutado.....	117
Raspado.....	117
Reparación de carcasa.....	122
Cementación	122
Construcción (montaje).....	122
Curado del molde de recauchutado (proceso en caliente).....	123
Precurado - recauchutado (proceso de curado en frío).....	124
Proceso de recauchutado precurado	125
Armado, “enveloping”	126
Vulcanización de los rencauches en frio	127
Inspección final.....	127
Pintura exterior	128
Anexo #2 -Diseño asistido por computadora-.....	129

DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

Fórmulas de cálculo de vigas y ejes.....	129
Cálculo básico de deformación de columnas.....	130
Conceptos básicos del cálculo de correa síncrona.....	134
Cálculos básicos de conexiones por perno.....	146
Acerca del análisis de tensión	156
Descripción general del análisis de estructura.....	158
Anexo #3 - Cálculo de Rodillo.....	160
Anexo #4 - Cálculo del Eje	181
Loads	181
Anexo #5 - Cálculo cilindro de corte	191
Anexo #6 - Cálculo cilindro del sistema tractor.....	193
Anexo #7 - Cálculo de Correas	196
Anexo #8 - Cálculo de bulón.....	203
Anexo #9 - Cálculo Perfil UPN 80 Inferior	206
Anexo #10 - Rodamientos	216
Anexo #11 - Datos Técnicos Válvulas	220
Anexo #12 - Cálculo de bastidor.....	228
Bibliografía	252

Resumen

Diseño y cálculo de máquina para el ranurado auxiliar en bandas de rodamiento destinadas al recauchutado de neumáticos, dicha máquina permite realizar una serie de ranuras sobre la superficie de apoyo (con el asfalto), es decir agrega hendiduras adicionales a las con que viene provista. Diseño, calculo y verificación de los elementos de máquina que la componen: Bastidor, sistema de traslación de banda (trinquete, uña, brazo palanca, poleas, correas sincrónicas, rodamientos y soportes), sistema de corte (estructura, porta cuchilla, elemento de corte, bulones), sistema electroneumático (válvulas, cilindro tractor, cilindro de corte, sensores, etc.)

Introducción

En el mundo del neumático y sobre todo en lo que respecta a transporte e industria, el reencauche de los mismos genera un ahorro de dinero muy considerable, es decir respecto a un neumático nuevo el costo por km se reduce un 55%, si hacemos la comparativa de un neumático típico de transporte pesado (295/80R22.5).

La industria del reencauche dispone de una infinidad de variables. El objetivo de este informe es centrarse en el segmento de las bandas de rodadura y su función. Haciendo hincapié, que el fomento del reencauche de neumáticos es muy saludable al planeta, ya que se ahorran barriles de petróleo para poder seguir transportando de la misma manera los vehículos.

Para entrar en tema las bandas de rodadura detallaremos distintos aspectos que nos interesen en materia informativa para comprender el texto. Estas se producen en matrices longitudinales con el dibujo, diseño o patrón, que hacen característicos a su tipo de uso. Cada diseño puede tener una aplicación específica, es decir, un neumático que va a ser usado en la tracción o en un eje libre. Hay patrones que se adaptan mejor a un uso específico y otros que son multipropósito.

El corte parcial de las bandas, es decir, un corte perpendicular sobre la superficie de la banda a una determinada profundidad (ver figura 1), tiene como nombre comercial dependiendo de las marcas Micro-Sipe, Maxi Trac, Serra-Sipes, entre otras. Este proceso se hace sobre la banda de rodadura una vez finalizada su vulcanización, y no sobre la matriz; evitando la disminución de material.



Figura 1

Los cortes son producidos en las plantas de elaboración de las bandas de rodadura, y no en las plantas de reconstrucción de neumáticos. Esto hace que la planta reconstructora deba disponer de cada modelo y medida mayor cantidad de stock. Incrementando el capital de trabajo en stock de materias primas. Por otro lado, también las bandas que tenga este proceso de cortes transversales suelen tener un costo mayor, de aproximadamente el 5%.

Reseña histórica

El reencauche del neumático es una tecnología que puede ser considerada como el reciclaje de los neumáticos usados. De hecho, el término "recauchutado" fue introducido durante la segunda guerra mundial por ex oficiales del ejército.

Alrededor del 85 – 88% de los cascos desgastados pueden ser recauchutados y reutilizados como neumáticos frescos, y si se utilizan y se mantienen correctamente, el 80% de los cascos que han sido recauchutados una vez pueden ser recauchutados otra vez y ser reutilizados. El proceso para obtener un neumático funcional y eficaz, se obtiene substituyendo la banda de rodadura vieja por una nueva, con el proceso apropiado y compuestos de caucho convenientes. Un neumático correctamente reencauchado puede proporcionar el mismo kilometraje, resistencia a la rodadura y otras características operacionales como neumático nuevo. Los neumáticos recauchutados se prueban, es decir, su confiabilidad y seguridad son evaluadas según las especificaciones para los neumáticos según corresponda de automóvil, camiones, "off-the-Road" (OTR) y de los aviones (teniendo en cuenta, por ejemplo, las tensiones extremas eventualmente experimentadas por los neumáticos de los aviones).

El recauchutado del neumático es amigable al medioambiente como alternativa a comprar un neumático nuevo. Una cantidad considerable de energía (equivalente a 84 litros de aceite) se consume en la fabricación de un neumático nuevo de camión, mientras que 26,5 litros de aceite se utilizan para reencauchar un neumático. En los Estados Unidos cada año 15.000.000 neumáticos de camión se reencauchan, de tal modo ahorrando 100.000.000 galones de aceite. En otras palabras, el recauchutado, mediante el reciclaje y la conservación de las carcasas, contribuye a conservar los recursos de la tierra.

En la larga historia de la fabricación de neumáticos de automóviles los siguientes hitos son importantes. En 1895, Michelin introdujo su rueda neumática de automóvil. Anteriormente, en 1888, Dunlop había patentado la rueda neumática en el Reino Unido. Goodyear lanzó los primeros neumáticos reforzados con nylon en 1947 y, en el mismo año, BF Goodrich anunció el neumático sin cámara. Aún más interesante, en 1992 Michelin introdujo el primer neumático durable ' Green Tyres ', que se formulaba de compuestos de caucho reforzados con sílice en lugar del agente de reforzamiento habitual, negro de carbono.

En 1912, Marion Oliver patentó el diseño de una banda pre-curada de rodadura de 10 pies y de 12 pies de largo. En la década de 1980, el negocio de recauchutado de neumáticos rápidamente se globalizó, y las empresas europeas empezaron a comercializar equipos y técnicas de fabricación en los Estados Unidos. Un nuevo tipo de extrusor fue introducido para producir la banda de recauchutado de neumático para camión.

También en los años 80, se implementó un método no-destrutivo para la inspección cuidadosa de neumáticos usados. Luego, en los años 90, los adelantos comenzaron a ser en la automatización de las distintas herramientas y maquinaria instaladas en las plantas de recauchutado. También desde ese entonces se implementó la tecnología para la inspección primaria de los neumáticos usados, utilizando un esparcidor inflado en la inspección y un equipo mejorado de radiografía. La Xerografía, una holografía nueva y mejorada, especialmente diseñada para la producción y prueba de neumáticos de alta velocidad, puede determinar su viabilidad para el recauchutado. El dispositivo de extensión de inspección funciona aplicando una presión de aire suficiente en un neumático usado, haciendo que cualquier sección dañada de la carcasa se distorsione, permitiendo así que cualquier defecto sea identificado fácilmente.

Orígenes del Ranurado

Es un proceso de corte de hendiduras finas a través de una superficie de goma para mejorar la tracción en condiciones húmedas o heladas.

Fue inventado y patentado en 1923 bajo el nombre de John F. Sipe. La historia contada en varios sitios web es que, en la década de 1920, Sipe trabajó en un matadero y se cansó de resbalar en los pisos mojados. Encontró que cortar hendiduras en la suela en la parte inferior de sus zapatos proporcionaba una mejor tracción que la suela sin cortar. Otra historia es que él era un marinero y quería evitar resbalones en una cubierta mojada.

La invención de John Sipe no tuvo éxito. Se aplicó a los neumáticos de goma maciza, en lugar de neumáticos inflables, por lo que los neumáticos tenían mal agarre húmedo de todos modos, debido a su parche de contacto limitado. Fue su hijo, Harry E. Sipe, quien popularizó el uso de sipes en los EE. UU. Para los nuevos neumáticos de baja presión alrededor de 1939.

El proceso no se aplicó a los neumáticos de vehículos a gran escala hasta la década de 1950, cuando se desarrollaron compuestos superiores de la banda de rodadura que podían resistir el proceso de ranurado. En las carreteras cubiertas de nieve, hielo, barro y agua, las entalladuras generalmente aumentan la tracción. Una patente de EE. UU., de Goodyear también afirmó que las entalladuras mejoran la tracción del neumático y tienden a cerrarse completamente en la "huella" del neumático en la carretera. Un estudio realizado en 1978 por el Consejo Nacional de Seguridad de los EE. UU. Encontró que las distancias de frenado mejoraron en un 22 por ciento, la resistencia a la tracción en un 65 por ciento y la tracción en un 28 por ciento en el hielo.

Las formas del bloque de la banda de rodadura en los neumáticos, las configuraciones de ranura y las entalladuras afectan el patrón de ruido de los neumáticos y las características de tracción. Por lo general, los surcos anchos y rectos tienen un bajo nivel de ruido y una buena eliminación de agua. Más surcos laterales generalmente aumentan la tracción. Los surcos son pequeños ranuras que se cortan a través de elementos más grandes de la banda de rodadura. Hasta cierto punto, más laminillas dan más tracción en la nieve o el barro. Hay compromisos para diferentes casos. Los neumáticos de invierno y los neumáticos de "barro y nieve" pueden tener miles de entalladuras y dar buena tracción. Pero, pueden ser "retorcidos" en un camino cálido y seco. Los "slicks" de carreras sin patrón en carreteras secas dan la máxima tracción. Estos no tienen ranuras, ni bloques. También tienen una tracción muy pobre, incluso en superficies ligeramente húmedas. Los fabricantes de llantas usan diferentes compuestos de caucho y diseños de la banda de rodadura para diferentes usos de llantas.

Las hendiduras grandes generalmente se incorporan en la banda de rodadura durante la fabricación, es decir están ubicadas en el molde. Estas ranuras también se pueden cortar en la banda de rodadura en una fecha posterior, llamada "microsiping". Bandag desarrolló una máquina para microsiping, que coloca una hoja de cuchilla curvada en un ligero ángulo en un tambor giratorio(tipo sinfín). El tambor se coloca de manera que cuando se presiona contra la banda de rodadura, el neumático se presiona en un hueco exagerado, como si se dirigiera por un riel. El tambor está lubricado y girado y la cuchilla hace una serie de cortes diagonales a través de la banda de rodadura. Para mejorar la tracción, el neumático se puede aplicar dos veces, dejando bloques en forma de diamante. Un problema importante con el sorbido en el campo es que la banda de rodadura recoge rocas, vidrios y otros escombros duros, e incluso con una limpieza a fondo, la vida útil del cuchillo es a menudo deficiente.

Conceptos teóricos

Cauchos, Ingredientes Compuestos y su criterio en el recauchutado del neumático

Los cauchos o elastómeros básicos utilizados en la composición para el recauchutado de los neumáticos son de alto peso molecular (MW), polímeros amorfos y visco elástica con alta elasticidad. Los compuestos de caucho elaborados a base de caucho natural (NR) con mezclas de elastómeros sintéticos como el caucho de polibutadieno (tipo de goma) y el caucho de estireno-butadieno (SBR) se vuelven blandos y con fluidez para alcanzar el diseño del perfil de la banda en el molde, copiando sin defectos el dibujo con el calor apropiado y resultando un producto con bajas tensiones durante el proceso.

Para algunos usos o aplicaciones especiales, el recauchutado del neumático puede requerir altas características de resistencia del medioambiente, productos químicos, temperatura y aceite, que se pueden obtener mezclando el NR, de propósito general y de sintéticos de propósito especial.

Los cauchos comúnmente usados para los usos de recauchutado del neumático son los siguientes:

- NR (isopreno)
- SBR
- PBR
- Caucho cloropreno (CR: Chloroprene rubber) para aplicaciones específicas.
- Caucho de etileno propileno dieno (EPDM: Ethylene propylene diene monomer) para aplicaciones especiales (en mezclas con NR)
- Caucho reciclado (como ingredientes compuestos)

En este capítulo se presenta una visión general del comportamiento de proceso, características físico-mecánicas (tales como dureza, resistencia a la tracción, módulo, abrasión, desgarró y resistencia a flexión), resistencia química y de aceite, mientras operan en un entorno particular. Tecnólogos asociados a la industria del rencauche de neumáticos, controlan el procesamiento del caucho para determinar la viscosidad correcta para funcionar eficazmente en una temperatura de proceso particular, el caudal, el estrés aplicado y la deformación, su comportamiento reológico durante la extrusión para la banda de rodadura y el calandrado de tiras de goma, y para obtener la correcta mezcla de polímeros para lograr las características de producto deseadas.

La dispersión del negro de humo, de productos químicos en forma de polvos y agregados inorgánicos en la matriz de caucho, puede requerir de agentes de dispersión durante la preparación de un compuesto para alcanzar buenas características de proceso; costos de energía más bajos (para la mezcla) y la terminación deseada para la presentación de las bandas. Éstos pueden incluir: resina de madera, resinas sintéticas, aceites de proceso, los alquitranes del pino para los compuestos "high-carbon-black-filled", y plastificantes particulares para los elastómeros sintéticos. Diferentes tipos de ayuda de proceso (PA) se utilizan en el compuesto de caucho para mejorar la procesabilidad (por ejemplo, ácidos grasos, ésteres de ácidos grasos, jabones metálicos de ácidos grasos y resinas de bajo MW).

En la etapa inicial de la mezcla de un compuesto, la alta tensión de corte y la alta energía son necesarias, pero éstas pueden ser reducidas perceptiblemente usando los químicos

peptizantes, que reducen la viscosidad del NR básico vía avería mecánica. Esto da lugar a una reducción en el consumo de energía durante la mezcla y mejora la uniformidad del compuesto, aumentando la eficacia de la mezcla. Algunos elastómeros sintéticos también se pueden tratar con peptizantes para reducir la viscosidad, pero muchos sólo pueden ser tratados con calor durante la mezcla antes de la incorporación de los ingredientes. El buen proceso y las mezclas con buenas características físicas son alcanzables cuando todos los ingredientes están bien dispersos, y se prepara un compuesto homogéneo para el proceso sin defectos.

La adherencia entre los neumáticos usados/viejos y la banda nueva es el requisito más esencial de un compuesto del elastómero, que debe ser bastante fuerte y debe proporcionar la fuerza y la durabilidad deseadas durante servicio.

Criterios elementales para la selección de cauchos para el recauchutado del neumático
Los criterios para la selección de elastómeros y aditivos a procesar para el recauchutado son decisivos en la elección del tipo correcto de caucho y los ingredientes principales para satisfacer los parámetros físicos deseados. Las propiedades esenciales consideradas son las siguientes:

- distinción en el procesamiento
- características de moldeo y curado
- condición de servicio y durabilidad
- rango de temperatura de servicio
- duración del servicio
- adherencia con el neumático viejo
- propiedades físicas, tales como resistencia mecánica, abrasión, corte y reducción del crecimiento del corte
- resistencia al agua
- resistencia aceite/química (para usos específicos)
- resistencia a la degradación medioambiental
- economía compuesta

(ver anexo, ampliación de conceptos teóricos parte 1)

Tecnología de fabricación para el neumático Recauchutado

El recauchutado es un proceso tecnológico en el que se retira la banda de rodadura gastada de un neumático usado y se coloca una nueva banda de rodadura en la carcasa del neumático sin daños. Es la única opción considerada como reciclaje con el propósito de la utilización fresca de un neumático que se ha vuelto inutilizable. Los neumáticos de los vehículos constituyen uno de los principales gastos operativos de la mayoría de las flotas, pero, con el recauchutado, un neumático puede proporcionar el mismo kilometraje que un neumático nuevo, tal vez incluso a un menor costo por kilómetro. De hecho, una investigación sobre las causas de la falla de los neumáticos en Rusia encontró que el 70-90% de los neumáticos fallan debido al desgaste de la banda de rodadura durante el curso del servicio.

Los neumáticos off-the-road (OTR) de calidad están diseñados para ser recauchutados, ya que, si se descarta una llanta nueva después de que la banda de rodadura se haya desgastado, el usuario puede haber consumido solo el 50% de su valor. Los neumáticos OTR recauchutados

cuestan solo la mitad que los neumáticos OTR nuevos, por lo que el recauchutado representa un ahorro sustancial de costos que no compromete la calidad. Los estudios han revelado que el 15% de los costos operativos totales de la flota están relacionados con los neumáticos, y existe la posibilidad de reducirlo hasta en un 50% mediante el recauchutado en el momento adecuado, con lo que se ahorra un 8-15% de los gastos operativos. Además, el recauchutado ayuda a superar la escasez global de nuevos neumáticos OTR. Desde un punto de vista económico, las llantas de camión recauchutadas generan ahorros de más de \$ 3 mil millones por año solo en América del Norte para las compañías operadoras de camiones. El impacto ambiental también es una consideración. Un neumático OTR de recauchutado de calidad superior requiere solo 40 kg de crudo para recauchutar, pero se requieren aproximadamente 200 kg de crudo para producir un neumático nuevo. El recauchutado puede ahorrar millones de kilogramos de petróleo anualmente en todo el mundo, lo que ayuda a conservar los recursos naturales.

Para garantizar la seguridad de los neumáticos de camiones recauchutados, estos se fabrican según los rigurosos estándares de la industria, establecidos por las normas de seguridad federales del Departamento de Transporte del Reino Unido y de los Estados Unidos. Como parámetro de identificación, todas las llantas recauchutadas están marcadas con el nombre del fabricante y la fecha de producción. En consecuencia, los neumáticos recauchutados se pueden utilizar de forma segura en operaciones diarias en aviones, automóviles, camiones, autobuses, vehículos militares, ambulancias, etc. Los neumáticos recauchutados se pueden conducir a las mismas velocidades permisibles que los neumáticos nuevos comparables sin reducir la seguridad, el rendimiento o la comodidad de los pasajeros.

Desde aspectos económicos, operativos y ambientales, es importante volver a colocar un neumático en el momento correcto. A nivel mundial, alrededor del 80% de las líneas aéreas, todo terreno y camiones de servicio pesado (incluidos los vehículos más ligeros) están operando con neumáticos recauchutados.

En términos de ahorro de combustible, los neumáticos desempeñan un papel esencial, ya que la selección del neumático adecuado y la utilización de un sistema de gestión de neumáticos adecuado pueden ahorrar un 4% de combustible en funcionamiento. Si el neumático no está suficientemente inflado, tiene más resistencia a la rodadura debido a una distorsión de la banda de rodamiento desproporcionada. De hecho, la alta resistencia a la rodadura y la baja presión de inflado pueden aumentar el consumo de combustible hasta en un 30%. La logística total del neumático, o un sistema de gestión de neumáticos adecuado, es por lo tanto tan importante para el ahorro de combustible como la selección de neumáticos.

En general, los neumáticos recauchutados ofrecen más resistencia a la rodadura que los originales, por lo que el diseño del dibujo de la banda de rodadura afecta el ahorro de combustible. Un diseño de la banda de rodadura con un patrón de profundidad inferior puede ofrecer una mejor economía de combustible, aunque el efecto puede variar en las diferentes operaciones.

Las industrias de recauchutado de neumáticos, con el objetivo de reparar, recauchutar y reciclar, se consideran verdes y se han convertido en un enfoque nacional e internacional. Tienen el potencial de ahorrar toneladas de acero y millones de barriles de petróleo, y reducir las emisiones de carbono, ofreciendo así beneficios ambientales colosales.

Antes de preparar un neumático viejo / usado para recauchutar, es imperativo llevar a cabo una inspección cuidadosa para determinar su idoneidad para el recauchutado a fin de garantizar el rendimiento del servicio posteriormente.

En la década de 1980, se introdujo una forma no destructiva de inspeccionar neumáticos gastados.

Metodología de recauchutado

El recauchutado de neumáticos es tan antiguo como la fabricación de neumáticos. De hecho, es una tecnología reconocida y confiable. Millones de estos neumáticos se utilizan para aviones, camiones y vehículos pesados OTR, y los automóviles se recauchutan cada año y se venden en todo el mundo para reducir los costos operativos de la flota. Casi el 80% de las aerolíneas y vehículos pesados del mundo usan llantas recauchutadas.

Los reencauches son seguros y pueden ahorrar cientos de millones de barriles de petróleo en comparación con los niveles consumidos en la producción de un neumático nuevo. Un estudio ha revelado que el 70-90% de las fallas en los neumáticos se debe al desgaste. Para aumentar la vida útil de los neumáticos, por lo tanto, es necesario aumentar la resistencia al desgaste de la banda de rodadura, lo que se puede lograr en el momento del recauchutado. El recauchutado es un proceso que proporciona neumáticos con una segunda vida dando nueva banda de rodadura a la llanta gastada.

Los requisitos básicos deseables de un neumático son los siguientes:

- Alta resistencia al desgaste y larga vida útil del neumático
- Alto grip en mojado para ofrecer alta seguridad
- Baja pérdida de balanceo para reducir el consumo de combustible

Los siguientes son requisitos esenciales para el desarrollo de compuestos de caucho recauchutados:

- Procesabilidad
- Buena adherencia y fuerza en verde
- Baja histéresis
- Alta resistencia al deslizamiento
- Alta resistencia a la abrasión
- Tasa baja de crecimiento de grietas
- Eficiencia de balanceo
- Estabilidad termo-oxidativa
- Económico

Las operaciones para la producción de un neumático recauchutado se llevan a cabo en el siguiente orden:

1. Inspección inicial del neumático gastado

El objeto de la inspección preliminar es confirmar que una carcasa es aceptable para el recauchutado. Esto implica una inspección exhaustiva de cada neumático, dentro y fuera, la identificación de cualquier deterioro de la carcasa y la evaluación de su reparabilidad. Aprobar la carcasa para su posterior procesamiento, si es aceptable dentro de los criterios de inspección.

Los siguientes pasos son partes importantes del procedimiento de inspección visual que se realiza para aceptar una carcasa para el recauchutado:

2. Sin separación de capas (sopladura del casco)

3. Cinturón: no estar roto, dañado o expuesto
4. Sin daños en las capas en el área del talón
5. No haber telas/alambres sueltos, signos de sobrecarga, falta de inflado o haber sido llanteado.
6. No haber separación de la banda de rodadura que no se puede eliminar durante el pulido
7. Sin separación en el área de la pared lateral
8. Sin grietas que se extienden en las capas del cuerpo debido al envejecimiento
9. Sin daños irreparables en el revestimiento interior o en el área del talón de un neumático sin cámara
10. Sin daños grandes que no se pueden reparar
11. Sin separación del cinturón en neumáticos radiales.

Cada llanta, mientras está en uso, está sujeta a desgaste, algunas en menor grado que otras. Independientemente del nivel de desgaste, siempre que la carcasa del neumático no esté dañada, es decir, en aproximadamente el 75% de los neumáticos, se puede recauchutar. El neumático puede recuperar su estado original y estar preparado para su uso.

Millones de neumáticos se retiran de los vehículos cada año y su utilidad se restablece mediante un recauchutado preciso. En consecuencia, las mejoras en el recauchutado son importantes, y los neumáticos al final de su vida han sido estudiados con gran detalle.

Sistemas de prueba de neumáticos no destructivos

La inspección de neumáticos gastados mediante una metodología no destructiva que utiliza máquinas puede proporcionar un recauchutado de mejor calidad a través de un proceso de selección del neumático correcto antes del recauchutado. Un dispositivo de rayos X está disponible para la industria de recauchutado, así como shearografía, un nuevo y avanzado método de holografía, ambos en la categoría de equipos no destructivos. Estos se utilizan en combinación con la inspección visual convencional para proporcionar un proceso de producción rápido y pruebas precisas que incluyen:

- Dispositivo electrónico
- Equipo ultrasónico
- Máquina de rayos X
- Sistema electromecánico
- Holografía
- Shearografía u otros tipos de equipos de inspección de revestimiento que pueden ayudar a determinar la integridad de la tubería de revestimiento

(ver anexo, ampliación de conceptos teóricos parte 2)

Proceso de fabricación de recauchutado

Durante la operación de recauchutado, las etapas de proceso están en el orden siguiente: (i) el raspado, (II) cementación, (III) embandado y (IV) vulcanizado. Todos los pasos se realizan bajo una iluminación adecuada para detectar variaciones menores, y son esenciales para el proceso de recauchutado en todas las categorías de neumáticos.

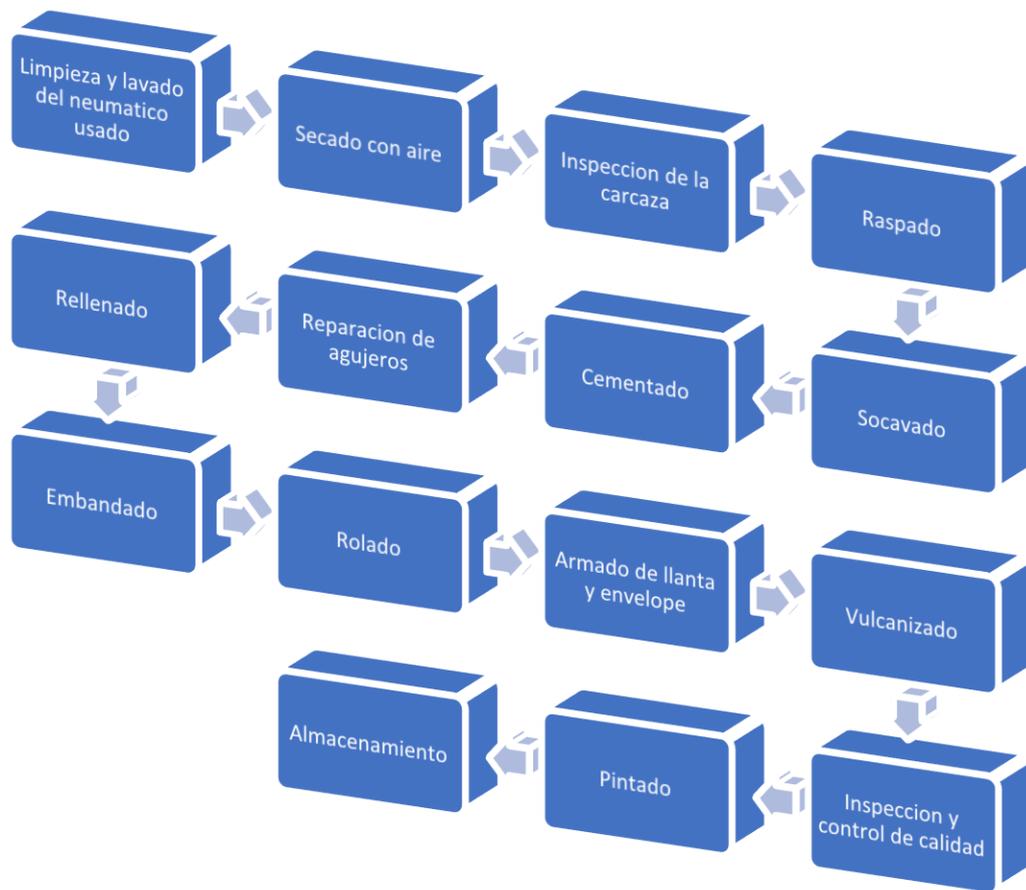


Figura 3,4 diagrama de flujo de fabricación para sistema de recauchutado de neumáticos calientes

- Inspección inicial del neumático
- Limpieza de neumáticos desgastados
- Eliminación de la vieja banda de rodadura
- Raspado entero de la banda sobre una maquina
- Socavado
- Reparación de los socavados
- Cementación
- Aplicación de caucho de relleno
- Aplicación de tiras de bandas de caucho
- Aplicación de la banda
- Rolado de la banda
- Vulcanizado

- Pintado del neumático
- Inspección y pruebas

(ver anexo, ampliación de conceptos teóricos parte 3)

Tecnología verde del neumático

Introducción y descripción histórica

Históricamente, el deletreo era "neumático", y vino de la palabra francesa "Tirer", significando "tirar". De hecho, 'Tire' originalmente se refería a los aros de hierro o alambres gruesos atados a las ruedas de carruaje. En francés la palabra para una varilla de hierro dibujado es un "Tirer", o "pull".

En 1845, Robert William Thomson, un ingeniero escocés, inventó por primera vez el neumático. Más de 40 años después, en 1888, un neumático de bicicleta hecho de caucho natural (NR) fue introducido por Juan Boyd Dunlop para hacer el viaje de la bicicleta de su hijo más cómodo, conduciendo a la invención de los primeros neumáticos comerciales disponibles.

En 1915 Palmer Tire Company de Detroit fue pionera en la fabricación de tela de caucho e hizo el primer "neumático de la tela". Por 1937, las cuerdas de acero estaban siendo utilizadas en la fabricación de los neumáticos de camión de construcción convencional. Hay que recordar que, hasta el comienzo de la segunda guerra mundial, muchos camiones todavía utilizaban neumáticos sólidos.

En 1948 Michelin desarrolló el primer neumático radial. Esto era revolucionario, ya que eran neumáticos radiales con cinturón de acero. Tenían las ventajas de una vida más larga y del kilometraje creciente. Sin embargo, requirieron un sistema de suspensión diferente y por lo tanto sólo fueron adoptados gradualmente. Este neumático, junto con el invento de Dunlop, nos dio el neumático que tenemos hoy.

En 1904, la introducción del negro de carbón como agente de refuerzo para el caucho llevó a la mejora en la característica de la resistencia de desgaste del neumático. El agregado de negro de carbón también reduce la cantidad de óxido de cinc necesario. Esto fue utilizado previamente para realzar las características físicas del caucho, aunque una pequeña cantidad de óxido de cinc todavía se agrega con el sulfuro para los propósitos de curado.

A finales del siglo XX, se realizaron importantes avances en la tecnología de los neumáticos con la sustitución del negro de carbono por un grupo de sílices altamente activos. En 1992 Michelin introdujo el concepto de "tecnología de neumáticos verdes", utilizando relleno de sílice y un agente de acoplamiento bifuncional en lugar de negro de carbono convencional. En la fabricación del neumático, la sílice se utiliza principalmente para reducir resistencia a la rodadura. La creciente importancia de la protección del medio ambiente ha dado lugar a una demanda de rodadura de neumáticos que combina una larga vida de servicio con seguridad de conducción y bajo consumo de combustible. El uso de sílice, por lo tanto, lleva a un menor consumo de combustible y un mejor kilometraje que los neumáticos fabricados con compuestos que contienen negro de carbono. Las razones tecnológicas han evitado durante mucho tiempo que las sílices se utilicen en los compuestos de rodadura. Un grado insuficiente de unión física o química entre las partículas de sílice y la matriz de caucho ha evitado que los rellenos de sílice se utilicen como rellenos de refuerzo para el caucho para la mayoría de los

propósitos, incluyendo las bandas de los neumáticos. Para superar esto, se usan agentes de acoplamiento que reaccionan con la superficie de la sílice y la matriz de caucho.

Hoy en día, el negro de carbono tratado con sílice (carbón-sílice de doble fase de relleno, CSDPF) también se ha investigado como un nuevo relleno de refuerzo para los compuestos de rodadura. CSDPF funciona igual que la sílice en los compuestos de rodadura.

La banda del neumático asegura el “grip” entre la superficie de la carretera y el neumático. Después de rodar 1.000 veces la profundidad de la pisada reduce, al igual que el coeficiente de fricción, llevando a resbalar entre la superficie de la carretera y la pisada. En este punto el neumático ya no está en condiciones de ser utilizado. En los últimos 20 – 25 años, el proceso de recauchutado, un acercamiento moderno, ha ganado la importancia creciente debido a su coste-eficacia, facilidad, y mayor margen de beneficio que el reemplazo completo de un neumático.

Tecnología verde aplicada al neumático: el estado del arte

De acuerdo con la demanda de los clientes, un buen neumático debe proporcionar las siguientes características:

- La mayor fuerza de tracción o agarre en curvas posible entre el neumático y la superficie de la carretera, es decir, un buen agarre, especialmente bajo condiciones de humedad.
- Menor resistencia a la rodadura, para una mejor economía de combustible.
- Buen desgaste o resistencia a la abrasión.

Para cumplir estos requisitos, el compuesto recauchutado juega un papel importante, ya que la banda de rodadura es la única área en contacto con la superficie de la carretera. En neumáticos recauchutados, el compuesto debe cumplir los criterios anteriores. La tracción o agarre generalmente se rige por el coeficiente de fricción entre la banda de rodadura y la superficie de la carretera. La banda de rodadura de un neumático debe proporcionar altas fuerzas de tracción y agarre en curvas entre la banda de rodadura y la superficie de la carretera para evitar así el deslizamiento. Esta tracción es necesaria tanto en condiciones de carretera seca como húmeda (agarre en mojado y agarre seco). La tracción depende predominantemente del compuesto de la banda de rodadura del neumático, el diseño del perfil de la banda de rodadura, las condiciones del camino y la construcción del neumático.

Dejando de lado las características de construcción del neumático, la respuesta de la dirección depende de la rigidez del compuesto de la banda de rodadura, es decir, el módulo dinámico y las propiedades de fricción.

La pérdida de módulo del compuesto recauchutado regula la resistencia a la rodadura. Al ser uno de los principales criterios de rendimiento, debe ser lo más pequeña posible en lo que respecta a las preocupaciones medioambientales, los costes de conducción y el consumo de combustible.

Para lograr un mejor rendimiento, la resistencia a la abrasión del compuesto recauchutado también debe ser lo más alta posible. El compuesto recauchutado debe mostrar un bajo desgaste y una buena durabilidad, y también proporcionar un confort de conducción óptimo.

Lograr mejoras en las tres características (resistencia a la rodadura, agarre en mojado y desgaste de la banda de rodadura) a la vez es difícil ya que están en conflicto. Los tres criterios de rendimiento forman el "triángulo de la sabana corta" de las propiedades de los neumáticos que se muestran en la Figura 4.16.

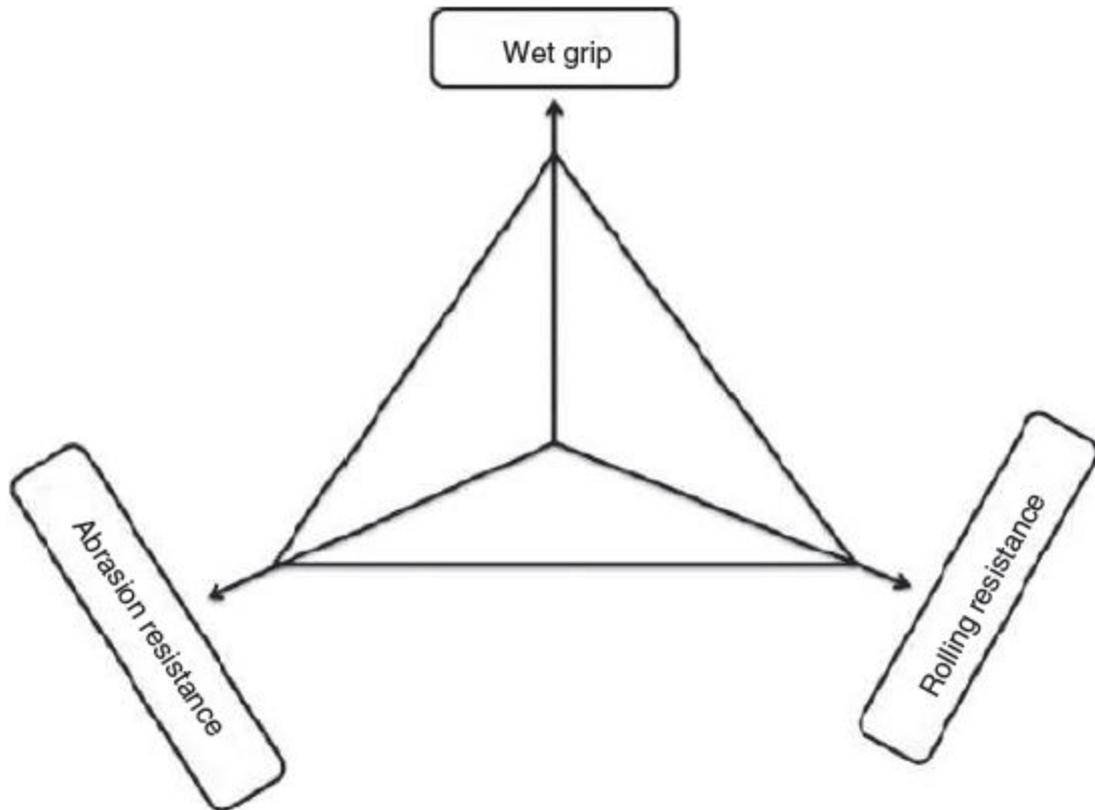


Figura 4.16 "Triángulo de la sabana corta" de las propiedades de los neumáticos

El concepto de "tecnología de neumáticos verdes" significa mejorar la seguridad vial y el ahorro de combustible y reducir el impacto en el medio ambiente. En este contexto, la resistencia a la rodadura y el agarre sobre mojado son los asuntos importantes que preocupan.

Resistencia al rodamiento

A partir de la experiencia diaria, la mayoría de la gente está muy familiarizada con el fenómeno de la resistencia a la rodadura. Al andar en bicicleta, debido a la resistencia a la rodadura, se necesita una cantidad considerable de esfuerzo para mantenerla en movimiento en la dirección de avance. Convencionalmente, la resistencia a la rodadura se ha descrito como una fuerza que actúa en la dirección opuesta al desplazamiento, como la fuerza de fricción, como se muestra en la figura 4.17.

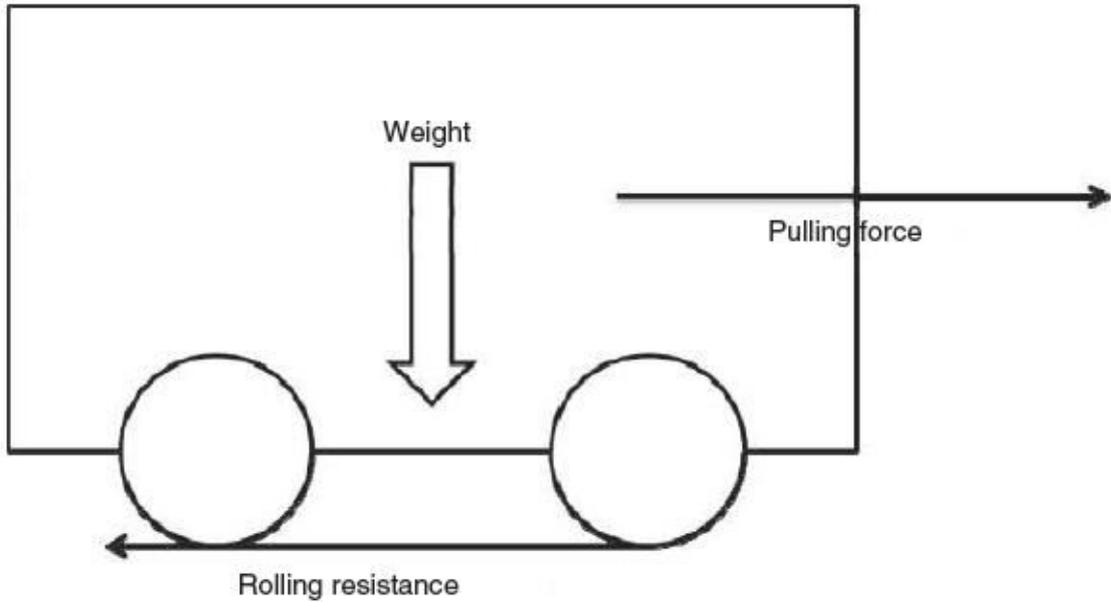


Figura 4.17 Mecanismo de resistencia a la rodadura

Durante el rodamiento de un neumático en una superficie de carretera, la conversión de energía mecánica en energía térmica tiene lugar como resultado del fenómeno denominado resistencia a la rodadura. La resistencia a la rodadura también se define como la energía consumida por unidad de distancia de recorrido de un neumático rodando en condiciones de carga. Por lo tanto, la resistencia a la rodadura F_R se puede describir mediante la Ecuación 4.11:

$$F_R = \frac{dH}{dl} \quad (4.11)$$

donde dH es la cantidad de energía convertida en calor debido a la distancia dl recorrida. Como $dl = vdt$, donde v es la velocidad de un neumático y dt es el tiempo necesario para recorrer una distancia dl , entonces la ecuación 4.11 puede convertirse en la ecuación 4.12:

$$F_R = \frac{\dot{H}}{V} \quad (4.12)$$

donde la tasa de desarrollo de calor \dot{H} ($\alpha dH/dt$) a menudo se trata como pérdida de potencia P_R y se expresa como Ecuación 4.13:

$$\dot{H} = \frac{dH}{dt} \quad (4.13)$$

Por lo tanto, la Ecuación 4.12 se puede expresar como la Ecuación 4.14:

$$F_R = \frac{P_R}{V} \quad (4.14)$$

En la Ecuación 4.15, Holt y Wormeley consideraron el balance de energía del sistema neumático-rueda carretera. Propusieron que parte de la potencia de entrada entregada por el motor se convierte en calor por el neumático, y el resto, la potencia de salida, se utiliza para conducir el automóvil:

$$P_R = P_{in} - P_{out} \quad (4.15)$$

donde P_{in} es la potencia de entrada de un neumático suministrado por el motor, y P_{out} es la potencia de salida de un neumático proporcionado para la tracción del automóvil. Durante la deformación y fricción repetidas, la parte restante, P_R , emerge como calentamiento del neumático. Por lo tanto, ecuación 4.14 finalmente se convierte a la Ecuación 4.16:

$$F_R = \frac{P_{in} - P_{out}}{V} \quad (4.16)$$

Por lo tanto, la resistencia a la rodadura incluye todas las pérdidas: dentro de la estructura del neumático, entre el neumático y la carretera, y dentro de la carretera.

Por lo tanto, el neumático consume una parte de la energía transmitida a las ruedas, dejando menos energía para avanzar. Solo el 30% del combustible consumido se usa para el movimiento del vehículo en la dirección de avance, y el 70% se pierde en forma de calor. De ese 30%, un tercio se consume para superar la resistencia aerodinámica, un tercio para la fricción mecánica y un tercio para superar la resistencia a la rodadura, como se muestra en la Figura 4.18.

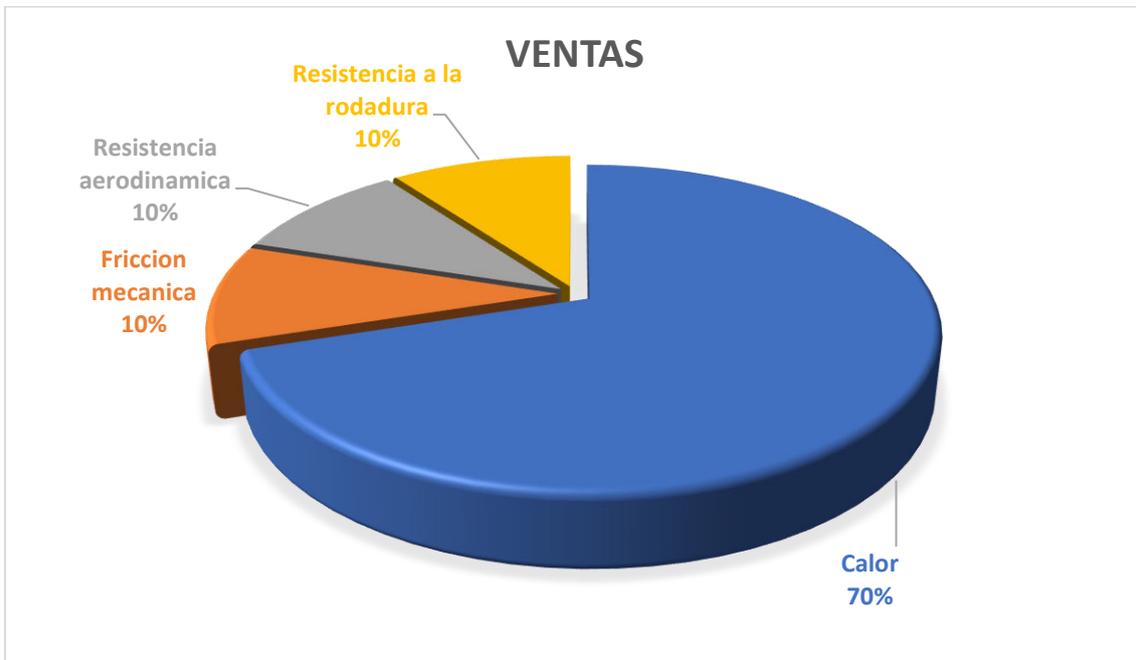


Figura 4.18 Pérdida de energía durante la rodadura de un neumático

La resistencia a la rodadura juega un papel importante en el aumento del consumo de combustible del vehículo. A medida que la demanda de los clientes en una mejora en la seguridad vial, una mejor economía de combustible y un menor impacto ambiental han cobrado impulso, los ingenieros de neumáticos han buscado soluciones factibles. Durante las últimas tres décadas, se ha prestado especial atención a la reducción de la resistencia a la

rodadura de los neumáticos al tiempo que se mejoran otros aspectos del rendimiento del neumático. Como resultado, los ingenieros de neumáticos se enfrentan al problema de comprometer la baja resistencia a la rodadura, el mejor agarre en mojado y la alta resistencia a la abrasión.

Cuanto menor sea la resistencia a la rodadura, menor será el consumo de combustible requerido para impulsar el vehículo en la dirección de avance. Sin embargo, la baja resistencia a la rodadura da como resultado un mal agarre en mojado, que es impredecible. Para un buen agarre es necesario tener un alto coeficiente de fricción entre la banda de rodadura y la superficie de la carretera, pero para reducir la resistencia a la rodadura y mejorar el consumo de combustible, el coeficiente de fricción debería ser muy bajo. En general, el agarre se ve afectado por el grado de distorsión de un neumático a altas frecuencias y, por lo tanto, el grado en que entra en contacto con pequeñas piedras y la irregularidad en la superficie de la carretera. Por lo tanto, los compuestos de caucho que absorben una gran cantidad de energía proporcionan el mejor agarre.

La resistencia a la rodadura, sin embargo, se ve afectada por la distorsión de baja frecuencia. Los compuestos de caucho que absorben bajas cantidades de energía (compuestos de baja histéresis) proporcionan baja resistencia a la rodadura. En consecuencia, los ingenieros de neumáticos han dado un paso importante: el reemplazo de negro de humo por sílice en el compuesto de la banda de rodadura de los neumáticos. La incorporación de sílice en lugar de negro de carbón también es motivo de preocupación para los recauchutados. La receta de un compuesto recauchutado usando relleno de sílice se da en la Tabla 4.4.

Ingredients	Quantity (phr)
NR	100
HD Silica	50
Coupling agent	5
Process oil	5
ZnO	4
Stearic acid	1
Trimethyl quinolone	1
DPG	1.2
Cyclohexyl benzthiazyl sulphenamide	1.5
Sulfur	1.5

La adición de sílice a los compuestos recauchutados proporciona una histéresis más alta a altas frecuencias, lo que proporciona un mejor agarre en mojado y una histéresis más baja a bajas frecuencias, dando una menor resistencia a la rodadura que el negro de carbón. Como resultado, la incorporación de sílice en compuestos recauchutados produce neumáticos que pueden proporcionar un buen agarre en mojado y una menor resistencia a la rodadura al mismo tiempo. De manera similar, en los compuestos de recauchutado rellenos de sílice, mejora la tracción sobre mojado con la superficie de la carretera y también proporciona un compuesto de baja resistencia a la rodadura que proporciona un menor consumo de combustible. La presencia de grupos polares en la superficie de la sílice imparte polaridad y, como resultado de esta polaridad, los compuestos de recauchutado rellenos de sílice

proporcionan una mejor adhesión con el compuesto de neumático viejo. La sílice en los compuestos recauchutados también ofrece mejores propiedades que el negro de carbón debido a un mayor efecto de refuerzo. En el caso de los "neumáticos ecológicos", como resultado de la adición de relleno de sílice, la resistencia a la rodadura se reduce hasta en un 20% en comparación con un neumático estándar equivalente, lo que reduce el consumo de combustible del vehículo hasta en un 5% y, por lo tanto, reducción de las emisiones de CO₂. En automóviles de pasajeros y camionetas, una disminución del 10% en la resistencia a la rodadura conduce a una mejora en el consumo de combustible de 0,5-1,5%, mientras que hay una reducción de 1,5-3% en camiones pesados. En 1992 Michelin introdujo su cubierta verde utilizando un sistema S-SBR-sílice-silano, que produce una reducción del 20-25% en la resistencia a la rodadura. Según sus cálculos, este neumático ha ahorrado más de 14.400 millones de litros de combustible, lo que ha provocado una reducción de 36 millones de toneladas de emisiones de CO₂. Desde 2005, Goodyear ha introducido formulaciones de la banda de rodadura rellenas de sílice además de agentes de acoplamiento de silano, dando una mejora del 30% en la resistencia a la rodadura y ahorrando 9,5 mil millones de litros de combustible.

El uso de sílice también mejora el rendimiento sobre piso húmedo. Los estudios han demostrado que la tracción del neumático verde reduce las distancias de frenado en superficies mojadas y helada en un 15%, mejorando el rendimiento general de conducción en invierno en un 10-15% al mismo tiempo. Después de incorporar el relleno de sílice en los neumáticos de invierno, una compañía de neumáticos ha afirmado una mejora del rendimiento sobre piso húmedo del 15%, mejorando también sustancialmente las distancias de frenado.

Los compuestos que contienen relleno de sílice, debido a su mayor elasticidad y flexibilidad a temperaturas más bajas, proporcionan un mejor agarre y frenado en superficies heladas y frías. Por lo tanto, los compuestos recauchutados para neumáticos de invierno también se fabrican con sílice, ya que la sílice mejora la resistencia al deslizamiento en húmedo, mejorando simultáneamente la resistencia a la rodadura.

Una evaluación del ciclo de vida realizada por la Asociación Europea de la Industria del Caucho también ha informado que los neumáticos ecológicos reducen el impacto sobre la salud humana y el medio ambiente.

Seguridad, tecnología ecológica, reciclaje y ahorro de costos en recauchutado de neumáticos

El recauchutado es uno de los métodos más fáciles de usar para mitigar la contaminación ambiental asociada con la eliminación de llantas usadas, que generalmente se realiza mediante el almacenamiento o el vertido. Los neumáticos recauchutados se usan habitualmente en autobuses escolares, camiones de bomberos, ambulancias y vehículos militares, y con frecuencia en automóviles de pasajeros, camiones pesados y equipos de construcción. Un análisis de costo-beneficio del recauchutado de neumáticos para vehículos comerciales ligeros ha sido llevado a cabo por la Asociación de Fabricantes de Retread en el Reino Unido, en el marco del Programa de Acción de Residuos y Recursos (WRAP).

Es posible ahorrar un 10% eligiendo un neumático recauchutado en lugar de uno nuevo. Si también se agregan los costos de combustible, desgaste, seguro, etc., los ahorros potenciales

pueden ser aún mayores. Esto se ejemplifica por el hecho de que el 98% de las aerolíneas comerciales y jets militares del mundo usan neumáticos recauchutados, y aproximadamente el 80% de los neumáticos de aviones en los EE. UU. son neumáticos recauchutados.

De acuerdo con la tendencia mundial, el recauchutado de neumáticos se ha vuelto aceptable, especialmente para camiones, autobuses, excavadoras y neumáticos de aviones. Sin embargo, la participación de los neumáticos para automóviles sigue siendo inferior a las expectativas. Esto se debe en parte al crecimiento del mercado de neumáticos de bajo costo, con el precio de un neumático nuevo ligeramente superior al de un recauchutado. También hay una preferencia por los neumáticos radiales en lugar de los neumáticos diagonales (para un atractivo estético mejorado) y el deseo de los turismos de nueva generación. La creciente preocupación por la seguridad también es otra razón que afecta las ventas de recauchutados. Sin embargo, el recauchutado para vehículos comerciales está preparado para un mayor crecimiento debido a la aparición de camiones de ejes múltiples, carreteras nacionales mejoradas y conectividad de la red vial, así como la implementación de leyes relacionadas con restricciones a la sobrecarga, control del tráfico, control de la contaminación y pronto. La industria del recauchutado obviamente contribuye a la conservación de los recursos naturales.

Millones de neumáticos al final de su vida simplemente se arrojan al sumidero. No se degradan fácilmente, pero continúan contaminando el medio ambiente. El caucho sintético, el negro de carbón, los productos químicos de goma, los aceites de proceso, etc., provienen de fuentes de petróleo. El recauchutado es un proceso ecológico. El Grupo de Trabajo de Llantas Usadas del Departamento de Comercio e Industria, Reino Unido, ha revisado diferentes rutas para el reciclaje de neumáticos, tales como recauchutado, reciclaje, reutilización, ingeniería de rellenos sanitarios y recuperación de energía. Sugieren que un neumático de automóvil promedio requiere 4.5 galones menos de aceite en el recauchutado que el requerido para la fabricación de un neumático nuevo. Para un neumático de servicio pesado, un vehículo comercial, los ahorros son aún mayores (por ejemplo, alrededor de 15 galones de aceite). Un nuevo neumático para pasajeros contiene caucho y aditivos equivalentes a casi 7-8 galones de aceite, mientras que el recauchutado de un neumático gastado requiere solo 2-3 galones, de hecho, conservando valiosos recursos de petróleo. Pimentel y colaboradores ¹ han informado sobre el costo beneficio y las ventajas ambientales asociadas con el uso de neumáticos recauchutados para camiones. Alrededor del 30% menos de energía se consume en el recauchutado; es decir, se requiere un promedio de 83 litros de aceite para producir un neumático para camión nuevo en comparación con los 56 litros necesarios para el recauchutado.

Como tanto la recolección de llantas usadas (un fenómeno dependiente del tiempo) como las operaciones de escaneo de seguimiento son actividades impulsadas manualmente (que son probabilísticas), todo el proceso se vuelve de naturaleza estocástica. Mondal y Mukherjee ² han aplicado una estrategia de gestión de la simulación para ayudar a los recauchutadores a hacer una elección juiciosa sobre si llevar a cabo ciertas operaciones de recauchutado o

¹ D. Pimentel, A. Pleasant, J. Barron, J. Gaudio, N. Pollock, E. Chae, Y. Kim, A. Lassiter, C. Schiavoni, A. Jackson, M. Lee and A. Eaton, *US Energy Conservation and Efficiency: Benefits and Costs, Environment, Development and Sustainability*, 2004, **6**, 279.

² S. Mondal and K. Mukherjee in *Simulation of Tyre Retreading Process: An Indian Case Study*, Inderscience Publishers, Onley, UK.
<http://www.inderscience.com/info/inarticle.php?artid=50161>

descartar sobre la base de las preocupaciones de costo-beneficio. Behnam y Alvelos³ han explorado el beneficio de usar algunas herramientas de calidad (por ejemplo, diagrama de Pareto, diagrama de espina de pez, diagrama de matriz, etc.) para enumerar las causas potenciales de separación de la banda de rodadura y de la capa durante el proceso de recauchutado. Han clasificado estas causas según su peso promedio de importancia e identificaron el paso crítico para proponer medidas efectivas para mejorar la calidad del recauchutado de los neumáticos.

El reciclaje de neumáticos de desecho también se ha vuelto significativo y sigue una tendencia de la industria de rápido crecimiento. Sin embargo, a diferencia del reciclaje de plásticos, el mercado de artículos de caucho reciclado es limitado, ya que los vulcanizados de caucho son termoestables y no pueden reprocesarse. El Centro de Investigación Tun Abdul Razak, a instancias de WRAP, ha desarrollado una técnica de polimerización de superficie que permite incorporar un alto porcentaje de migajas de caucho de neumáticos de desecho al compuesto de hule virgen. La tecnología comprende la evolución de un sistema de polímero especialmente formulado que puede depositarse en la superficie sobre partículas de caucho para crear un nuevo compuesto. El sistema permite que materiales previamente vulcanizados se reactiven en un nuevo masterbatch compuesto por polímeros de bajo peso molecular especialmente formulados, parte de caucho virgen sin curar y parte de pellets de caucho desechado. El proceso de polimerización de superficie se puede integrar fácilmente en los procesos de composición y equipos de procesamiento de caucho estándar. Los pellets utilizados para el proceso es un desecho de alto grado (aproximadamente 30 Mesh) de neumáticos para camiones, que ha sido separado de cualquier cordón de acero y fibra. El polímero se formula especialmente y se mezcla con la miga para dar un compuesto repolimerizado que se puede proporcionar en forma de tiras o en copos para mezclarlo con el compuesto de caucho virgen en el nivel requerido. Aunque estos estudios se centran en el uso de pellets repolimerizados a niveles de 40 y 50% para su inclusión en compuestos recauchutados, la tecnología también puede producir compuestos de caucho que contienen hasta un 85% de materia reciclada. Morris⁴ ha analizado el aspecto de la conservación de energía en los procesos de reciclaje versus incineración para el recauchutado y también ha comparado el ahorro de energía del recauchutado convencional y del proceso de polimerización de la superficie. El nivel de ahorro se encuentra entre 16,200 y 48,800 kJ / kg para recauchutar con un proceso convencional, y entre 67,000 y 229,000 kJ / kg con la técnica de polimerización (es decir, un ahorro mayor en hasta 148,000 kJ / kg con este último proceso)

Mecanismo de la falla de caucho

Se considera que cualquier componente o sistema ha fallado cuando ya no puede cumplir sus expectativas de rendimiento durante el servicio. Varios procesos están involucrados en la falla de las llantas, incluyendo fatiga e histéresis, desgaste por abrasión, rasgaduras, formación de ampollas y manchas.

Schallamach⁵ fue el primero en examinar los arañazos producidos por una aguja en la superficie de NR utilizada en diferentes composiciones de bandas de rodadura de neumáticos.

³ B. Behnam and H. Alvelos, *International Journal of Engineering Science and Technology*, 2011, **3**, 6, 5337.

⁴ J. Morris, *Journal of Hazardous Materials*, 1996, **47**, 277.

⁵ A. Schallamach, *Journal of Polymer Science*, 1952, 9, 5, 385.

El caso simple de falla por abrasión del vulcanizado de caucho se correlacionó cualitativamente con su dureza, fricción y resistencia al desgarro. En casos en que los neumáticos chocan repentinamente con aceleración, contacto con curvas pronunciadas o atraviesan reductores de velocidad, por ejemplo, la abrasión se ve muy afectada por la naturaleza de la superficie de contacto, la velocidad de movimiento y el calor generado. Greenwood y Tabor⁶ llevaron a cabo una investigación sobre la fricción de los neumáticos con esferas duras y conos (un método de prueba de laboratorio acelerado) sobre una superficie de caucho lubricado bajo una gran deformación. Descubrieron que, en el caso de las esferas, la fricción de deslizamiento es la misma que la fricción de rodadura. Aunque la adhesión interfacial es pequeña en el caso del caucho lubricado, la pérdida de fricción en tales casos se encontró dominada por una gran deformación del caucho, el módulo de Young y las pérdidas por histéresis. Con deslizadores cónicos, sin embargo, no se pudo realizar una comparación directa de las resistencias de deslizamiento, pero se observó la dependencia de la fricción en la deformación y el desgarro del caucho.

Bowden y Tabor⁷ han revisado el progreso en la comprensión de la fricción, la lubricación y el comportamiento de desgaste de las superficies de goma. Pal y colaboradores⁸ han revisado la correlación entre la abrasión y otras propiedades mecánicas del caucho en el contexto del desarrollo de nanocompuestos de caucho para aplicaciones de neumáticos.

Se ha mencionado que la pérdida de volumen (V) del caucho debido al desgaste está relacionada con la dureza y la resistencia a la tracción mediante la Ecuación 5.1:

$$V = C_0 + C_1 \times \text{Shore hardness} + C_2 \times \text{tensile strength} \quad (5.1)$$

C_0 , C_1 y C_2 son constantes, y para la abrasión medida en un abrasador comercial, V viene dada por la Ecuación 5.2:

$$V = k_1 \cdot (\mu P / \sigma_B) \cdot L \quad (5.2)$$

donde μ es el coeficiente de fricción entre el caucho y la superficie deslizante, P es la carga normal, L es la longitud de la superficie abrasiva y k_1 es una constante. El parámetro σ_B viene dado por la Ecuación 5.3:

$$\sigma_B = \sigma N \quad (5.3)$$

donde σ es la amplitud máxima del esfuerzo de tracción y N es el número de ciclos.

También se ha informado que cuando el caucho a granel experimenta un movimiento continuo en contacto con la rueda abrasiva de un abrasivo o en una superficie de carretera que simula una conducción continua, la fricción dinámica disminuye al aumentar la velocidad de movimiento.

El coeficiente de fricción y resistencia a la abrasión de NR, caucho de estireno-butadieno (SBR) y caucho polibutadieno (BR) también han sido reportados por los autores y se encontró que, son dependientes de tamaño de partícula, área superficial, la estructura de negro de carbón, resistencia a la tracción y al desgarro del caucho vulcanizado.

⁶ J.A. Greenwood and D. Tabor, *Proceedings of Physical Society*, 1958, **71**, 6, 989.

⁷ F.P. Bowden and D. Tabor, *British Journal of Applied Physics*, 1966, **17**, 12, 1521.

⁸ K. Pal, S.K. Pal, C.K. Das and J.K. Kim in *Recent Advances in Elastomeric Nanocomposites, Advanced Structured Materials*, Eds., V. Mittal, J.K. Kim and K. Pal, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Germany, 2011, **9**, 201.

En aplicaciones de ingeniería, el crecimiento de grietas y el fallo de un material compuesto dependen del crecimiento de microgrietas formadas inherentemente durante la fabricación del componente o generadas bajo ciclos de esfuerzos repetidos con el uso prolongado. Generalmente, la rasgadura es un criterio muy importante de falla. Una mayor resistencia al desgarro en los cauchos se manifiesta como una mayor dureza. Agarwal y colaboradores⁹ revisaron el trabajo de varios autores sobre las relaciones establecidas sobre las propiedades de desgarro de los compuestos de caucho. El comportamiento viscoelástico de los materiales elásticos se ha expresado mediante una energía característica que se relaciona con la energía elástica almacenada en el material en la zona altamente tensada y en la punta de una grieta creciente. La energía de la ruptura tiene la relación dada en la Ecuación 5.4:

$$T = d \cdot E_b \quad (5.4)$$

donde E_b es la energía de deformación por unidad de volumen requerida para romper la muestra, y d es el diámetro efectivo de la pequeña zona de iniciación de la rasgadura. La energía de rotura depende de varios factores, incluidos los métodos de prueba, la naturaleza del polímero base, la temperatura, la geometría de la muestra, etc.

⁹ K. Agarwal, D.K. Setua and G.N. Mathur, *Defence Science Journal*, 2002, **52**, 3, 337.

Análisis de desgaste en cuchillas para corte de caucho

Se analizará el desgaste en cuchillas de máquinas herramientas utilizadas en los procesos de reposición de la banda de rodamientos en neumáticos gastados, es decir tareas o actividades denominadas comúnmente como reencauche de neumáticos; específicamente el desgaste de elementos cortantes para la confección de ranuras generalmente transversales suplementarias a las hendiduras ya existentes en dichas bandas de rodamiento.

Optimizar el uso de la cuchilla, es decir disminuir la cantidad de recambios de la cuchilla lo cual conlleva un extenso tiempo muerto de la maquina dado que hay que hacer una calibración cada vez que se cambia la misma. Por otro lado, el interés por este tema proviene de la falta de material del mismo, es muy difícil encontrar información específica de desgaste en cuchillas para corte de caucho.

Descripción del arte previo

Antes de ingresar en la descripción de la presente herramienta, conviene hacer referencia a las necesidades, problemáticas y situación actual en relación con la preparación y recauchutado de neumáticos para comprender de mejor manera los objetivos, alcance y contenido de la presente.

En particular, dicha banda de rodamiento utilizada en tareas de rencauchutado es provista por sus fabricantes en forma de rollo o cinta continua y que ya incluye un dibujo de una huella en particular, dicho dibujo de huella generalmente se encuentra estandarizado para una variedad de aplicaciones, pudiendo ser un dibujo estándar muy genérico conocido como multipropósito o un dibujo de huella específico como por ejemplo para aplicación en superficies mojadas en días de lluvia.

Sea cual fuere el dibujo presente en la banda de rodamiento que se aplicará sobre el neumático a recauchutar, la misma dispone una cantidad de hendiduras preestablecidas, y en consecuencia el centro de rencauchutado quien realiza la tarea previamente dicha, dispone de una variedad limitada de bandas de rodamiento en cuanto a dibujo se refiere, o por el contrario debería proveerse de una variedad demasiado grande de tipos de banda, muchas de las cuales podrían incluso no utilizarse nunca; teniendo en cuenta que el tamaño de los rollos es aproximadamente 40 kg equivalente a construir 3 neumáticos, esto último no resulta practicable o rentable para los actuales centros de recauchutado.

La práctica ha demostrado una evidente conveniencia de dichas ranuras que conforman la huella del neumático, ya que las ranuras contribuyen a un aumento de agarre al piso. Esto es debido a que generan aristas de tracción, es decir bordes que ayudan al rozamiento con el terreno mejorando la tracción de la rueda. Por otro lado, la adición de ranuras extras, o pequeños cortes sobre dichas bandas de rodamiento, **ayuda a copiar la forma cilíndrica de la rueda y también disminuyendo las tensiones de compresión y tracción en el parche de contacto de la banda de rodamiento durante su uso.**

Vale decir, que el agregado de ranuras de dicha banda de rodamiento mejorará el desempeño en cuanto a la durabilidad del material ya que de esta manera el desgaste por esfuerzos cíclicos y consecuente calentamiento del material de la banda de rodamiento se ve disminuido.

Debido a que dichas bandas de rodamientos ya están provistas por los fabricantes con un número y disposición de hendiduras predeterminado que conformarán la huella de dicho

neumático, un incremento en el número de aristas o bordes de dichas ranuras solo es posible mediante el mecanizado posterior.

La posibilidad de obtener un ranurado generalmente transversal uniforme en su profundidad y conformación se realiza a través de un sistema de cuchilla que permita el agregado de las mismas e incluso con un patrón predeterminado y replicable uniformemente en adición al dibujo original de la huella de la banda de rodamiento de forma tal de permitir mejorar las propiedades de agarre del neumático al tiempo que se asegura un procedimiento económico y confiable.

Breve descripción del mecanismo de corte

El objeto de la presente cuchilla es proveer un ranurado auxiliar, en donde dicho ranurado es una serie de cortes practicados del lado de la banda, que ya presenta las hendiduras que conforman la huella original de dicha banda, y en donde dichas ranuras no superan la profundidad de la huella original, es decir a un 75% sobre el bajo banda.

Es además importante que sean realizada en un lapso corto de tiempo, de manera uniforme y repetible, a través de una cuchilla de corte que realiza dichas ranuras de una vez.

Breve descripción de los dibujos



Fig. 1.a.

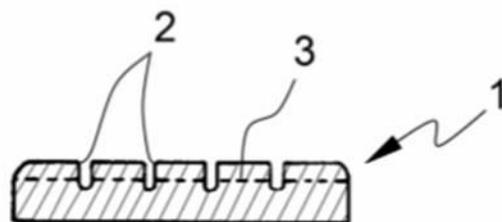


Fig. 1

Fig. 1.b.

La figura 1.b es una vista en corte de la sección transversal de una banda de rodamiento, ilustrando las hendiduras que conforman la huella y en línea de trazos la profundidad de las ranuras agregada a través del proceso de la presente.

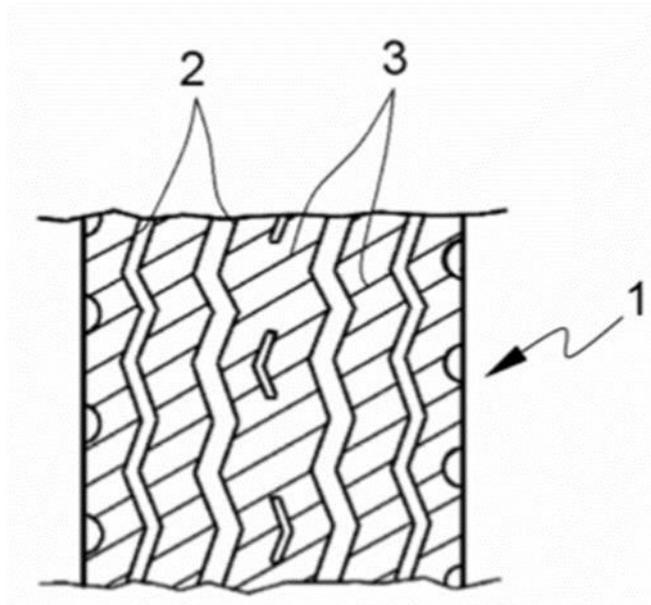


Fig. 2

La figura 2 es una vista parcial de la banda de rodamiento vista desde arriba, mostrando las hendiduras principales provistas en dicha banda, y la pluralidad de ranuras paralelas y equidistantes practicadas.

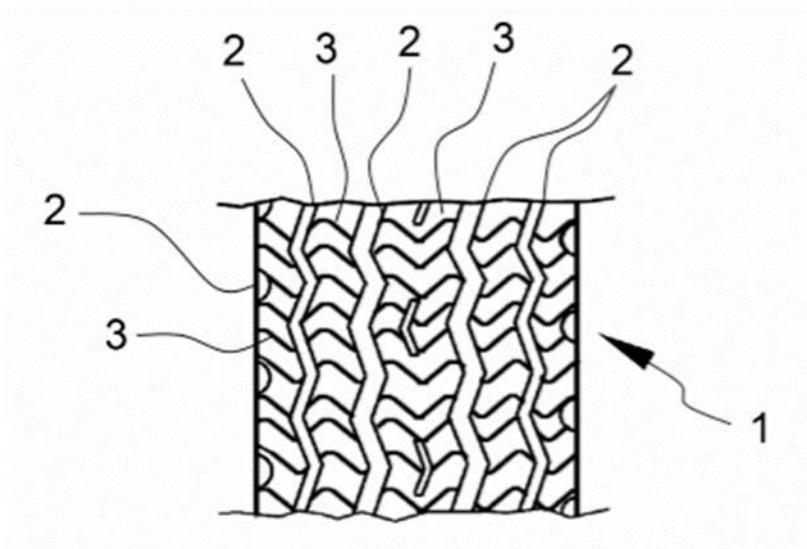
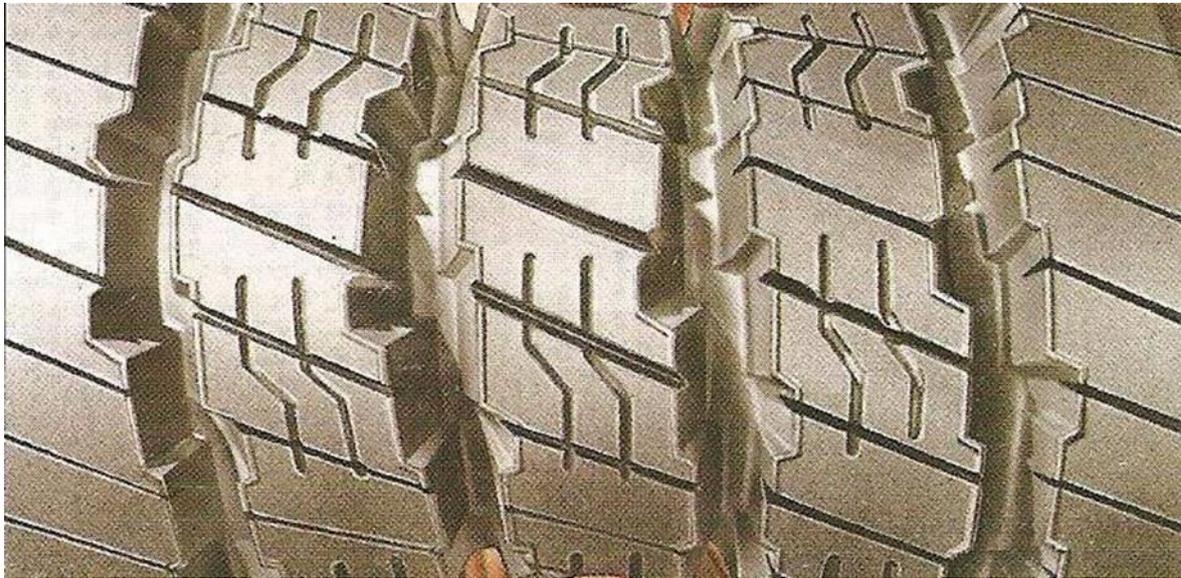
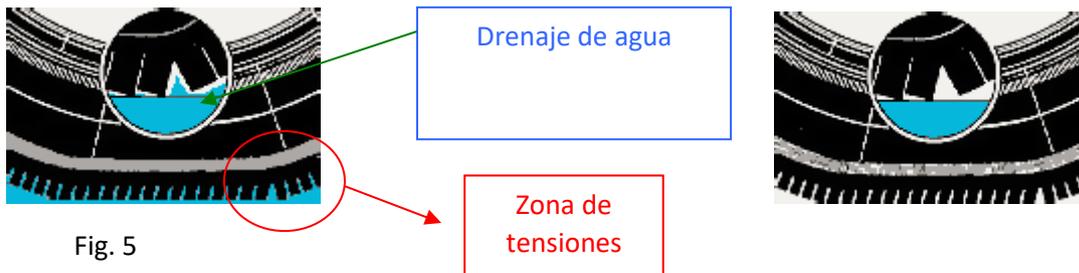


Fig. 4

La figura 4 es una vista parcial de la banda de rodamiento vista desde arriba, mostrando las hendiduras principales provistas en dicha banda, y la pluralidad de ranuras paralelas y equidistantes de acuerdo con la utilización de otra forma de cuchilla utilizada.

Los cortes permiten a la banda tener ranuras para el drenaje del agua y a su vez flexibilidad en los extremos del parche del contacto (fig. 5) y también le permite tener mayor flexibilidad en las zonas de mayor tensión



Enfoquemos a las bandas procesadas con ranurado como súper comprimidas. Se aplican cortes diminutos para dar un aumento imponente al rendimiento.

Estos cortes disminuyen la tensión de la banda, distorsión y calor para reducir el arrastramiento y asegurar la resistencia para alto kilometraje.

También, aumentan la fuerza de agarre, asegurando un contacto estrecho con la superficie de la carretera, suministran aristas adicionales para tracción y proveen más canaletas para el barrido del agua. Una banda procesada con ranurado, marcha firme en los caminos secos o mojados por la lluvia y aun en las carreteras muy nevadas.

Relación de Cargas en elastómeros

1. DUREZA

El método más común para clasificar los poliuretanos es de acuerdo con su dureza, que se mide en un durómetro. Los elastómeros ofrecen un rango de dureza muy amplia en la que los artículos se pueden producir, que van desde 10 hasta 15 Shore A a 90 Shore D.

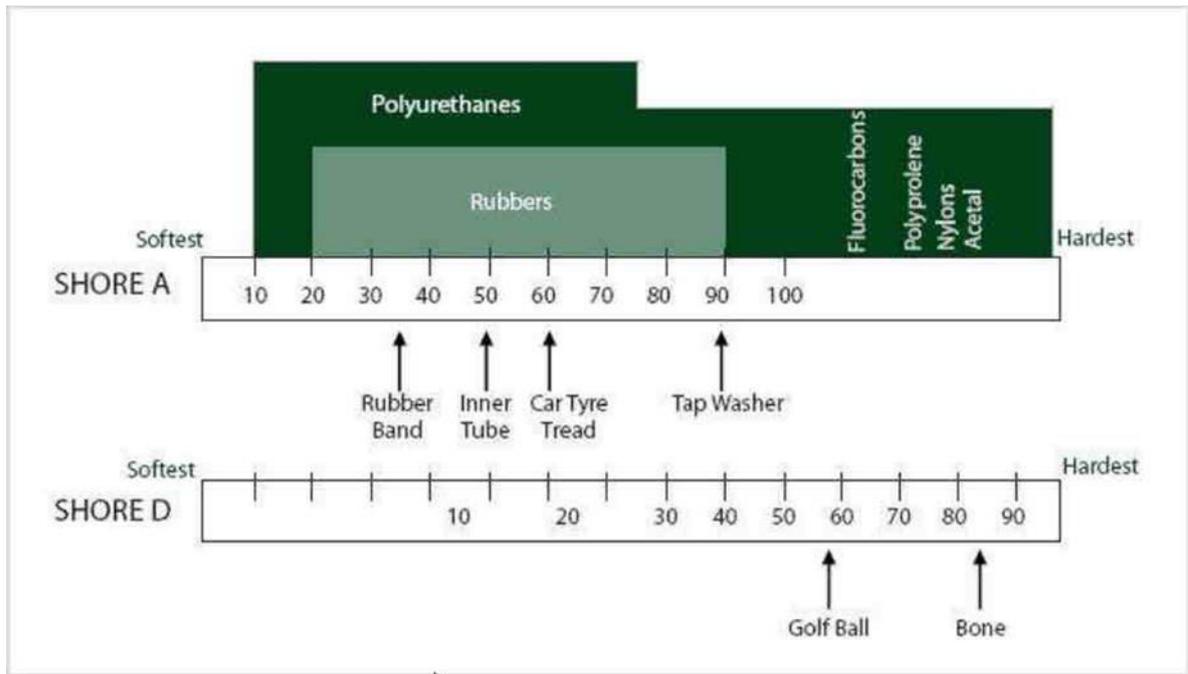


Fig. 7

2. RESISTENCIA A LA ABRASIÓN

En aplicaciones donde el desgaste es un problema grave, los elastómeros ofrecen una durabilidad excepcional en comparación con los plásticos de goma e incluso metales. Cabe destacar, sin embargo, que la resistencia a la abrasión es una propiedad compleja. La selección del elastómero más adecuado debe basarse en la experiencia real o pruebas simuladas de servicio.

3. PROPIEDADES DE COMPRESIÓN

Los elastómeros tienen una gran capacidad de carga. Esta capacidad es una ventaja muy importante en algunos diseños, por ejemplo, separador de aguas, mientras que en otros es el factor que los hace posibles. Además de elevadas propiedades de soporte de carga, tanto en tensión como en compresión, los elastómeros tienen una alta carga de cizallamiento capacidad de soporte.

4. PROPIEDADES MECÁNICAS

En los niveles más bajos de dureza prácticamente todos los materiales elastómeros, pueden doblarse bajo impacto. Los de mayor dureza tienden a perder elasticidad y pueden hacer agrietarse en caso de colisión. Por otro lado, los elastómeros incluso en sus niveles de dureza más altos tienen una resistencia significativamente mejor impacto que casi todos los plásticos.



Fig. 8

5. LAS PROPIEDADES DE TRACCIÓN

Los elastómeros se caracterizan por un alto alargamiento, resistencia a la tracción y alto módulo. Esto proporciona una combinación de dureza y durabilidad en las piezas fabricadas.

El ensayo de tracción se lleva a cabo normalmente en una máquina de ensayos de tracción. En esta prueba no sólo están interesados en la general curva tensión-deformación, sino también la forma de la curva y el alargamiento a la rotura, ya que estos proporcionan también, por ejemplo, información valiosa. Un alto alargamiento a la rotura, una meseta de goma largo seguido por un fuerte incremento de romper indica una alta tenacidad.

6. RESISTENCIA AL DESGARRO

Resistencia al desgarro, junto con un desgarro longitudinal de altura, es un fuerte indicio de resistencia.

En el uso real, especialmente en aplicaciones de abrasión de impacto, alta resistencia al desgarro es importante. Los elastómeros en este sentido tienen una clara ventaja sobre el caucho convencional.

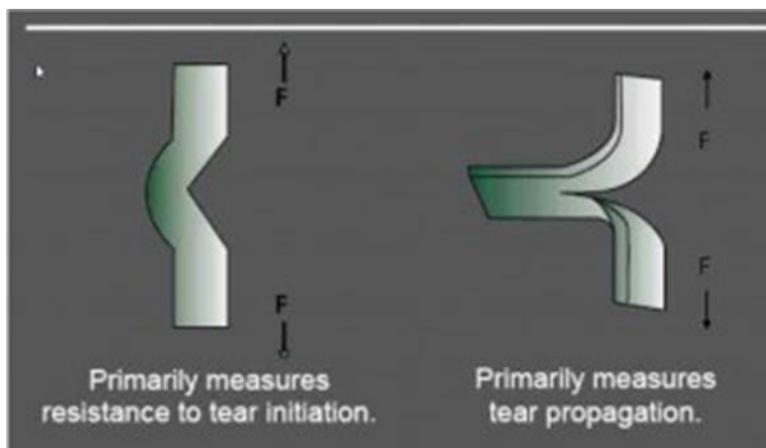


Fig. 9

7. RESILIENCIA

La resiliencia en los cauchos convencionales es generalmente una función de la dureza. Esta relación a menudo indeseable no se cumple con los elastómeros. Las formulaciones están disponibles en una gama muy amplia de resiliencia.

Para usos del tipo amortiguador se formulan compuestos de bajo rebote, generalmente los valores de rebote de 10-40%. Para vibraciones de alta frecuencia o donde se requiere la recuperación rápida, se utilizan compuestos en el valor de rebote 40-65%.

En general, la dureza mejora la resiliencia.

8. FLEX PROPIEDADES

Los elastómeros pueden resistir el agrietamiento bajo flexión repetida. Como con cualquier elastómero, la tasa de crecimiento de corte bajo flexión puede reducirse disminuyendo el grosor.

9. PROPIEDADES DE BAJA TEMPERATURA

Los elastómeros siguen siendo flexibles a muy bajas temperaturas y poseen una excelente resistencia al choque térmico. La resistencia en baja temperatura ha dado lugar a muchas aplicaciones en condiciones por debajo de 0°C.

10. RESISTENCIA AL CALOR SECO

Mientras que muchos elastómeros sólo son adecuados para el funcionamiento continuo hasta 90 ° C (194 ° F), es posible utilizar intermitente hasta 120 ° C (248 ° F) y con materiales especialmente formuladas, se puede lograr el funcionamiento continuo hasta 120 ° C o incluso mayor.

11. RESISTENCIA AL AGUA

Dependiendo del tipo, el poli éter, columna vertebral de los elastómeros, son muy resistentes a los efectos de la inmersión en agua y tienen una excelente estabilidad a largo plazo en el agua hasta 50 ° C (122 ° F). El uso continuo de agua caliente sobre 80° C (176 ° F) no es recomendable.

La absorción de agua es muy baja, en el intervalo de 0.3-1% en peso y aumento de volumen es despreciable. Esto significa, por ejemplo, que los elastómeros pueden operar a tolerancia estrecha en cojinetes lubricados por agua sin temor de convulsión.

12. PROPIEDADES ELÉCTRICAS

Algunos elastómeros tienen propiedades de aislamiento muy buenas y se utilizan en muchas aplicaciones para macetas y encapsulación.

13. ACEITE GRASA Y RESISTENCIA QUÍMICA

Mientras muchos cauchos y plásticos tienen una excelente resistencia a uno o más disolventes específicos, aceites o productos químicos, la gama de resistencia al ataque químico significa que se pueden utilizar en una multitud de entornos, con la excepción de los ácidos y disolventes fuertes álcalis y otros.

14. PROPIEDADES DE FRICCIÓN

Un alto coeficiente de fricción es bueno para los productos tales como neumáticos sólidos industriales, rodillos de alimentación, rodillos de accionamiento, etc.

Compuestos de alta dureza tiene el menor coeficiente de fricción. Tales formulaciones se usan ampliamente para casquillos, cojinetes y las tiras de desgaste.

El desgaste de los ejes y las superficies de contacto es mínimo, y por lo general considerablemente menor que con los materiales convencionales de plástico.

Cauchos: comportamiento mecánico

La Resistencia de los Cauchos se define como su capacidad para resistir esfuerzos y fuerzas aplicadas sin romperse, adquirir deformaciones permanentes o deteriorarse de algún modo. Se realizan unos ensayos para determinar estas capacidades de resistencia, pero estos ensayos representan un gasto adicional en equipo y en personal cualificado para su realización e interpretación, y hace falta cierto buen juicio para seleccionar los más idóneos, que cumplan el fin propuesto sin incidir desmesuradamente en los costes de producción.

Mostramos algunos de los principales métodos de ensayo más utilizados, más que tratar de describir los detalles de la realización, exponemos sus fundamentos, utilidad y limitaciones.

Tracción

Las características de Tracción son, junto con la dureza, las que con mayor frecuencia se incluyen en las especificaciones tanto de cauchos sintéticos como naturales.

Para medir la tracción de un elastómero, se utiliza un dinamómetro (Instron). Se toma la muestra (probeta de forma halterio o anular), se sujeta cada extremo y luego se procede a estirla a velocidad constante, hasta su rotura. La tensión requerida para romper la muestra representa la resistencia a la tracción del material. Mientras dura el estiramiento de la muestra, va midiendo la fuerza (F) que está ejerciendo. Cuando conocemos la fuerza que se está ejerciendo sobre la muestra, dividimos ese número por el área (A) de la muestra.

El resultado es la tensión que está experimentando la muestra. $F / A = \text{Stress}$

Puesto que la carga de rotura es la fuerza aplicada sobre la muestra dividida por el área de la misma, tanto la tensión como la carga de rotura se miden en unidades de fuerza por unidad de área, generalmente N/cm². La tensión y la resistencia también pueden ser medidas en mega pascuales (MPa). Resulta sencilla la conversión entre diferentes unidades, ya que 1 MPa = 100 N/cm².

Otras veces, la tensión y la resistencia se miden en las viejas unidades del sistema inglés, libras por pulgada cuadrada, o psi. Para convertir psi a N/cm², el factor de conversión es 1 N/cm² = 1.45 psi.

Normas

ASTM D412 · DIN 53504 · ISO 37 · ISO 1798 · JIS K6251

ASTM D412 · Ensayo de tracción sobre caucho vulcanizado y elastómeros termoplásticos.

La norma ASTM D412 especifica las condiciones de ensayo para determinar las propiedades de tracción de elastómeros moldeados y troquelados. Debido a la extensibilidad que los cauchos y elastómeros exhiben, se requieren generalmente extensómetros para medir con precisión la elongación o estiramiento durante la carga aplicada.

ISO 1798:1999 · Resistencia a la Tracción y Alargamiento a la Rotura de los materiales poliméricos flexibles celulares.

La ISO 1798 investiga la resistencia a la tracción y las propiedades de deformación de los materiales poliméricos flexibles celulares cuando se extienden a una velocidad constante de desplazamiento hasta el fallo. En principio, la muestra de ensayo está soportada entre dos mordazas de sujeción y se instala un extensómetro para una longitud de referencia dada. La muestra se estira hasta que rompe a una velocidad constante de desplazamiento. La carga y la deformación se registran durante la prueba, y se utilizan para determinar la resistencia a la tracción y alargamiento a la rotura.

Elongación, Alargamiento a la Rotura

Las propiedades mecánicas de un caucho no se remiten exclusivamente a conocer cuán resistente es.

La resistencia nos indica cuánta tensión se necesita para romper algo. Pero no nos dice nada de lo que ocurre con la muestra mientras estamos tratando de romperla. Ahí es donde corresponde estudiar el comportamiento de Elongación de la muestra polimérica.

La Elongación es un tipo de deformación. La deformación es simplemente el cambio en la forma que experimenta cualquier objeto bajo tensión. Cuando hablamos de tensión, la muestra se deforma por estiramiento, volviéndose más larga. Obviamente llamamos a esto elongación.

Por lo general, hablamos de porcentaje de elongación, que es el largo de la muestra después del estiramiento (L), dividido por el largo original (L₀), y multiplicado por 100. $(L / L_0) \times 100 = \% \text{ Elongación}$

Existen muchas cosas relacionadas con la elongación, que dependen del tipo de material que se está estudiando. Dos mediciones importantes son la elongación final y la elongación elástica.

La elongación final es crucial para todo tipo de material. Representa cuánto puede ser estirada una muestra antes de que se rompa. La elongación elástica es el porcentaje de elongación al que se puede llegar, sin una deformación permanente de la muestra. Es decir, cuánto puede estirársela, logrando que ésta vuelva a su longitud original luego de suspender la tensión. Esto es importante si el material es un elastómero. Los elastómeros tienen que ser capaces de

estirarse bastante y luego recuperar su longitud original. La mayoría de ellos pueden estirarse entre el 200% y el 700% y volver a su longitud original sin inconvenientes.

Desgarro

La resistencia al Desgarro pretende medir la resistencia de un artículo de goma a que se produzca o propague una laceración bajo los esfuerzos que ha de soportar en servicio o en el propio proceso de fabricación. En este método la fuerza se aplica perpendicularmente a la dirección de propagación del desgarro, y los resultados se expresan por el valor mediano de la tensión del desgarro, el cociente de la fuerza, medida en N, y del espesor de la probeta medido en mm.

La unidad SI correspondiente son N/mm o KN/m (1KN/m = 0,981 Kgf/cm).

ASTM D624 tipo C · UNE 53516

Las probetas del tipo C son sin arco, con ángulo de 90º en un lado y con extremos de lengüeta. La fuerza en esta probeta actúa principalmente en dirección paralela a las lengüetas en la dirección de separación de las mordazas. ASTM D624 tipo C mide la fuerza de rotura o de iniciación del desgarro en la concentración de esfuerzo ubicada en el vértice de 90º. Si la iniciación del desgarro no se produce en el vértice, los resultados son más indicativos de resistencia a la tensión que la resistencia al desgarro.

Abrasión

La Abrasión o desgaste es la pérdida de material producida por fricción contra otra superficie, mediante unos aparatos llamados abrasímetros.

DIN 53516 · UNE 53527

Una probeta cilíndrica de 16mm de diámetro se desplaza longitudinalmente sobre un cilindro dotado de un movimiento de rotación y cubierto con una tela de esmeril, de tal manera que la probeta efectúa un recorrido de 40m sin ocupar nunca la misma posición anterior. Durante el ensayo la probeta está sometida a una fuerza de 10 N en cauchos duros y 5 N en blandos.

Los resultados se expresan por la pérdida por abrasión, expresada en mm³, es decir, la pérdida en peso dividida por la densidad del material. Por lo que como más bajo sea el valor, mayor resistencia a la abrasión tiene el elastómero.

Compresión Set

Deformaciones remanentes, Fluencia y relajación de esfuerzos.

Son 3 tipos de características íntimamente relacionadas entre sí, ya que reflejan el efecto de un esfuerzo o de una deformación aplicados durante un tiempo prolongado.

Si se aplica un esfuerzo constante, además de la deformación instantánea resultante inicialmente, tiene lugar una deformación adicional más lenta (fluencia). Si por el contrario es el valor de la deformación impuesta el que se mantiene constante, el esfuerzo necesario para producir dicha deformación irá disminuyendo paulatinamente (relajación de esfuerzos). Al suprimir la fuerza deformante la pieza de goma experimentará una recuperación instantánea

pero incompleta, quedará una deformación residual (deformación remanente), que a veces se reduce algo en el tiempo, aunque sin llegar a desaparecer por completo; da la variabilidad de esta recuperación con el tiempo, se prefiere el calificativo de remanente en vez de permanente.

Entre los ensayos diseñados para la evaluación de estas características, el más difundido es el de deformación remanente por compresión (en la terminología inglesa “compression set”).

[ASTM D395 Met.B](#) · [UNE 53511](#) · [UNE 53578](#) · [ASTM D 1056-78](#) · [DIN 53517](#) · [UNE EN ISO 1856](#)
[UNE 53511](#)

Una probeta cilíndrica es comprimida entre dos placas metálicas hasta una deformación del 25% de su altura original, y en estas condiciones es mantenida durante un tiempo y temperatura, generalmente 22 horas a 70°C. Transcurrido el período de ensayo, se suprime la fuerza deformante y se deja recuperar la probeta y se espera diferentes tiempos en función a las temperaturas del ensayo. La deformación remanente al final del tiempo de recuperación se expresa en % de la deformación impuesta.

La UNE 53578 el resultado se expresa en tanto por ciento de las dimensiones originales.

Resiliencia e Histéresis

En el caucho vulcanizado se define la Resiliencia como la relación entre la energía restituida después de una deformación y la energía total suministrada para producir dicha deformación. Una forma en principio sencilla de determinarla es a través del rebote de un péndulo tras su impacto en la goma, en cuyo caso se denomina resiliencia por rebote. La resiliencia depende de la velocidad de deformación.

La Histéresis es la energía perdida durante un ciclo dado de deformación y recuperación. El calor generado por una sucesión de ciclos de deformación y recuperación, debido a la conversión de energía de histéresis en calor, es usualmente medido por el aumento de la temperatura de la probeta de ensayo.

Resiliencia = $\frac{ET}{EA} \times 100$: EA (Energía Inicial Aplicada)

Histéresis = $100 - \text{Resiliencia}$

Un ejemplo de caucho con muy alta resiliencia es la goma virgen, el Caucho Natural NR ►

Y por el contrario el caucho con más baja resiliencia es el caucho butílico Butyl IIR ►, que le proporciona una elevada capacidad de amortiguación de impactos o vibraciones no sostenidas.

Propiedades a tener en cuenta para la conservación del filo

Las cuchillas industriales se utilizan generalmente para cortar o triturar una variedad increíble de materiales. Desde alimentos y plásticos hasta los aceros más duros y materiales no ferrosos, las cuchillas y hojillas industriales son utilizadas para reducir el tamaño y procesar todo tipo de materiales. Debido a la amplia variedad de aplicaciones que llevan a diversos deterioros en el filo de corte, una variedad de materiales para cuchillas debe ser utilizada para lograr el

resultado necesario en el corte, además que también se proporciona una vida óptima para el borde o cuchilla.

Las características que tratamos de lograr para el filo cortante son una combinación de capacidad de retención del borde o "resistencia al desgaste", combinado con la tenacidad. La cuchilla perfecta sería aquella que mantenga su filo indefinidamente combinada con una que podría soportar varias presiones y no romperse. No hay medidas universalmente aceptadas para cualquiera de estas características, aunque este sector industrial ha desarrollado un par de medidas cuantificables que nos dan una guía para evaluar la funcionalidad de las cuchillas industriales.

Dureza

Hay una variedad de medidas científicas sobre la dureza de los materiales, aunque para propósitos de las cuchillas industriales, la medida más ampliamente aceptada es la escala Rockwell C. Aunque no es una medida perfecta sobre resistencia al desgaste, la tasa de desgaste de una cuchilla industrial se correlaciona bien con esta medida. En esencia, mientras más dura sea la escala Rockwell para una cuchilla, más vida útil o resistencia al desgaste la cuchilla debería tener. Cabe señalar que, si las otras fuentes de desgaste están implicadas además de la fricción, esta medida puede no funcionar como buena orientación. Un ejemplo de esta situación podría ser un ambiente químico donde la erosión química puede ser la causa primaria del desgaste de la cuchilla.

Tenacidad

Una vez más, no hay medidas claras y definitivas de tenacidad para las cuchillas industriales. Una de las mejores medidas para guiarse está relacionada con la Resistencia a la Rotura Transversal (Transverse Rupture Strength en inglés). Esta medida sólo da parte de la historia, pero cuanto mayor sea la lectura del TRS, más dura posiblemente sea la cuchilla. Hay otras medidas que también dan orientación, tales como el módulo de elasticidad de Young, aunque para las aplicaciones o usos generales, la lectura TRS le da a usted la mejor y más fácil guía.

Desafortunadamente, la dureza y la fortaleza a la ruptura transversal son por lo general inversamente proporcionales. Mientras un material sea fabricado más duro, tienden a ser más frágil y generalmente tiene un menor TRS.

Para combatir este problema, diferentes materiales que producen diferentes características de desgaste y tenacidad pueden ser utilizados para obtener diferentes criterios de rendimiento. Cambiar los materiales también puede combatir otros inconvenientes de desgaste tales como la erosión química al utilizar materiales resistentes tales como el acero inoxidable. Tenga en cuenta que, si bien puede parecer lógico utilizar el material con la mejor combinación de características de tenacidad y desgaste para cada uso, los materiales que se ajustan a esa descripción tienden a ser más caros, y por lo tanto el costo se convierte en un factor y el objetivo es ofrecer la solución más económica para una aplicación dada.

Otros factores para considerar incluyen la preparación del filo, los recubrimientos, la aplicación de placas y otros procesos de mejora de materiales.

La cizalladura plana de la goma determina cuánta tensión el material puede tomar a lo largo de un eje plano antes de desgarro o no mantener su integridad estructural de otra manera. En la

mayoría de los ensayos de corte, la muestra de ensayo se sujeta en cada extremo por una máquina de ensayo, que tira de las empuñaduras más separados a lo largo de la línea plana hasta que el material cede y se mide el punto de cizallamiento. Ciertos tipos de agarres están bien adaptados a este tipo de prueba, y desempeñan un papel crucial en la prueba, ya que se requiere un par, bodega resistente.

Importancia en el examen

Los puños son una parte importante del proceso de pruebas, ya que deben sostener la muestra de caucho de forma segura, ya que el esfuerzo cortante puede tener lugar en uno o ambos extremos, cerca de las mordazas. Las mordazas no sólo deben ser rígidos, tienen que ser más largo que el borde de la pieza de ensayo. Si no al solapar el material puede comprometer la integridad de la prueba.

Máquinas de ensayos universales

Muchos ensayos de corte de caucho están diseñados para determinar si la resistencia cumple con los estándares de la industria. A menudo, el dispositivo utilizado para llevar a cabo las pruebas se conoce como una máquina de ensayo universal o máquina de tracción. Cualquier mordaza utilizada deben ser compatibles con la máquina tanto en términos de instalación y ajuste nivel aplicable de tensión.

Tipos de Grips

El caucho es más fácil de sostener en una mordaza son los de compuestos más duros. Como resultado, una gran variedad de empuñaduras se puede utilizar, desde simples pinzas de presión manuales para lo que se conoce como los diseños de rodillos excéntricos. Pinzas de sujeción manuales y neumáticas son más comunes, y deben tener caras recubiertas de goma o de inserción dentadas para una sujeción adecuada de la muestra.

Otros requerimientos

Además del tamaño adecuado y en forma, con relación a la muestra de caucho y la máquina universal, las mordazas utilizadas en las pruebas de cizallamiento deben ser tan fácil de usar como sea posible, capaz de mantener una fuerza consistente y cumplir todas las normas de seguridad apropiadas. Al igual que con las propias muestras, equipos de ensayo debe ser capaz de soportar los elementos inusuales, tales como altas temperaturas, necesarios durante el proceso de prueba.

Mecanismos tribológicos presentes durante el cizallamiento del caucho:

Análisis cinemático y tribológico del corte

En una primera instancia la cuchilla baja y entra en contacto con el caucho y lo que primero debe suceder es que la cuchilla venza la resistencia a la cizalladura planar del material, esto es uno de los principales motivos por el cual resulta muy perjudicial la pérdida de filo ya que si no se vence esta resistencia la cuchilla solo genera aplastamiento y no produciría el corte deseado. Una vez superada esta resistencia la cuchilla comienza a penetrar en el material

generando dos nuevas superficies y dando comienzo a mecanismos de desgaste tales como fricción, abrasión y adhesión.

Las fuerzas de Van der Waals, a pesar de no producir deterioro por adhesión, son las responsables de la resistencia al deslizamiento por fricción de los elastómeros.

Por las propiedades del material cortado podemos afirmar que se trata de un fenómeno de fricción visco elástica, es decir la interacción entre acero y caucho hace que no se produzca un verdadero deslizamiento, sino que se forma una arruga en el borde de entrada al área de contacto, la cual se mueve como una onda hasta el borde de salida, en forma semejante al movimiento de un gusano, cabe destacar que esta onda se mueve una velocidad mayor a la del deslizamiento del cuerpo. Ondas de Schallamach. (referencia Dommarco, R. "Fricción")

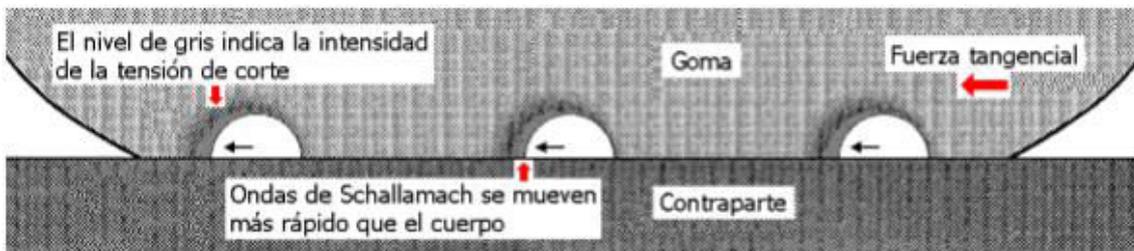


Fig. 10

En el caso estudiado los elementos que componen tribosistema se clasifican como: 1er cuerpo cuyo desgaste es el que interesa prioritariamente es el de la cuchilla; el 2do cuerpo que actúa de contracara cuyo desgaste en este caso no es de interés prioritario y que se encuentra en movimiento relativo al primer cuerpo y en contacto directo e indirecto es el caucho y el 3er cuerpo es un elemento interfacial que no siempre está presente que se puede considerar el exceso de azufre en el caucho, ceras y/o agregados a la formulación del caucho que migren a la superficie, entre otros, y/o materiales del primer o segundo cuerpo producidos por el desgaste por ejemplo caucho o hierro. Si es el caso de dos cuerpos la abrasión va a ocurrir sobre el caucho principalmente ya que se trata del material más blanco. En el caso de tres cuerpos cuando la partícula sea de alta dureza esta quedara atrapada en el segundo cuerpo y abradirá al primero; caso similar a lo visto en el ensayo de rueda de goma.



Fig. 11

De las teorías de adhesión podemos mencionar que se pueden presentar los mecanismos de engrane mecánico es decir se atribuye el engrane a las irregularidades superficiales y la teoría de adsorción justifica la adhesión en el contacto intermolecular por acción de las fuerzas originadas en los enlaces secundarios tales como los Van der Waals.



Fig. 13

El desgaste producido por corrosión también resulta de mucho interés mencionarlo ya que por la cercanía al mar la cuchilla se encuentra expuesta a una atmosfera que favorece mucho a la formación de óxidos. Observando las cuchillas al cabo de varios meses en servicio se puede ver fácilmente la corrosión general superficial, generada en los sectores que no participan directamente del corte por lo que podemos deducir que durante el proceso puede producirse

DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

remoción de la capa de óxido y regeneración de la misma, que se daría entre puesta en marcha y puesta en marcha de la máquina y no entre corte y corte ya que la temperatura de trabajo es temperatura ambiente.

En cuanto a la posibilidad de lubricar resulta poco viable ya que además de incrementar el costo del proceso de corte, contaminaría la banda para el posterior proceso de vulcanizado haciendo inadmisibles el agregado de fluidos de corte para conservar el filo de la cuchilla.

Necesidades y problemáticas.

Para un taller reconstructor de neumáticos, poder ofrecer un reencauche con bandas que posean “micro-ranuras” o “micro – cortes”, (aclaro en comillas micro, debido que a es un término comercial y no técnico, estos cortes son del orden del centímetro), implica poseer de un mismo dibujo de banda, mayor cantidad de stock.

Esto implica que corresponde tener alrededor de un 35% y 50% más de stock en bandas, lo cual implica capital en materias primas invertido y espacio para dicho almacenamiento. Por otro lado, tiene un recargo de un 5% las bandas ranuradas, desde el proveedor de materia prima.

La situación actual en la cadena de la reconstrucción de neumáticos, para una planta tipo, del proceso mencionado, consta de poder producir en el día 44 bandas.

Por otro lado, el mercado exige que los neumáticos posean:

- Mayor duración en kilometraje a un menor costo.
- Mayor recapabilidad sobre el neumático usado.
- Mayores prestaciones sobre el neumático, es decir, mayor evacuación de agua (para evitar el “hidroplanning”), menor distancia de frenado, menor patinaje, etc.
- Menor temperatura de trabajo.
- Mayor seguridad

Alcance del producto

La máquina de ranurado de bandas permitirá hacerle los cortes oblicuos a cualquier tipo de banda de rodadura utilizadas en neumáticos para vehículos. Las bandas mencionadas están comprendidas hasta un ancho máximo de 420mm, y una altura de del total de la banda de 40mm. Largo máximo de la banda es de 3420mm. En una jornada laboral de 8 hs. diarias, un total de 44 bandas.

Equivale a un máximo de 18,81 m/h de banda.

Las plantas de reconstrucción por su naturaleza de trabajo disponen de energía eléctrica y neumática. Se va a limitar a este tipo de fuentes de energía.

El tipo de operación va a ser semi automática, es decir un operario se va a encargar de alimentar la maquina con los rollos de banda y acomodarlos luego de que fuesen ranurados. El proceso de corte es automático.

Beneficios una vez tratada la banda

El propósito del diseño de esta máquina es para mejorar en ciertos aspectos la performance de las bandas de rodamiento y así mismo tratar de igualar o mejorar en los casos que sea posible el desempeño de un neumático reencauchado a un nuevo.

Por ende, una vez procesadas las bandas los beneficios son: aumento de la fuerza de agarre, asegurando un contacto continuo con la superficie de la carretera, suministran aristas adicionales para tracción y proveen más canaletas para el barrido del agua. Una banda

DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

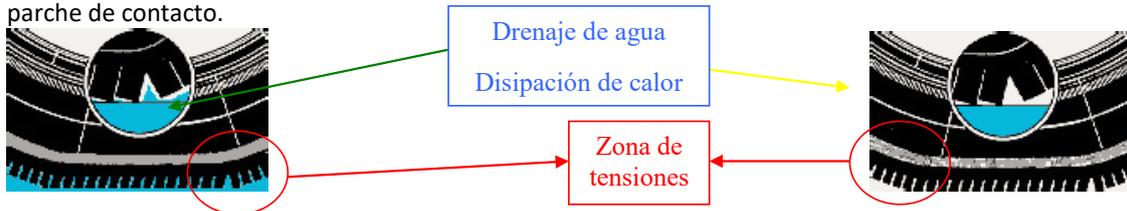
procesada rueda firme en los caminos secos o mojados por la lluvia y aun en las carreteras muy nevadas.

Aquí están las cifras según la US NSC, un promedio de:

- 15% más rendimiento kilométrico.
- 22% reducción de distancia de frenado.
- 65% mejor tracción en carreteras.
- 28% mejor tracción dinámico en nieve media-endurecida.

Se puede combinar las bandas con y sin los cortes en muchas circunstancias, sin embargo, para obtener el kilometraje máximo y beneficios de tracción que ofrecen las bandas procesadas, todas las bandas deben ser tratadas.

Permite a la banda tener ranuras para el drenaje del agua y a su vez flexibilidad en los extremos del parche de contacto.



Le permite tener mayor flexibilidad en las zonas de mayor tensión.

Desarrollo

Se realizan los diseños, cálculos y verificación de los elementos que componen la máquina para el ranurado de bandas. El grado de profundidad de desarrollo está estipulado en el plan de proyecto, como así la naturaleza de funcionamiento. Se justificarán los criterios y se detallarán los métodos utilizados. El alcance está limitado a los elementos de mayor importancia y complejidad que ésta posee.

Diagramas aclaratorios

Previamente se representarán diagramas de las partes que conforman a la maquina y una banda de rodadura, esto ayudara a la comprensión a la hora de ir analizando cada elemento que desarrollaremos, todo a título de ejemplo, en donde:

La figura 1 es una vista en corte de la sección transversal de una banda de rodamiento, ilustrando las hendiduras que conforman la huella y en línea de trazos la profundidad de las ranuras agregada a través del proceso;



Fig. 1

La figura 2 es una vista parcial de la banda de rodamiento vista desde arriba, mostrando las hendiduras principales provistas en dicha banda, y la pluralidad de ranuras paralelas y equidistantes practicadas con la máquina;

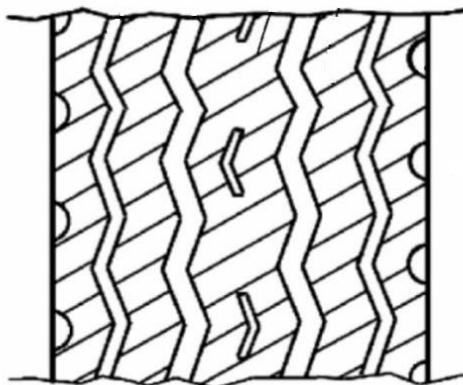


Fig. 2

La figura 3 es una vista en planta de la máquina, en donde se aprecia el ángulo de inclinación dado al mecanismo generador de ranuras;

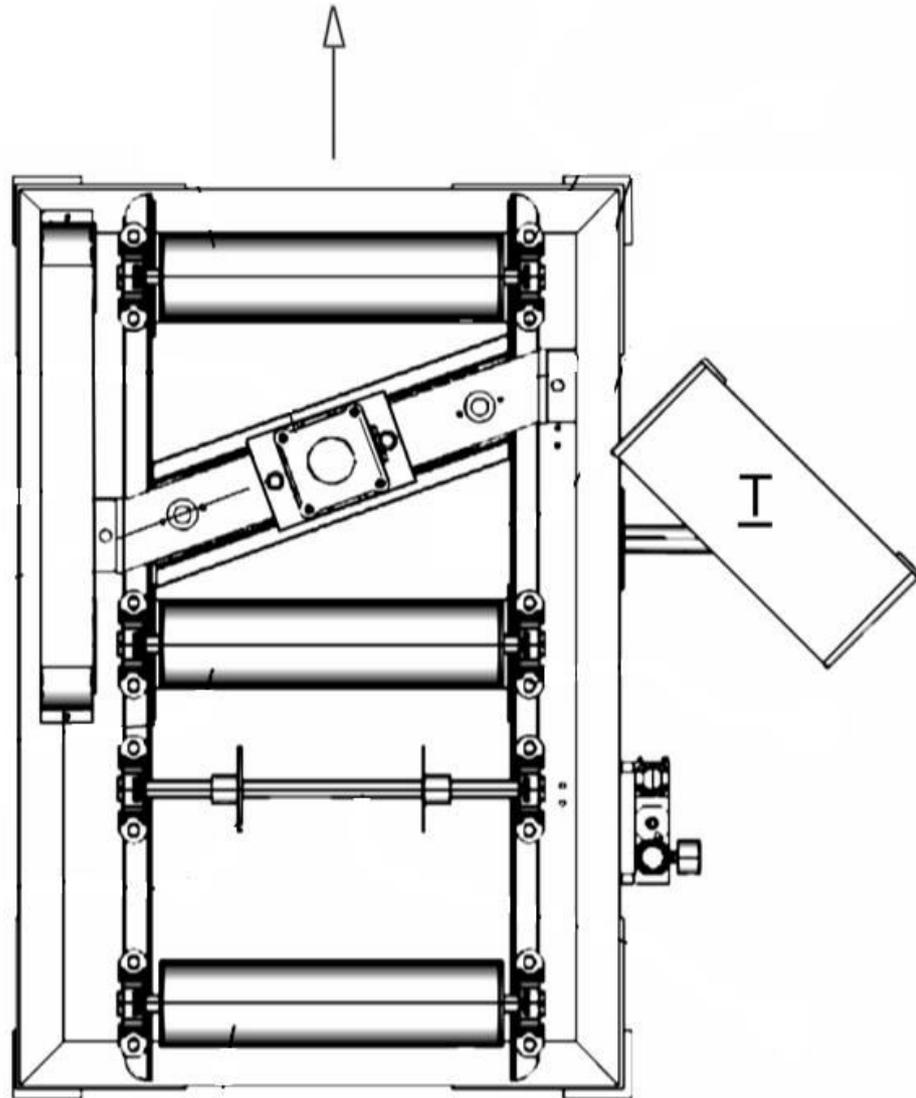


Fig. 3

La figura 4 es una vista en perspectiva de la máquina, en donde se ilustra la posición y el sentido de avance de la banda de rodamiento y demás componentes de la máquina;

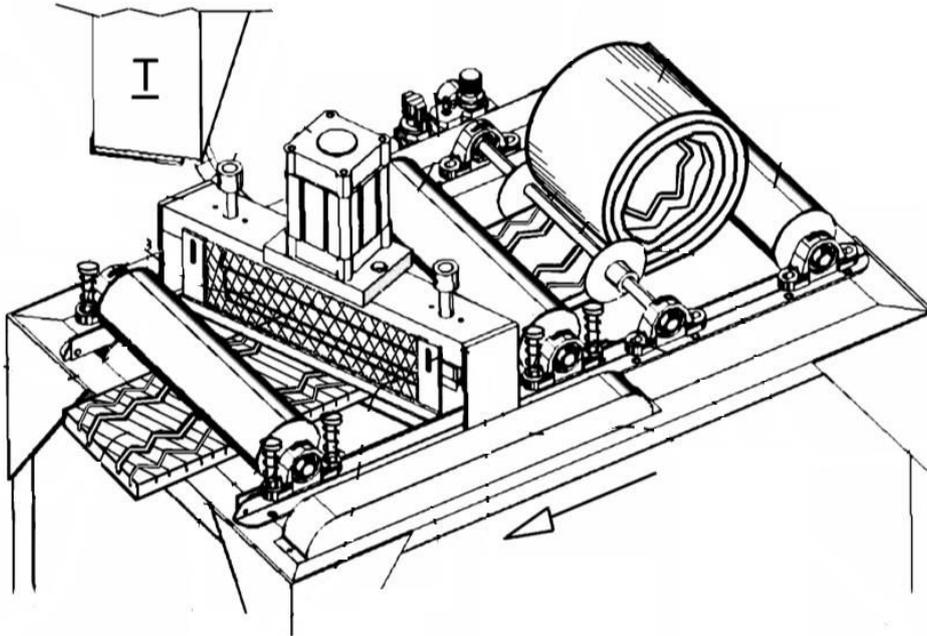


Fig. 4

La figura 5 es una vista en detalle de la cuchilla y el montaje dentro del marco soporte, habiendo retirado la pantalla de protección más cercana al punto de observación de acuerdo con la realización preferida;

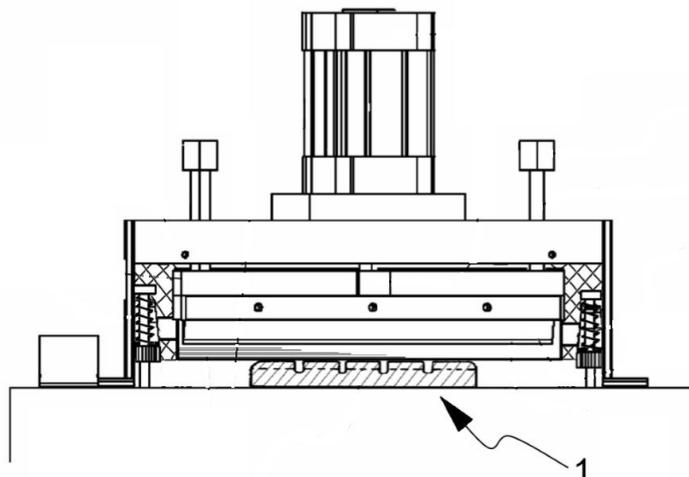


Fig. 5

La figura 6 es una vista parcial de la banda de rodamiento vista desde arriba, mostrando las hendiduras principales provistas en dicha banda, y la pluralidad de ranuras paralelas y equidistantes de acuerdo con la utilización de otra forma de cuchilla;

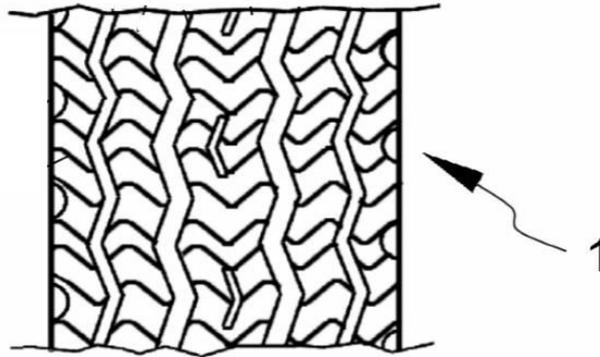
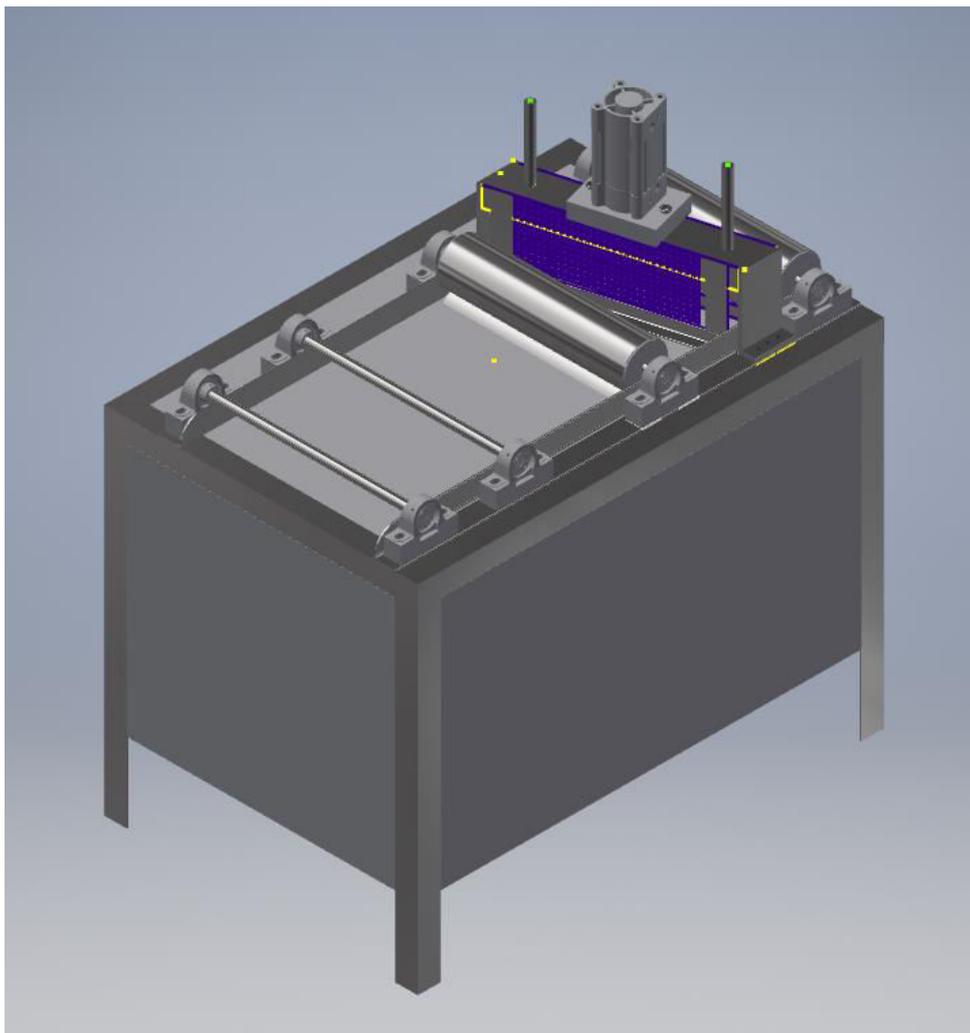


Fig. 6



Memoria de funcionamiento

Comenzando ahora con la descripción detallada y en referencia a las figuras anexas, se observa en las figuras 1 y 2 un detalle de la banda de rodamiento 1, pudiéndose identificar las hendiduras 2 provistas originalmente en dichas bandas 1 que por lo general presentan figuras más o menos intrincadas conformando la huella del neumático.

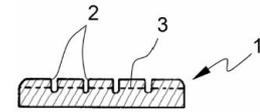


Fig. 1

Asimismo, en dichas figuras se ilustran una serie de ranuras 3 que se desarrollan a todo lo ancho de la banda de rodamiento 1. En particular y de modo preferido, dichas ranuras se distribuyen equidistantemente unas de otras y con una inclinación predeterminada.

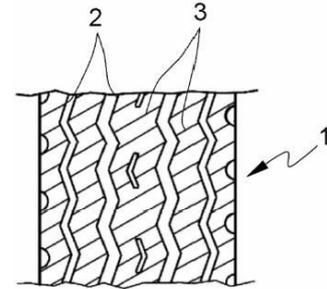


Fig. 2

Según se ilustra en la figura 2, dichas ranuras 3 comprenden cortes o improntas practicadas en la superficie expuesta 1, es decir en la superficie donde ya se encuentran las hendiduras que conforman la huella original de dicha banda de rodamiento 1.

Como se ilustra en la figura 1, dichos cortes resultan en ranuras 3 que no superan la profundidad de las hendiduras que conforman la huella, es decir, la profundidad de huella. A título informativo, por lo general la banda de rodamiento 1 presenta una porción maciza denominada bajo relieve, es decir una porción de la banda que se extiende a todo lo largo de la misma que no es alcanzada por ninguna hendidura 2 ni ranuras 3, y por lo general se corresponde con un espesor de $\frac{3}{4}$ de la profundidad de las hendiduras 2 que conforma la huella.

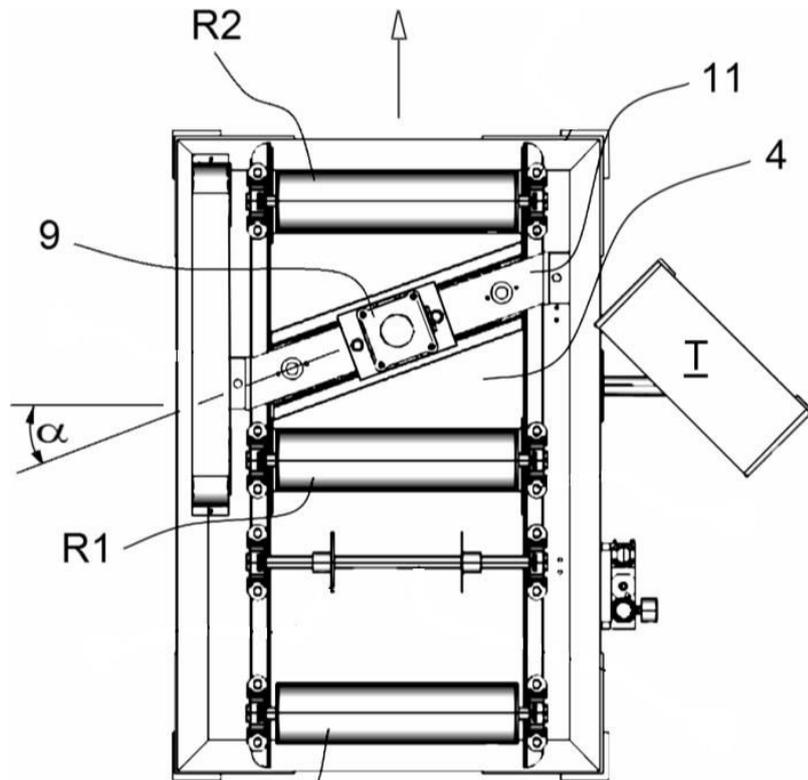


Fig. 3

Siendo el objeto principal de la máquina obtener dichas ranuras 3 de manera replicable y

uniforme, y habiendo ilustrado mediante un ejemplo el resultado obtenido luego de realizar la operación de ranurado sobre la banda de rodamiento 1, a continuación, se describirán los componentes y modo de funcionamiento de dicha máquina de acuerdo con una realización preferida y en relación con las figuras anexas.

En referencia a la figura 3, se observa una vista superior de la máquina, en donde se distingue una superficie principal de apoyo o superficie de deslizamiento 4, conformada por una placa plana y lisa con bajo coeficiente de fricción con el objeto de que la banda de rodamiento pueda deslizarse sin inconvenientes estando apoyada sobre la misma, por el lado del revés, es decir el lado donde no presenta hendiduras de ningún tipo.

Asimismo, en dicha figura 3a se distinguen tres rodillos giratorios, a saber, un primer rodillo motor R1, un segundo rodillo conducido R2 y un rodillo de soporte de banda R3, los tres montados perpendicularmente a la dirección de avance de la banda de rodamiento indicada con la flecha. En particular dicho rodillo R1, que podrá ser construido de acero, plástico y lo similar, de superficie cilíndrica y superficie lisa o dotado de alguna textura superficial y permita un buen coeficiente de rozamiento para asegurar el avance de dicha banda de rodamiento. Dicho rodillo R1 actúa como medio de avance intermitente de la banda de rodamiento 1 ya que gira para provocar el avance de dicha banda de rodamiento 1 al tiempo que dicho rodillo es presionando contra la banda de rodamiento 1 y en sentido de la superficie de deslizamiento 4

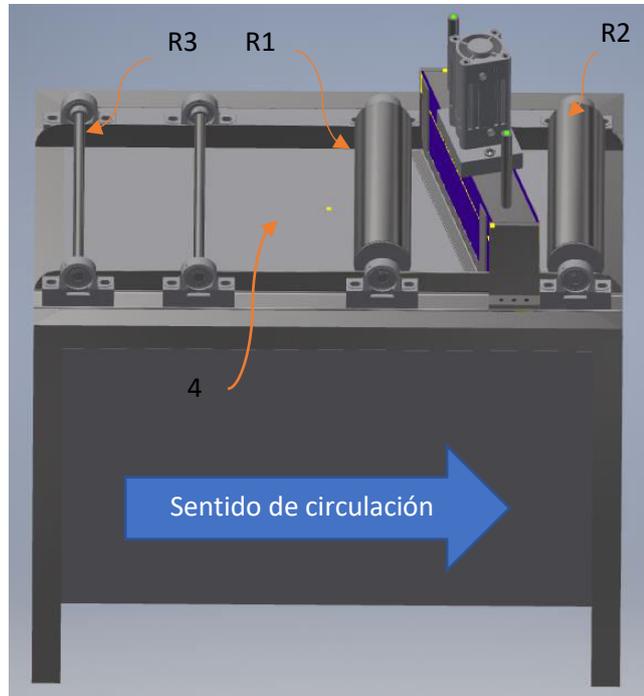


Figura 3a

Un segundo rodillo R2, posicionado hacia el otro lado del mecanismo de generación de la ranura, es decir en la dirección más avanzada respecto al sentido de avance de la banda de rodamiento 1, resulta en un rodillo

“conducido”. Es válido aclarar que es a través de un mecanismo de sincronismo 6 tal como una correa dentada unida a sendas poleas en los extremos de ambos rodillos R1 y R2. (ver figura a la derecha)

Cabe destacar que durante el proceso de formación de cada ranura el avance de la banda 1 se detiene momentáneamente, es decir que la banda de rodamiento 1 avanza una distancia predeterminada que determina la distancia entre ranuras para

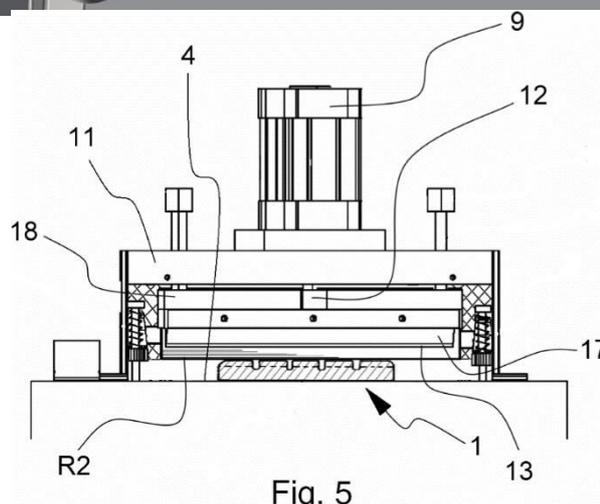
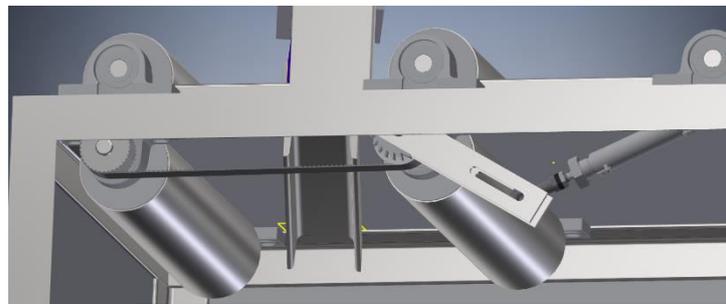


Fig. 5

luego detenerse el tiempo necesario para permitir que actúe la cuchilla 17 (ilustrada en las figuras 4 y 5). La descripción de la cuchilla 17 y forma de actuar de la misma en relación con la máquina se describirá más adelante.

Continuando con la descripción del modo en que la banda de rodamiento se posiciona y asegura, cabe destacar que ambos rodillos R1 y R2, aseguran que la banda de rodamiento avance la distancia necesaria y se deslice contra la superficie 4, asimismo un tercer rodillo R3, posicionado en el extremo por donde ingresa la banda de rodamiento, permite que la banda de rodamiento 1, se ilustra en la figura 4 con el objeto de que permanezca confinada dentro de dicha máquina.

Asimismo, con el objeto de orientar y guiar la banda de rodamiento 1 lateralmente, se proveen dos discos 7 deslizantes y registrables sobre un eje 8, los cuales incluso pueden girar libremente y permita contener lateralmente la tendencia de la banda 1 a ladearse.

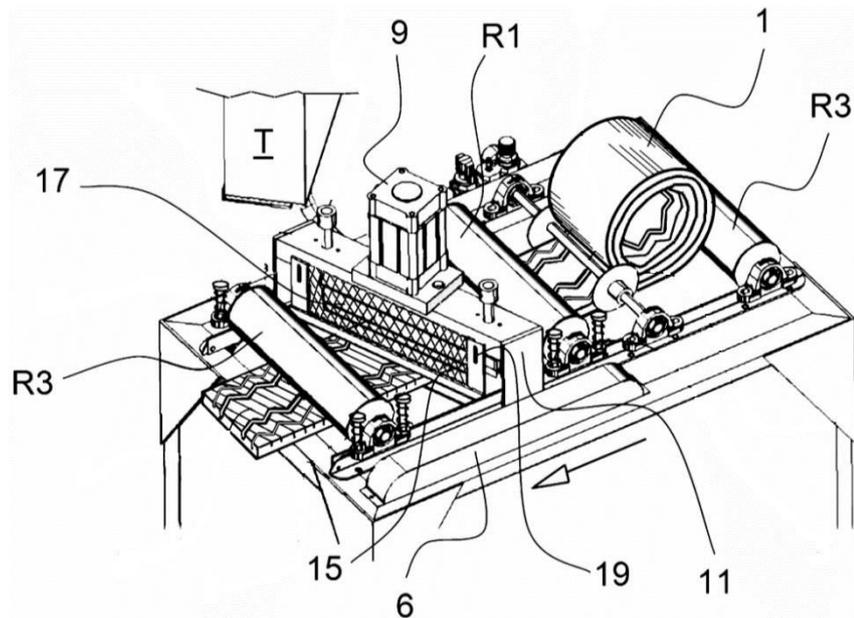


Fig. 4

En referencia nuevamente al modo de avance que principalmente el rodillo R1 produce, ayudado por el rodillo conducido R2, en una forma de realización la intermitencia en el avance de los mismos se realiza a través de un cilindro neumático que actúa sobre un mecanismo de trinquete montado sobre dicho el eje del rodillo R1, provocando el avance paso a paso del proceso, es válido por lo tanto decir que el rodillo R1 es dotado de un adecuado mecanismo paso a paso. El comando de accionamiento de este cilindro neumático se realiza a través de medios de control conocidos en el arte, tales como electroválvulas, finales de carrera y similares conectados convenientemente a un tablero de control T donde se podrá disponer un controlador electrónico programable (PLC) u otro medio similar.

Las funciones principales de la máquina son las de producir el avance de la banda de rodamiento 1 una distancia predeterminada y posteriormente realizar el descenso de una cuchilla 17 hasta una profundidad predeterminada en el espesor de la banda 1, mediante un segundo cilindro neumático 9 que actuará como medio de elevación/descenso de dicha cuchilla 17, en donde dicho cilindro neumático 9 también será comandado al menos desde dicho tablero T.

El marco 11 además sostiene el cilindro de accionamiento neumático 9, el cual presenta su vástago 12 conectado a un soporte de cuchilla 18 con el objeto de transmitir el movimiento y la fuerza de corte necesaria para generar las ranuras.

Dicha cuchilla 17, que será descrita en detalle más adelante se encuentra entonces en condiciones de subir y bajar de manera perpendicular a la superficie expuesta de la banda de rodamiento 1; estando dicha banda de rodamiento 1 detenida a la espera de producirse una ranura 3. El descenso de dicha cuchilla 17 se produce hasta llegar a una profundidad predeterminada de corte o impronta, la cual generalmente no excede la profundidad de las hendiduras 2 y como se ha referenciado anteriormente.

Con el objeto de producir una ranura 3 uniforme, dicha cuchilla presenta su filo 13 equidistante de la superficie 4, y en consecuencia de la superficie de la banda de rodamiento 1 en la cual se introducirá dicha cuchilla 7. Dicho filo 13, podrá ser un filo de doble bisel y cuyo desarrollo genere una ranura recta como la ilustrada en la figura 2 con un ángulo predeterminado. De forma preferida dicho ángulo α es de aproximadamente 20° respecto a una perpendicular que cruza el desarrollo longitudinal de la huella.

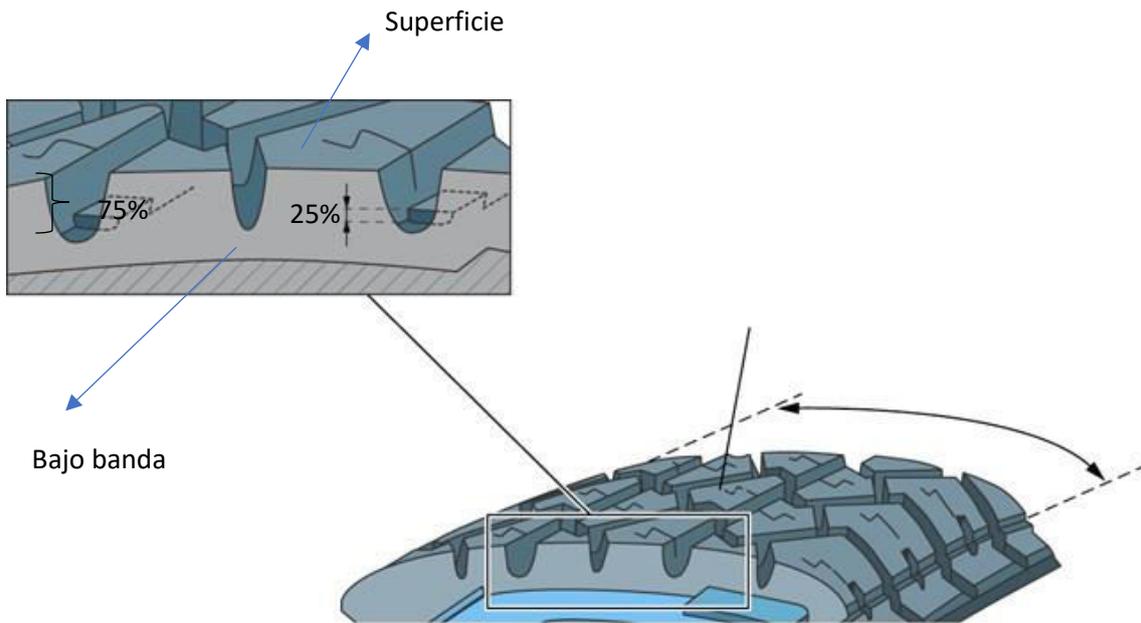
La cuchilla 17 comienza la carrera de descenso hacia la banda de rodamiento 1 y penetra la misma generando una ranura 3, en donde dicha ranura es perfectamente uniforme en su conformación.

Una vez que la cuchilla 17 ha bajado hasta su posición extrema inferior, se procede al retroceso o elevación de dicha cuchilla 17, puede presentarse la tendencia a que la banda de rodamiento 1 acompañe el ascenso de dicha cuchilla 7, y por tal motivo se incorpora una mejora consistente en un par de pantallas laterales 15 de cobertura que encierran o tapan el marco 11 hacia ambos lados, aislando la cuchilla 17 de las manos o partes del cuerpo expuestas de un operador. Al mismo tiempo dichas pantallas 15 se extienden hacia abajo a una distancia mínima de la banda de rodamiento 1 que se encuentra en proceso, paralelamente y cerca de la zona de acción de las cuchillas 7, evitando que dicha banda 1 se levante de su posición al retroceder la cuchilla 7. Dichas pantallas 15 a su vez permiten ser registradas en altura mediante ranuras en combinación con tornillos de ajuste indicados generalmente con la referencia 19.

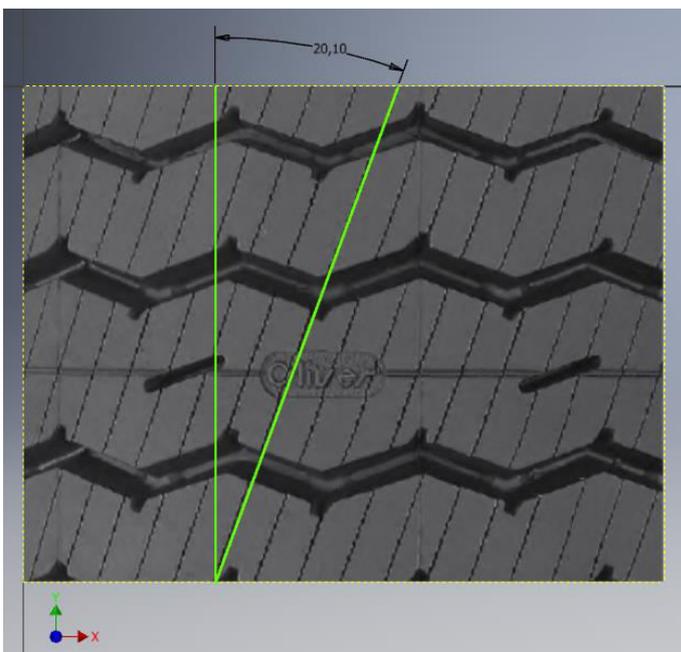
Diseño y calculo

Para hacer cortes en las bandas, primero necesitamos investigar cual va a ser la naturaleza mecánica del corte, es decir cuál va a ser el modo en que se va a realizar los cortes sobre la banda de rodadura.

Se necesita que estos cortes no sean totales en su profundidad (segmentación de la banda), sino un determinado porcentaje, desde el bajo banda, hasta la superficie de la banda, éste tiene que ser del 75%. (Ver figura)



Por otro lado, debe formar un cierto ángulo con la línea longitudinal de la banda, este ángulo es de 20°. (Ver figura)



DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

A continuación, vamos a proponer distintos mecanismos de corte e ir analizando cada uno sus ventajas y desventajas. Surgen mecanismos rotacionales, traslativos, alternativos. Por otro lado, se podrían manifestar fuentes de tecnología eléctrica entre otros, la cual no vamos a indagar ya que no es el alcance de este estudio.

Se plantean las hipótesis por la naturaleza del mecanismo, es decir mencionaremos a priori aspectos los cuales nos ayudaran a hacer una selección para luego entrar en detalle en el desarrollo de equipo.

Rotativas:

Se propone un tambor el cual posea perpendicularmente sobre su superficie cuchillas de corte. Para la simplicidad se establece que dicho tambor permanece fijo, es decir no se traslada respecto de la máquina, pero si se le da el grado de libertad de girar sobre su centro. Lo cual el hecho de rotar genera el corte y a su vez, traslada la banda.

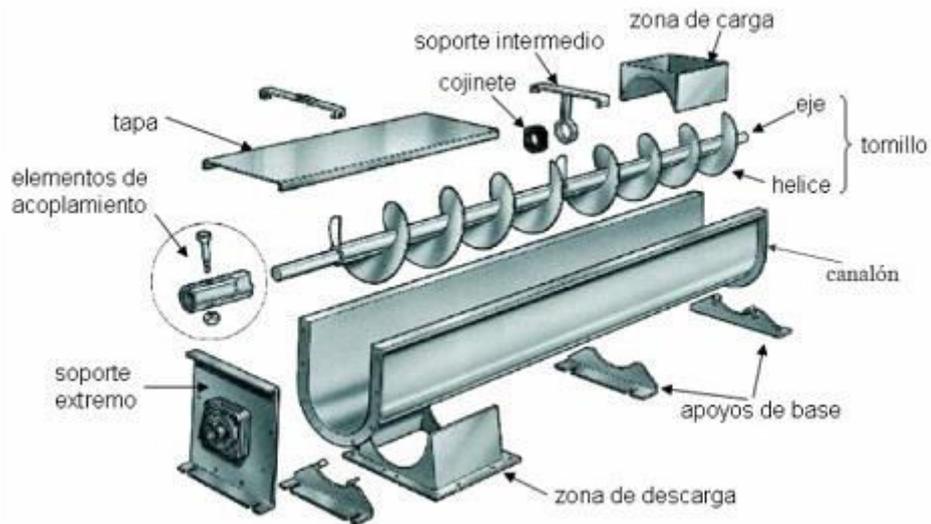
Ventajas	Desventajas
Corte y traslación con el solo hecho de rotar.	Dificultad de regular el paso del corte
Paso de corte muy estricto.	Costo muy elevado.
Mantenimiento del filo prolongado	Mecanismo de control de altura de corte complejo
Productividad muy alta.	Requiere de un sistema de potencia elevado y/o con elementos reductores
Rango amplio de productividad	
Productividad fácilmente regulable	

A continuación, se presenta un esquema gráfico del mecanismo para dar idea de la pieza principal de corte; para cada caso se repetirá la ilustración a manera de poder visualizar la naturaleza del dispositivo encargado de generar la hendidura.



DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

Otro modelo rotativo propuesto sería una mesa de traslación de la banda semi circular, y un tornillo sin fin con aristas de corte.



Ventajas	Desventajas
Corte y traslación con el solo hecho de rotar.	Imposibilidad de controlar el paso de corte sin cambio del sin fin.
Paso de corte muy estricto.	Costo muy elevado.
Productividad muy alta.	Mecanismo de control de altura de corte complejo.
Rango amplio de productividad.	Dificultad en la traslación de la banda sobre la mesa.
Productividad fácilmente regulable.	Dificultad en elafilado de la cuchilla.
	Requiere de un doblado de la banda que puede generar en ocasiones posibles atascos.
	Desgaste acelerado de la arista de corte.

DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

Método traslativo de corte:

Se basa en un cabezal con un disco de corte giratorio, podría ser impulsado o libre, es decir que gire con el propio rozamiento entre el material de corte y su arista de corte. Se elegiría el segundo caso por simplicidad. Pero dispondría de un sistema guiado y de traslación para hacer los cortes, de manera automatizada. Por otro lado, necesitaría un sistema de traslación de la banda sobre la mesa de corte.



Ventajas	Desventajas
Costo moderado	Productividad moderada
Una sola cuchilla de corte	Limitado control de productividad
Posibilidad en el control simple de la altura de corte.	Dificultad en el afilado de la cuchilla circular
Posibilidad de control del paso de corte	

DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

Método de corte alternativo:

Se basa en sistema de guillotina, es decir cuchilla plana, accionada por algún mecanismo. Y un sistema de traslación de la banda.



DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

Ventajas	Desventajas
Costo reducido	Productividad moderada
Una sola cuchilla de corte	Limitado control de productividad
Posibilidad en el control simple de la altura de corte.	
Posibilidad de control del paso de corte	
Facilidad en el afilado de la cuchilla	
Mantenimiento económico.	

Matriz de selección

A continuación, se desarrolla un Modelo de Scoring Ponderado, es decir una matriz detallando las propiedades a tener en cuenta y se le asigna un peso a la propiedad para ponderar la selección de los métodos y se le asigna un valor al mecanismo en relación a dicha propiedad.

Propiedad (Peso)\Tipo	Rot. Rueda	Rot. Sin fin	Traslativo	Alternativo
Costo (5)	2	1	3	5
Cuchilla, Corte (4)	2	1	4	5
Potencia necesaria (3)	3	1	4	5
Control de profundidad de corte "mecanismo" (4)	2	1	4	5
Productividad (2)	5	4	1	1
Control de productividad (2)	5	4	1	1
Total	=55	=32	=63	=84

Se selecciona el ultimo método de corte, es decir el **alternativo**, debido al bajo costo principalmente, y siendo necesaria una productividad baja, y de manera económica. También por su simpleza de mecanismo, haciendo económica su fabricación. Siendo un factor ponderante a la hora producir y/o vender el producto.

DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

Como segunda selección de diseño, vamos a abordar el mecanismo de accionamiento de corte, teniendo en cuenta las distintas posibilidades:

- Neumática
- Eléctrica
- Hidráulica

Característica\Tecnología	Neumática	Eléctrica	Hidráulica
Rendimiento energético	Bueno	Excelente	Bueno
Contaminación sobre el producto	Muy Baja	Ninguna	Alta
Costo	Bajo	Alto	Moderado
Control	Discreto	Continuo	Discreto

Cuando hablamos de contaminación del producto, es la cantidad de hidrocarburos que pueden depositarse sobre la banda y perjudicar la adherencia en el proceso de vulcanización.

Se selecciona la **energía neumática** como fuente de accionamiento de corte, debido a su costo bajo y casi nula contaminación sobre el producto.

Una vez seleccionado el modelo a utilizar de corte y su fuente de energía, se va a detallar el diseño esquemático general de la máquina, donde se cumplan las geometrías pactadas para el resultado del producto, optimizando materiales y espacio; teniendo en cuenta la comodidad de su uso y para el operario. Ya que se trata de una maquina semi automatizada.

Diseño del bastidor

El bastidor de la maquina es esencialmente una mesa donde irán ensambladas las distintas partes y elementos. También contendrá en rollo de banda a procesar. Su diseño es del tipo mesa rectangular de cuatro patas.

El chasis lo definimos en este punto del proyecto ya que es el esqueleto de la maquina en sí, pero sus dimensiones finales se obtienen de realizar:

- el ensamble de todos los elementos y partes; es decir deberá ser capaz de contener todas piezas en su forma de disposición final
- la disposición de trabajo de la máquina, se situará solidaria a una mesa de preparado de banda donde el operario realiza distintas tareas de preparación del producto
- espacio necesario para colocar el producto, un espacio de alimentación de los rollos
- ergonomía de operación de la misma, posición y altura cómoda para la manipulación de las bandas.
- mayor aprovechamiento de los materiales, tratar de reducir la utilización excedente de material para abaratar costos.

Sus medidas son:

Alto: 800mm.

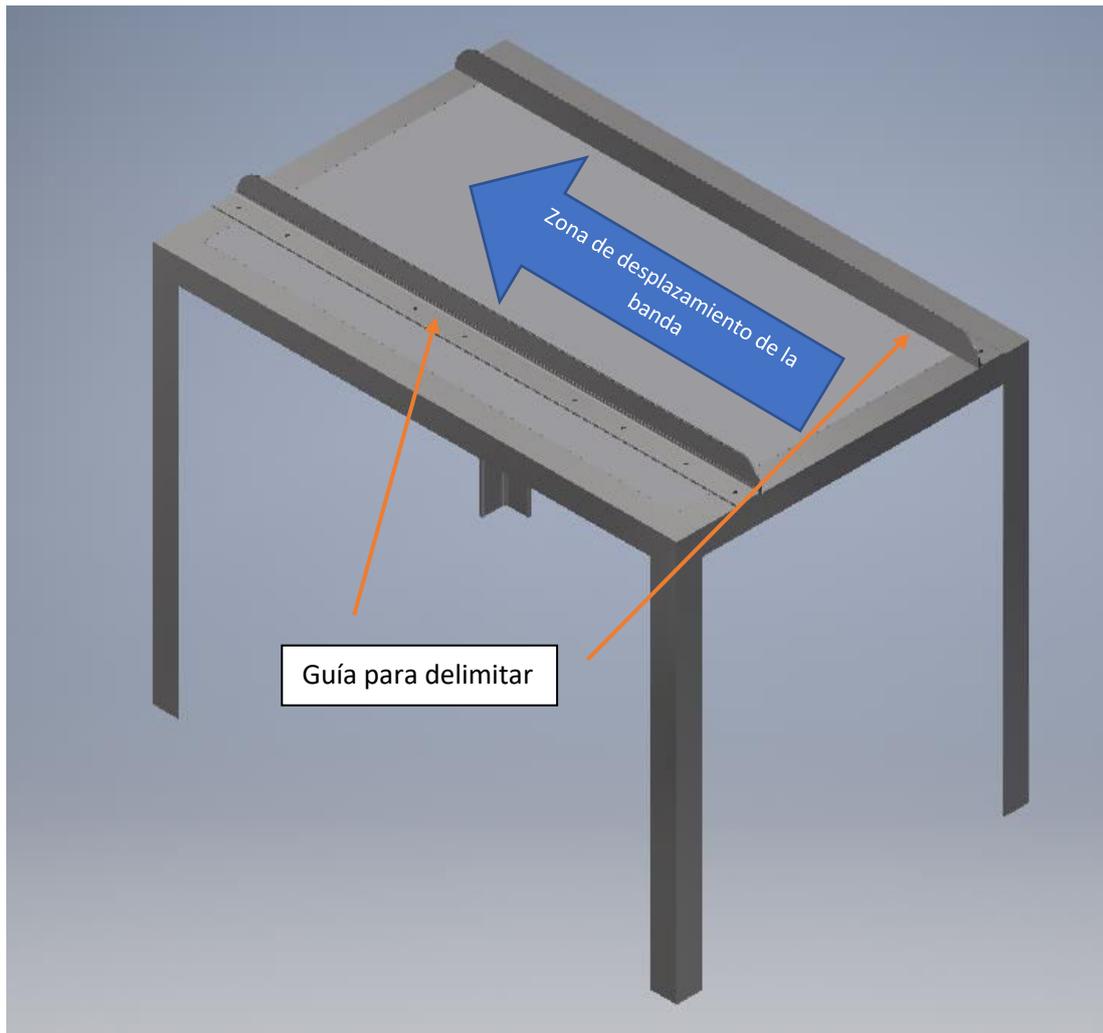
Ancho: 700mm.

Largo: 1050mm.

Sera fabricada a partir de perfilera tipo ángulo de hierro de 2" x 3/16", del tipo comercial para construcciones metálicas. Dichos perfiles se unirán unos a otro, mediante el proceso de soldadura. Las dimensiones elegidas de este material son basadas en maquinarias de la industria del reencauche de neumáticos, es decir guillotinas de banda, embandadoras, pulidoras de banda, etc. Este tipo de maquinarias están construidos con perfiles homólogos al mencionado.

En centro de la mesa va cubierto con una chapa del mismo espesor, 3/16", soldada a tope en sus 4 lados. Esta chapa tiene distintos cortes realizados, donde van colocados los elementos que posee la máquina.

En el centro de la mesa, longitudinalmente van colocados dos perfiles en ángulo de 1 1/2" x 1/8", con las puntas redondeadas. Estos perfiles hacen de guía para delimitar la zona donde la banda va a transitar sobre la mesa de trabajo.



A través de software de diseño y cálculo, Autodesk Inventor con la herramienta Análisis de estructura, se plantea fuerzas de carga de:

- 142N correspondiente a la banda, apoyada puntualmente en el medio de uno de los perfiles de la estructura, corresponde a un caso desfavorable.
- Los pesos de los elementos que componen:
 - Rodillo 1,6Kg x4
 - Eje 1,4Kg x 6
 - Perfil UPN inferior 4,7kg
 - Rodamientos 1,6Kg x12
 - Arco completo de corte 17,5Kg
 - Sistema de transmisión 1,8Kg
 - Total: 58Kg.

(ver Anexo #12 Calculo de bastidor)

Las tensiones a las cuales está sometido el bastidor no supera los 15MPa, la cual es muy por debajo del $\sigma_{fluencia} = 25 \frac{Kg}{mm^2} = 245 MPa$ de los aceros SAE 1010, empleado en la perfilería.

DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

Según el criterio de Faires, para aceros y metales dúctiles y un tipo de carga repetida en una dirección, gradual (choque suave), basado en la resistencia de fluencia, el valor del coeficiente de seguridad es de 3. Entonces, definimos para el acero al carbono un $\sigma_{admissible} = 81 \text{ MPa}$

La perfilaría utilizada cumple ampliamente las expectativas según los criterios utilizados.

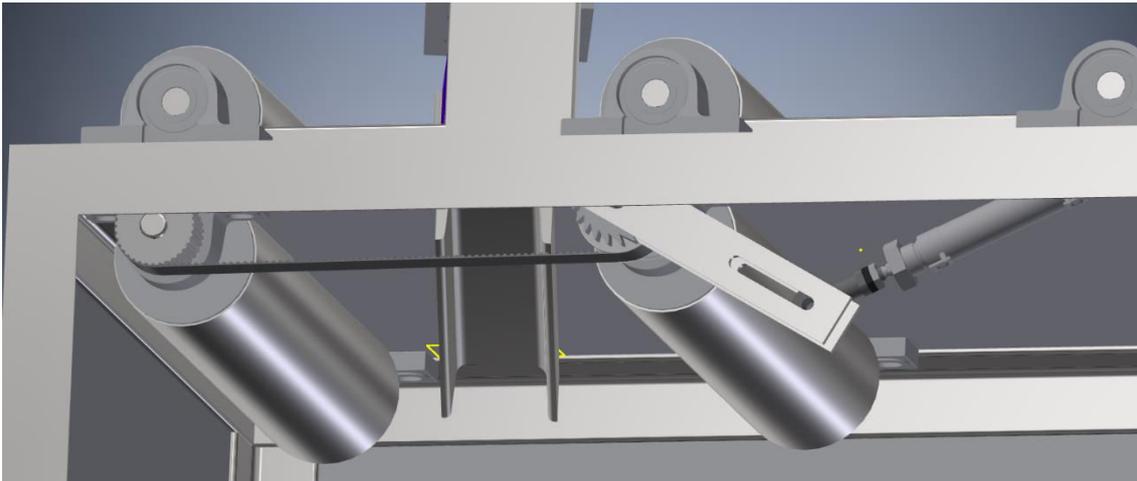
Diseño del sistema de traslación de banda

El sistema de traslación de la banda es el procedimiento en cual una banda va a ser desplazada por la mesa de corte, para poder procesar el producto.

Para realizar el movimiento deseado nombraremos algunos tipos de dispositivos y describiremos características de funcionamientos, para luego seleccionar uno.

- **Motor paso a paso:** consiste en un motor paso a paso, de movimiento rotativo, con elemento de reducción' necesita un controlador para ejecutar el movimiento.
- **Motor eléctrico:** similar al anterior, el sistema de control es tipo lógico I-O, dificultades en realizar un movimiento preciso, para mantener el paso, debido a las inercias en movimiento. (Motor neumático, tiene comportamiento similar)
- **Sistema trinquete:** conformado por una rueda dentada, un gatillo, montados en un soporte. Permite a un engranaje girar hacia un lado, pero le impide hacerlo en sentido contrario.

Se va a utilizar un mecanismo del tipo trinquete, con un paso entre dientes estipulado más adelante en el proyecto, para poder delimitar la distancia entre cortes. Cabe destacar que dicha distancia no es regulable sin reemplazar el trinquete. El accionamiento de este dispositivo va a ser mediante un cilindro neumático.

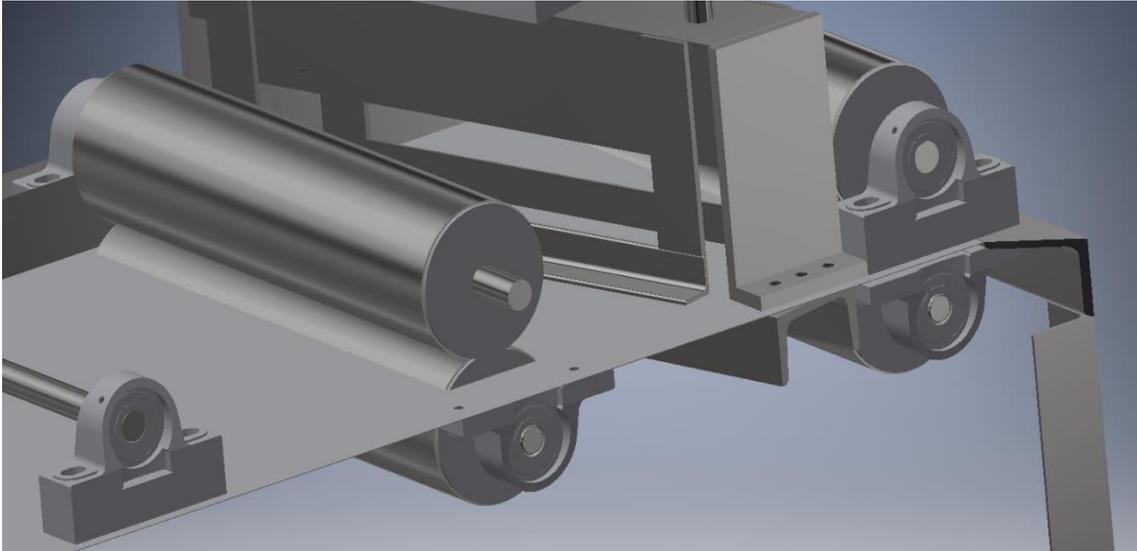


El trinquete va a ser solidario con un eje, que va a actuar de rodillo donde tracciona de la banda.

La banda se traslada alternativamente entre cortes mediante la tracción del rodillo. Por lo tanto, vamos a establecer el diámetro y el ángulo de giro que tiene que realizar para obtener la distancia entre cortes deseadas. Dicha distancia es de 14mm. Esta es el promedio tomado de varias muestras de distintos proveedores de materias primas, posee una dispersión de ± 2 mm.

El rodillo debe tener un diámetro de 4", para poder acoplarse con los distintos elementos de máquina, sin tener interferencia y cumplir con el traslado de la banda.

El decir el rodillo inferior, que va sujetado sobre un porta-rodamientos (más adelante detallado) debe tener un diámetro en el cual sobrepase la mesa para hacer contacto con la banda y traccione ésta. (ver figura a continuación)



La longitud de arco es, $L = R * \alpha$, la cual va a ser la distancia que traslade la banda.

α (ángulo de giro del rodillo) = 14mm (distancia entre corte) / 50,8 mm (diámetro del rodillo)

$\alpha = 0,276 \text{ rad} = 15,8^\circ$

$360^\circ / 15,8^\circ = 22,78 \rightarrow$ La cantidad de dientes a seleccionar son 22.

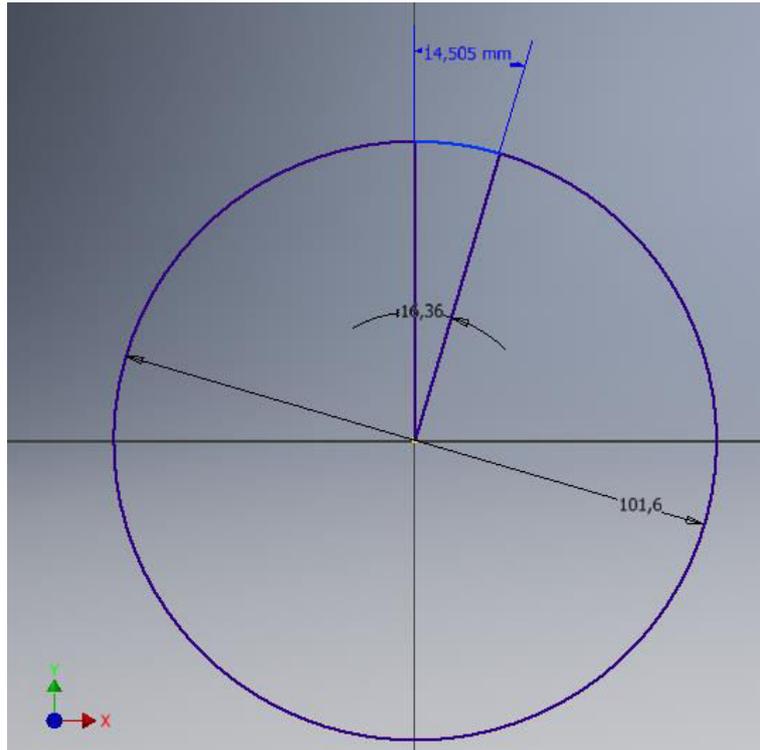
Se toma el menor número, debido al juego que va a poseer cada pieza y los resbalamientos que puedan ocurrir, va a disminuir la distancia del paso.

Recalculamos la distancia de corte teórica que va a quedar.

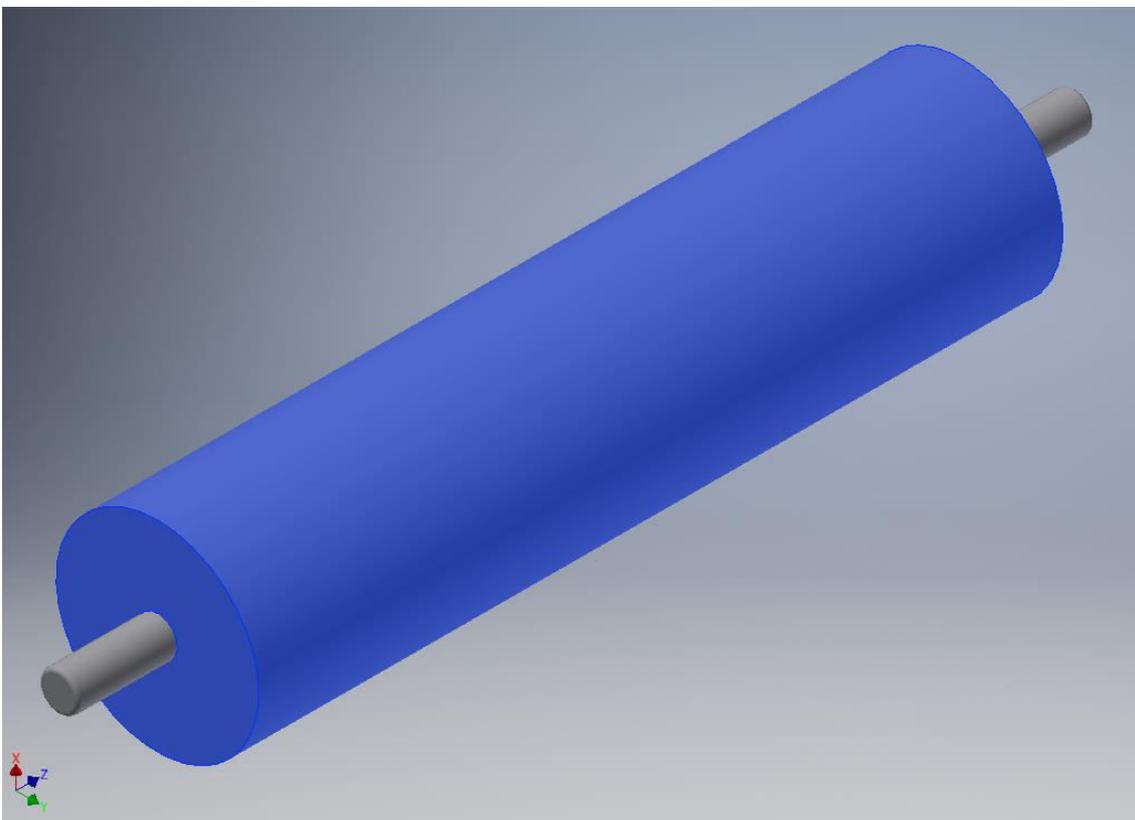
$360^\circ / 22 = 16,36^\circ \rightarrow$ Angulo formado entre diente y diente del trinquete.

$L = 50,8\text{mm} * 0,255 \text{ rad} (16,36^\circ) = 14,5 \text{ mm}$

Rodillo de tracción



El rodillo de tracción queda conformado por un caño de 4" de diámetro (dimensión anteriormente mencionada) y de 420 mm de largo (ancho máximo estipulado de la banda) solidario con un eje, a través de unas tapas fabricadas con chapa.



DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

Calcularemos el momento torsor aplicado al eje del rodillo para trasladar la banda.

La banda más pesada que hay en el mercado pesa 13,5 kg/m.

La banda lleva adherido el cojín que tiene un peso de 1,2 kg/m.

El perímetro de un neumático 315/80R22.5, el mayor actualmente en uso en lo que respecta a transporte de uso masivo, es de 3420mm.

Esta masa se traslada sobre una mesa. El coeficiente de fricción entre el material de envoltorio plástico y de la mesa de madera es de un valor de 0,5.

Fuerza necesaria de empuje es de:

$$F_{empuje} = mg\mu = \frac{(13 + 1,2)kg}{m} * 3,42m * 9,8 \frac{m}{s^2} 0,5 = 238N$$

Torque necesario para trasladar la banda:

$$\tau = F_{empuje} * Radio\ del\ rodillo = 238N * 0,0508m = 12,1 Nm$$

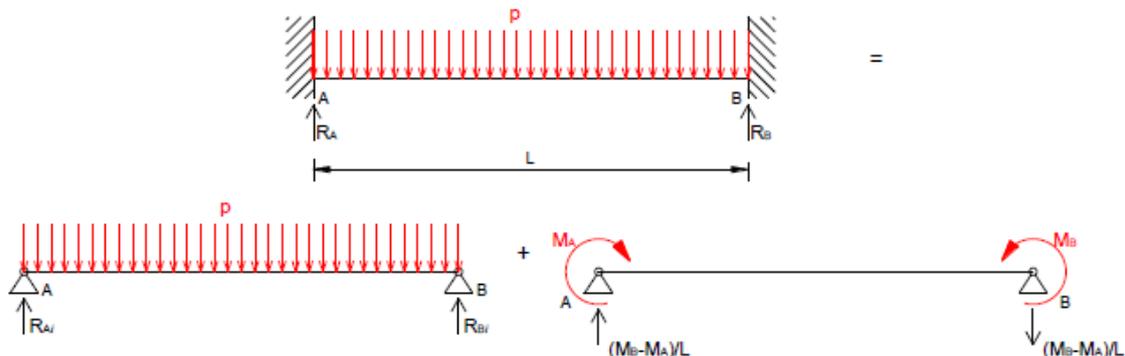
La carga que recibe la periferia del rodillo debido al peso de la banda es despreciable, por ende, se necesita usar algún mecanismo de empuje de la banda sobre el rodillo para evitar el deslizamiento. Se realizará a través de otro eje que ejerza una fuerza que presione la banda sobre el rodillo de tracción.

El coeficiente de roce entre el rodillo y el envoltorio de la banda, es decir acero y poliéster, es de 0,5, la fuerza normal necesaria para que $F_{roce} = F_{empuje}$ es:

$$N = \frac{F_{roce}}{\mu} = \frac{238N}{0,5} = 476N$$

Cabe destacar que el cilindro externo se le realizara un moleteado para aumentar su rugosidad, y el coeficiente de fricción entre ambos materiales va a ser mayor, y a los efectos necesarios se van a ver beneficiados, pero no perjudicados. Por ende, son cálculos base teóricos para partir el diseño.

El rodillo está compuesto por un tubo delgado el cual va a estar unido a un eje conformado por un macizo. Esta unión se realizará mediante dos discos, al ser de mucho mayor espesor se considerará al tubo exterior como una viga empotrada en ambos extremos para realizar el cálculo estructural.

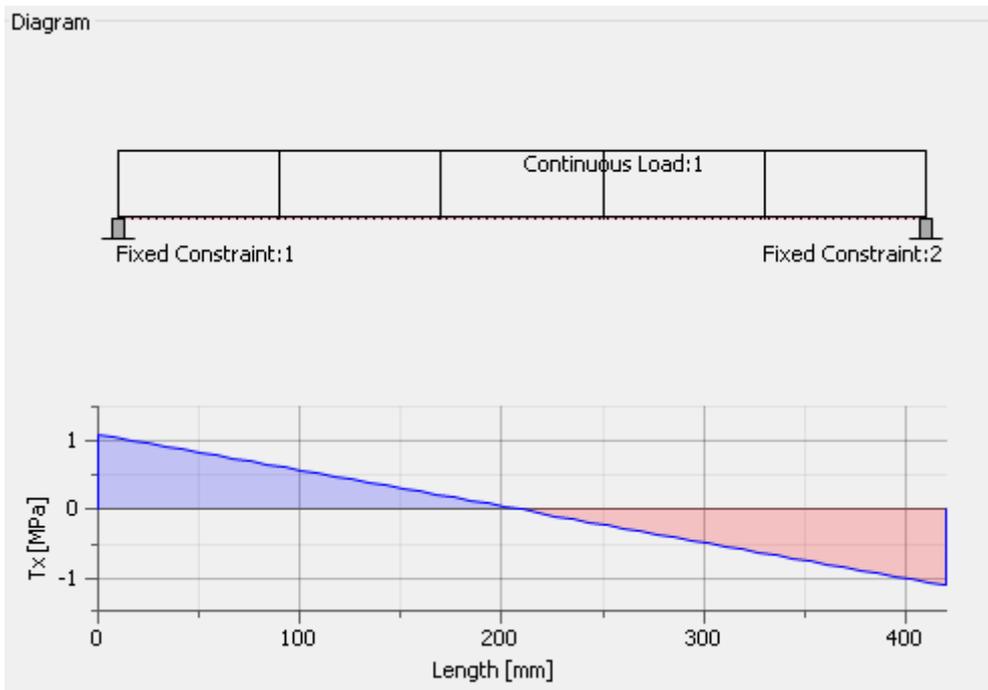
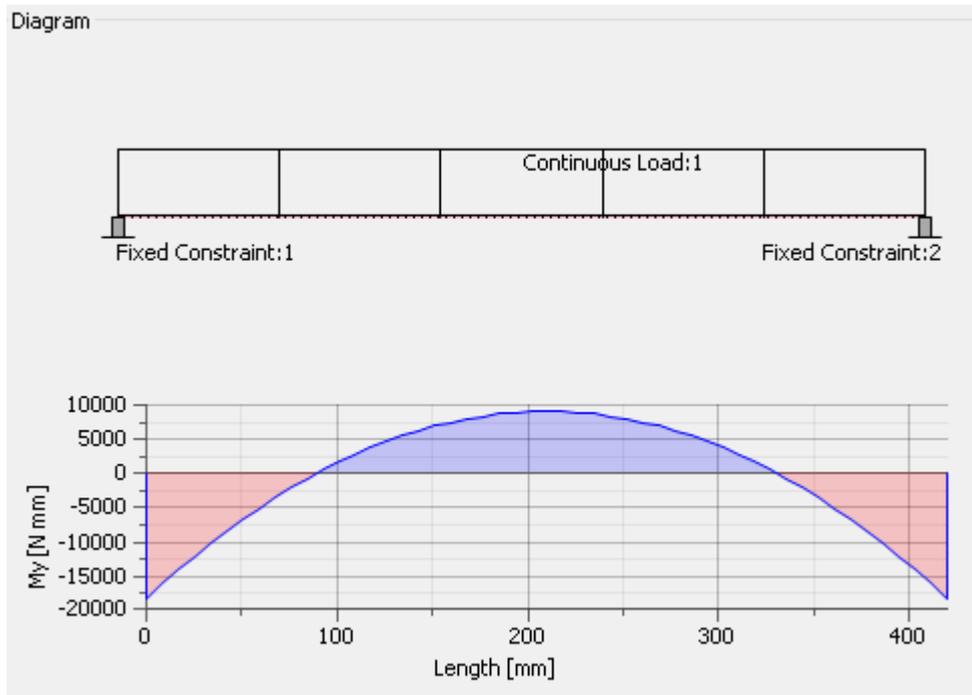


Diagramas de esfuerzos cortantes y momento flector

También se obtienen la ley de momentos flectores y de esfuerzos cortantes para el tramo AB.

$$M_{AB} = \frac{px(L-x)}{2} - \frac{pL^2}{12} \left(1 - \frac{x}{L}\right) - \frac{pL^2x}{12L} \rightarrow M_{AB} = -\frac{p}{12}(L^2 - 6Lx - 6x^2)$$

$$T_{AB} = p\left(\frac{L}{2} - x\right) + \left(-\frac{pL^2}{12} - \left(-\frac{pab^2}{L^2}\right)\right)\frac{1}{L} \rightarrow T_{AB} = \frac{p}{2}(L - 2x)$$



DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

CAÑOS ESTRUCTURALES																	
REDONDO		CUADRADO	RECTANGULAR					ESPEORES									
Pulg.	mm.	medida	medida	medida	medida	medida	medida	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
								0.90	1.25	1.41	1.59	1.80	2.00	2.25	2.5	2.85	3.20
5/8"	15.87	13 x 13	10 x 15					0.33	0.45	0.50	0.56	0.63					
3/4"	19.50	15 x 15	20 x 10					0.40	0.55	0.62	0.69	0.77	0.84				
7/8"	22.22		20 x 15	25 x 10				0.47	0.64	0.72	0.81	0.91	1.00				
1"	25.40	20 x 20	25 x 15					0.54	0.75	0.84	0.94	1.05	1.15				
1 1/8"	28.57		30 x 15					0.61	0.84	0.95	1.06	1.17	1.31				
1 1/4"	31.75	25 x 25	30 x 20	40 x 10				0.69	0.94	1.07	1.19	1.33	1.47	1.64	1.80	2.03	2.25
1 1/2"	38.10	30 x 30	40 x 20	50 x 10				0.83	1.14	1.28	1.44	1.61	1.78	1.99	2.20	2.48	2.75
1 3/4"	44.45	35 x 35	40 x 30	50 x 20					1.33	1.50	1.69	1.89	2.09	2.34	2.59	2.92	3.26
2"	50.80	40 x 40	50 x 30	60 x 20					1.53	1.72	1.94	2.18	2.41	2.70	2.98	3.37	3.76
2 1/4"	57.15	45 x 45	50 x 40	60 x 30					1.72	1.94	2.19	2.46	2.72	3.05	3.37	3.82	4.26
2 1/2"	63.50	50 x 50	60 x 40	70 x 30	80 x 20				1.92	2.16	2.44	2.74	3.03	3.40	3.76	4.26	4.75
2 3/4"	69.85	55 x 55	60 x 50	70 x 40					2.11	2.38	2.69	3.02	3.35	3.75	4.15	4.71	5.26
3"	76.20	60 x 60	70 x 50	80 x 40	90 x 30				2.31	2.60	2.94	3.30	3.66	4.10	4.54	5.16	5.76
3 1/2"	88.90	70 x 70	80 x 60	90 x 50	100 x 40						3.45	3.87	4.29	4.31	5.33	6.05	6.76
3 3/4"	95.25	75 x 75	110 x 40	100 x 50	90 x 60	80 x 70					3.70	4.15	4.60	5.16	5.72	6.50	7.27
4"	101.60	80 x 80	100 x 60	120 x 40							3.95	4.43	4.91	5.51	6.11	6.94	7.77
4 1/2"	114.30	90 x 90	100 x 80	110 x 70	120 x 60	130 x 50	140 x 40						5.54	6.22	6.89	7.83	8.77
5	127.00	100 x 100	120 x 80	130 x 70	140 x 60	150 x 50							6.22		7.68	8.73	9.77
5 1/2"	139.70	110 x 110	140 x 80	150 x 70	120 x 100												10.77
6"	152.40	120 x 120	140 x 100	150 x 90	160 x 80	170 x 70	180 x 60										11.78

Debido a las bajas cargas se seleccionará un tubo de diámetro 4", y espesor 1,6mm, y no menos ya que lleva un moleteado para aumentar la tracción. Dicho moleteado disminuye el espesor, y el proceso de moleteado imprime sobre la superficie una fuerza considerable y podría traer problemas en el mecanizado.

El caño estructural redondo está conformado de chapa SAE 1010, cuyo $\sigma_{fluencia} = 25 \frac{Kg}{mm^2} = 245 MPa$.

Según el criterio de Faires, para aceros y metales dúctiles y un tipo de carga repetida en una dirección, gradual (choque suave), basado en la resistencia de fluencia, el valor del coeficiente de seguridad es de 3.

Entonces, definimos para el acero al carbono un $\sigma_{admisible} = 81 MPa$

Las tensiones rigen según:

$$\sigma = \frac{M_{flex}}{W_z}$$

$$W_z = \frac{\pi}{2} * \frac{(R^4 - r^4)}{R}$$

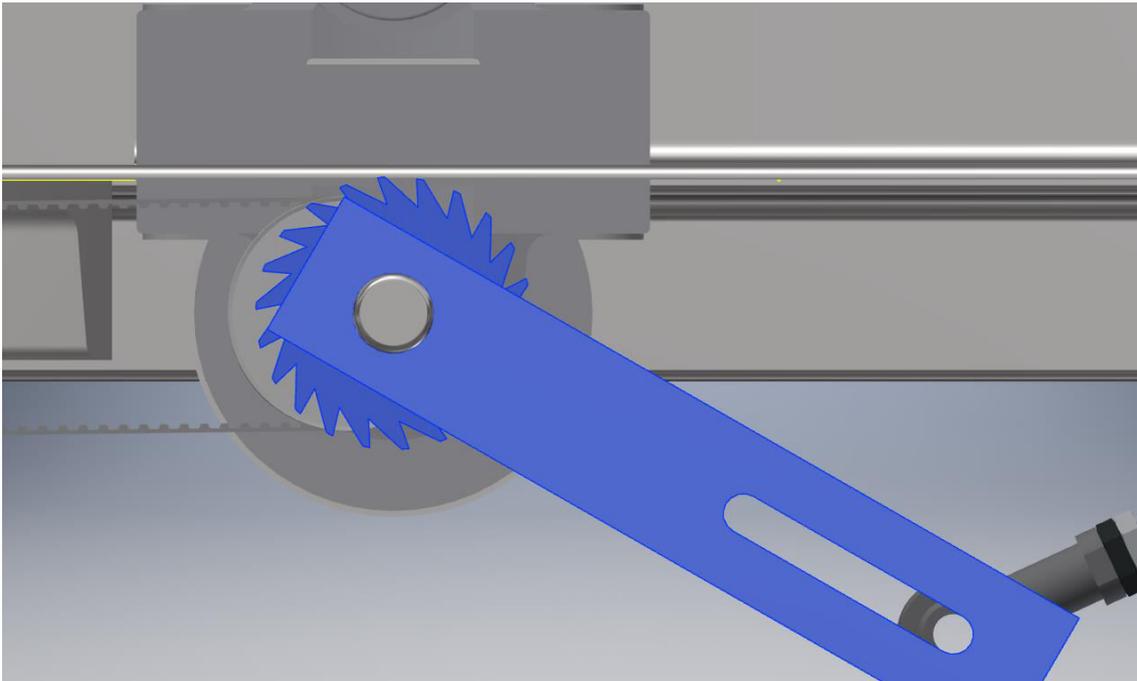
De las ecuaciones anteriores sale que el radio interno es: r=50,787mm, el espesor, e=0,013mm.

Queda demostrado que el espesor elegido cumple por exceso con lo requerido.

Trinquete -Engranaje-

El diámetro exterior del engranaje del trinquete que va solidario al eje del rodillo de tracción es como máximo de 71,6 mm de diámetro. El radio sale de la distancia máxima entre el centro el eje de giro del rodillo, y la chapa de le mesa, más una tolerancia de ensamble y construcción.

Con las dimensiones seleccionadas se evita la interferencia que se visualiza en la imagen inferior. También es importante tener en cuenta pequeñas variaciones de ensamble, lo cual pueden ser compensadas con la adición de suplementos a la hora de fijar los elementos. Estos detalles son importantes a la hora del ensamble y set up de la máquina.



El redondo liso más próximo es el de 69,8mm. El diámetro final del trinquete, una vez maquinado queda en 68mm.

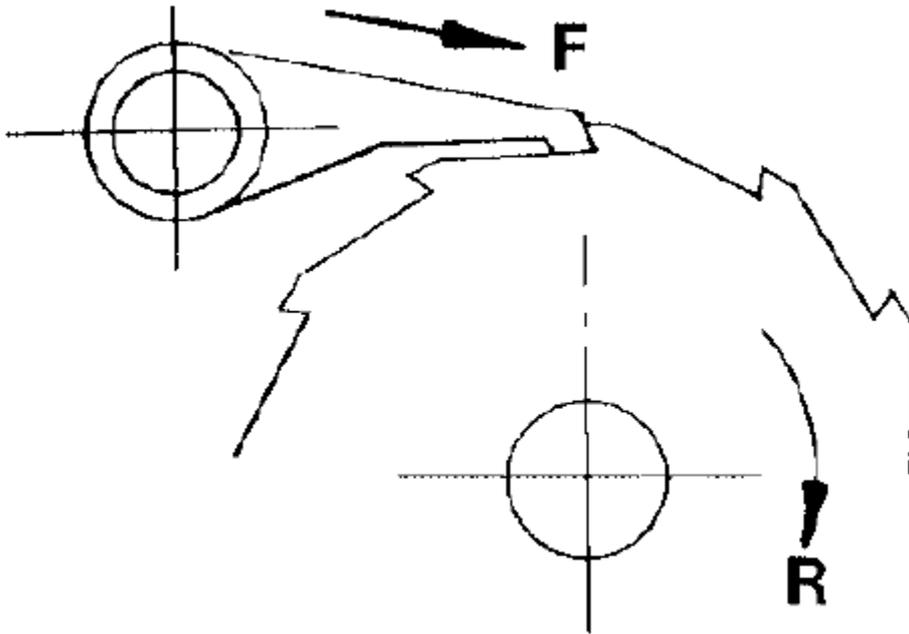
El perímetro total del trinquete es de:

$$P_{trinquete} = 68mm * \pi = 119,32 mm.$$

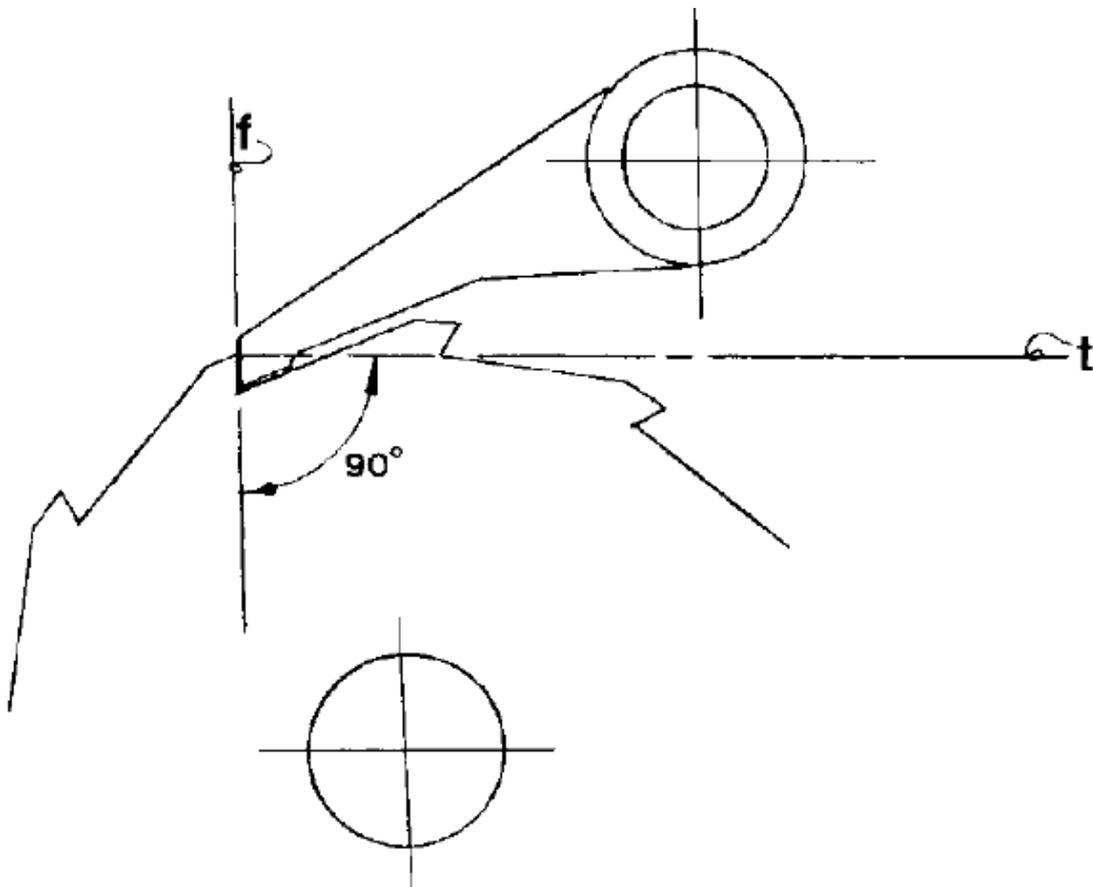
El arco formado por un diente es de:

$$Arco = \frac{119,32mm}{22 \text{ dientes}} = 5,42 mm = 0,21 in.$$

El método de funcionamiento diseñado para el trinquete es en el cual la fuerza es ejercida por el gatillo de retención o uña, hacia el diente del engranaje del trinquete.



Para que haya compromiso entre las dos piezas, es decir, contacto entre la superficie de empuje de la uña y la cara del diente, el diseño se debe cumplir que la línea t , perpendicular a la cara del diente f , debe pasar entre el centro del trinquete y el centro de giro de la uña.



DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

Primero calcularemos el largo del diente a partir de las variables que posee nuestro sistema:

$$l = \frac{\alpha m}{N S_s P^2}^{10}$$

P= Pitch circular, medido en el exterior de la circunferencia, in.

m= Momento torsor en el trinquete, lb in.

l= longitud de la cara del diente, grosor de la rueda del trinquete, in.

S_s= Tensión de seguridad (Acero C-1018; 4000 psi impacto and 25000 psi, estático)

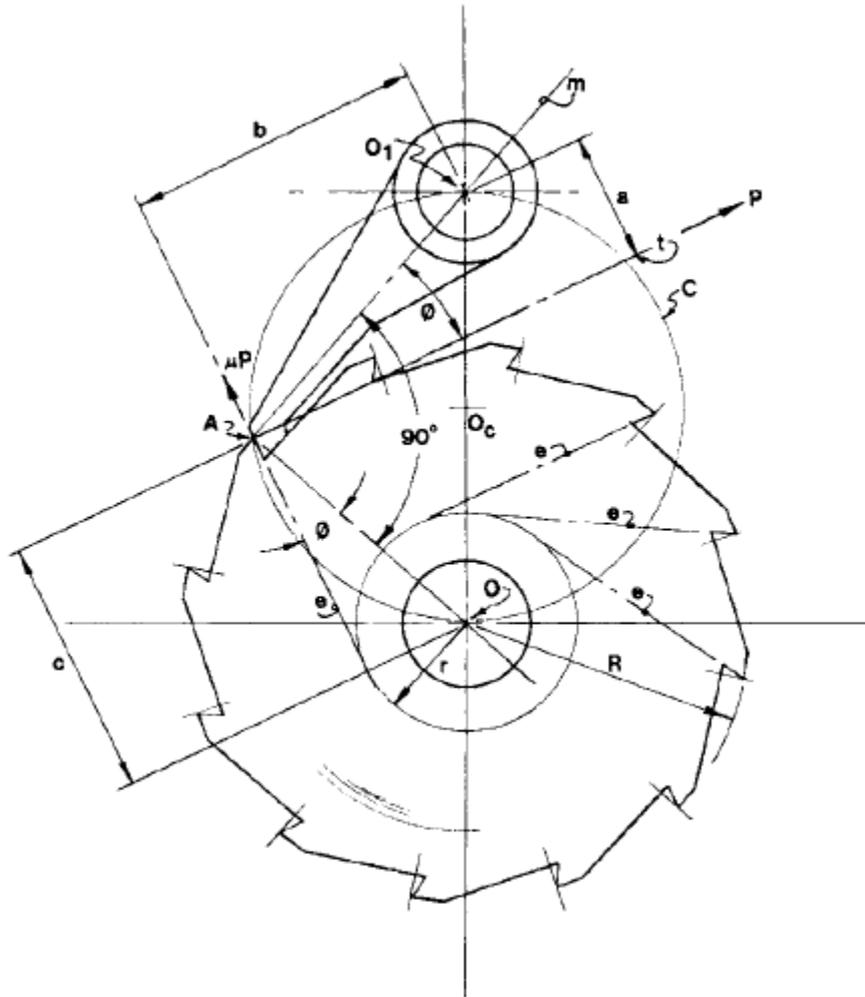
N= número de dientes del trinquete.

α=coeficiente: 50 para 12 dientes o menos, 35 entre 13 y 20 dientes y 20 para más de 20 dientes.

$$l = \frac{20 \cdot 107,1 \text{ lb in}}{22 \cdot 4000 \text{ psi} (0,21 \text{ in})^2} = 0,55 \text{ in} = 14 \text{ mm}.$$

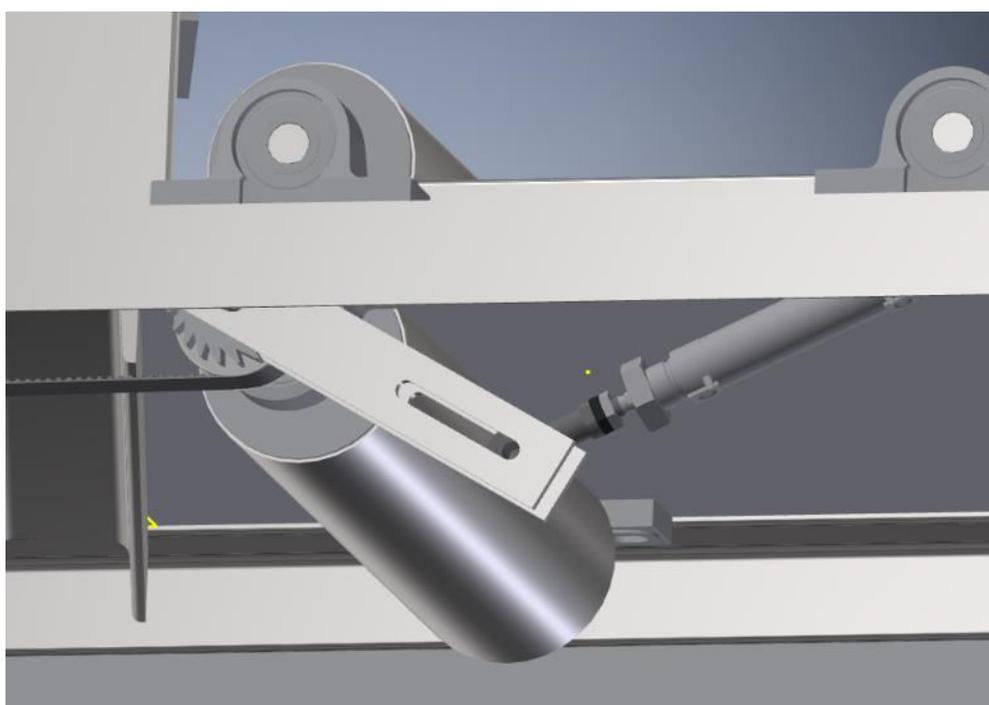
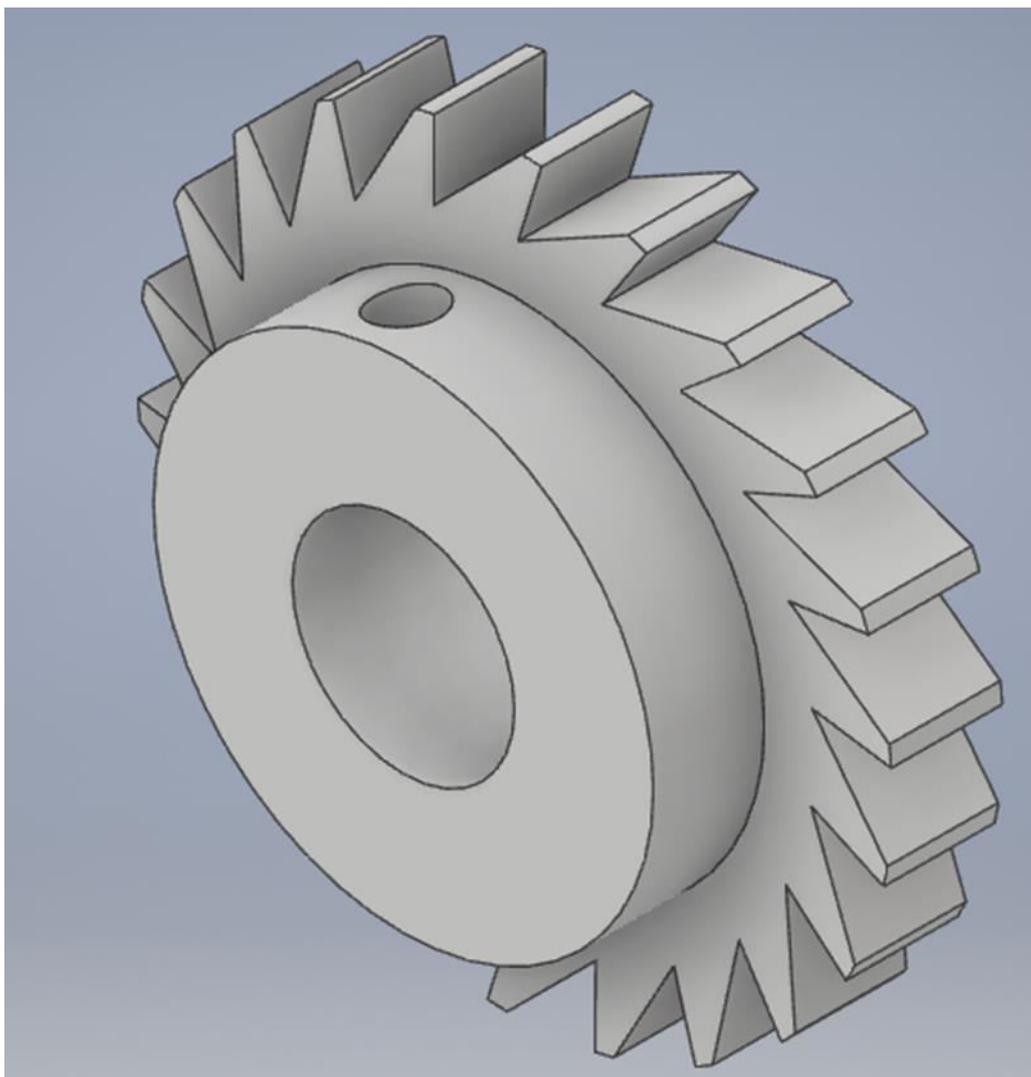
Como segundo paso hay que diseñar los puntos de giro y pivote de los elementos, es decir seleccionar los punto O, O1 y A. ver figura.

¹⁰ Handbook of Machining and Metalworking Calculations, Ron. A. Walsh, Mc Graw Hill, 2001 .



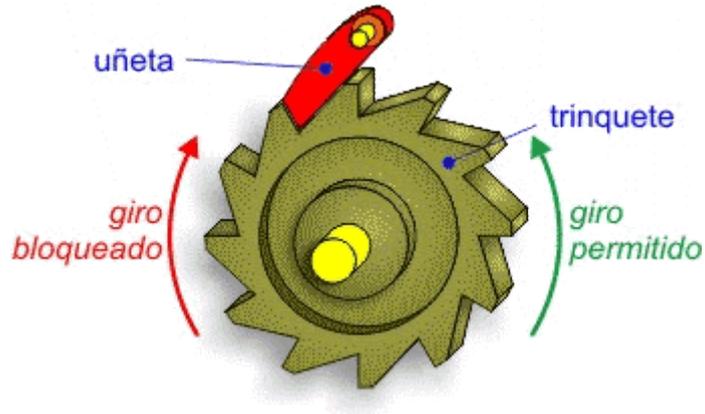
Tercero determinar el ángulo Φ , a través de la relación $\tan \Phi = \frac{r}{c}$ = ángulo mayor que el coeficiente estático de fricción entre los materiales del trinquete y el gatillo de retención (0,25 para aceros estándares de bajo y medio carbono).

$$r = c \tan \Phi = c (0,25) = 30,31mm * 0,25 = 7,58 mm$$



Uña del trinquete

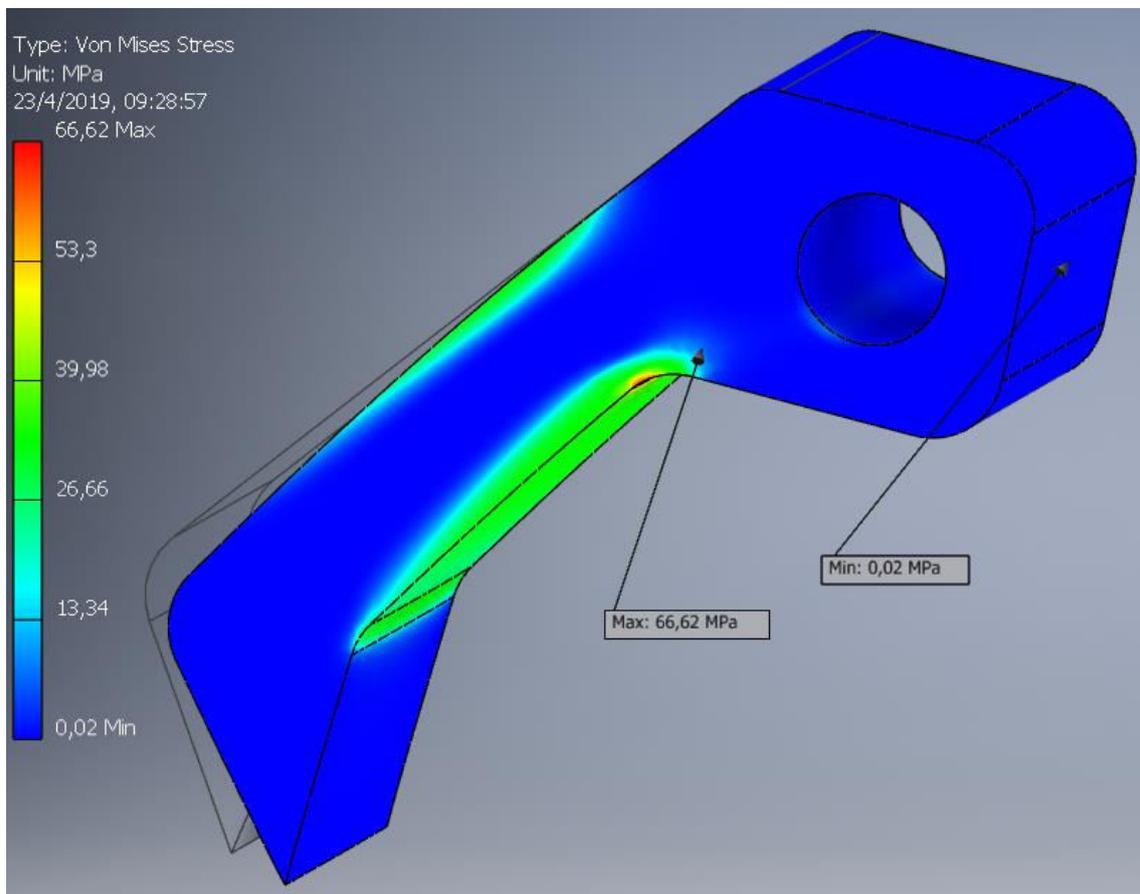
Es el elemento que trabaja en solidario con el engranaje del trinquete, el cual funciona trabando el sentido de giro en una dirección.



Debido a que su forma no presenta un perfil definido se optó por hacer el cálculo mediante el método de elemento finito con el software de diseño Autodesk Inventor Professional 2019.

La fuerza que se ejerce sobre la cara de contacto de la uña es:

$$F = \frac{\text{Toque}}{\text{radio medio cara del diente}} = \frac{12,1 \text{ Nm}}{0,0321\text{m}} = 378\text{N}$$

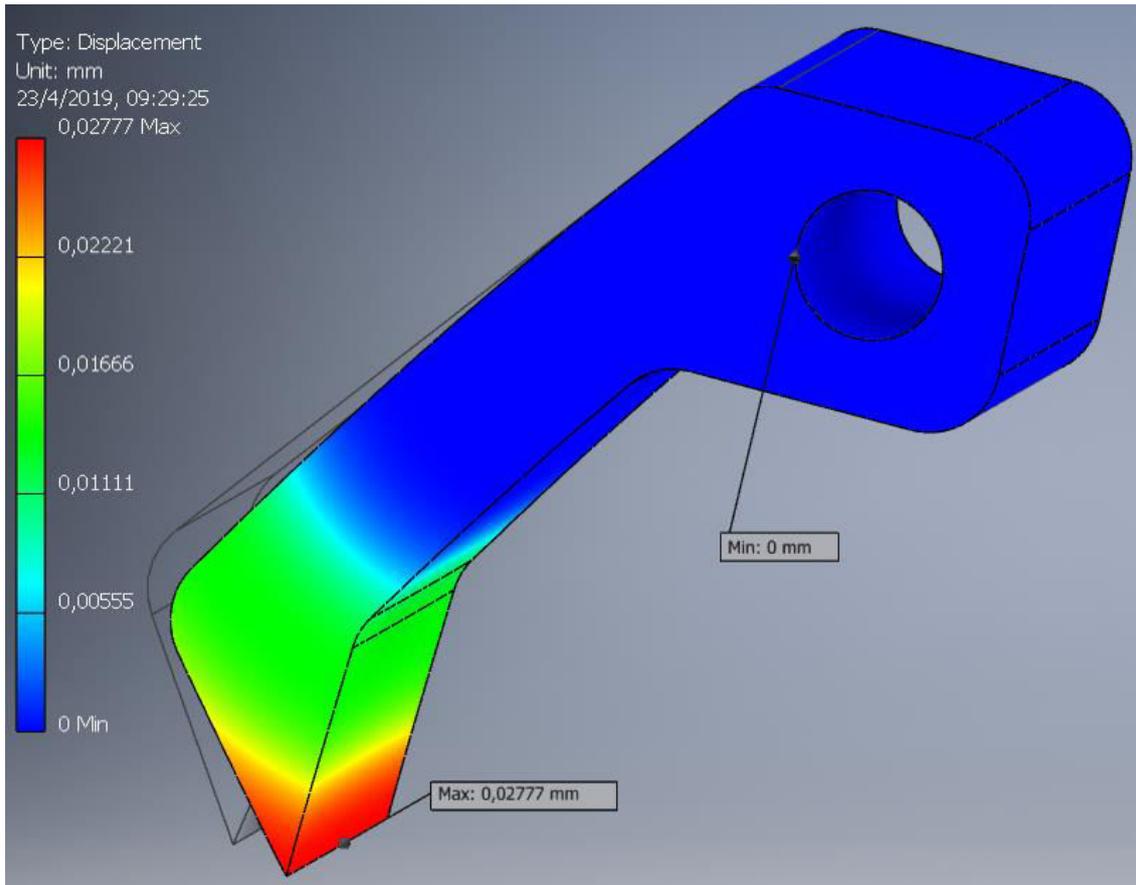


La tensión combinada máxima, por el concepto de Von Mises, es de 66,62 MPa. Es varias veces menos a la tensión de fluencia del acero. Por lo tanto, analizamos nuevamente por el criterio de Faires, para aceros con tipo de carga repetida y choque medio, ya que el elemento va a estar en contacto y la carga va a ser de una aplicación gradual rápida al ir el cilindro neumático llenándose de aire comprimido. El valor del coeficiente sobre la resistencia de fluencia es de 4.

Para acero SAE1020 Laminado en frio, $\sigma_{fluencia} = 390 \text{ MPa} \rightarrow \sigma_{admisible} = 97 \text{ MPa}$ ¹¹

Por ende, verifica según el criterio aplicado

También calculamos la deformación máxima de la pieza y esta es de 0,027 mm, lo cual es muy bajo y es totalmente aceptable, no tiene una influencia significativa sobre el paso del corte.



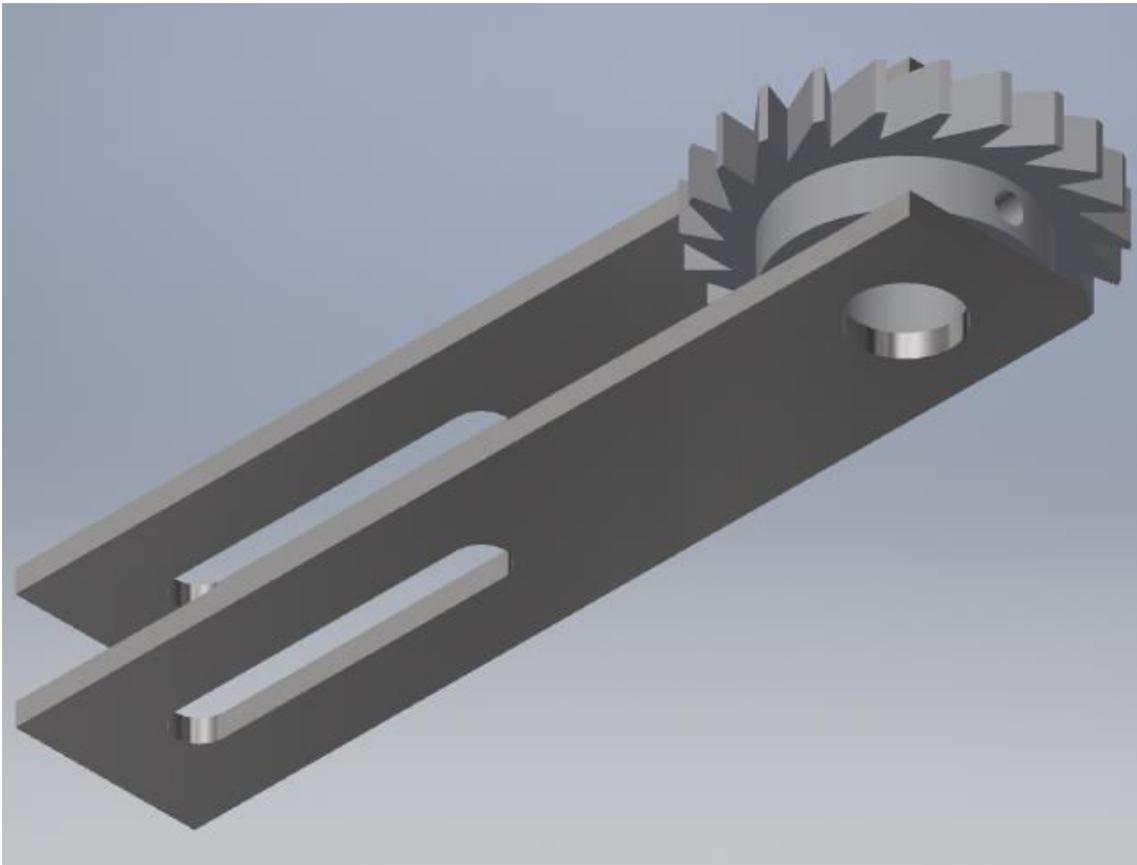
¹¹ Referencia SAE Handbook p 2.15, 1986

Brazo palanca

Se diseña el elemento de tracción, es una pieza construida por dos planchuelas de acero, como se puede visualizar en la figura, la cual tiene una ranura frezada donde va colocada la rótula del pistón neumático que la accionara. Dicho fresado sirve para hacer pequeños ajustes del recorrido del pistón que va situado perpendicularmente. A la hora de hacer la puesta a punto de la máquina, es necesario poder calibrar esta pieza ya que la suma de todas las imperfecciones necesita ser ajustadas para que el trinquete funcione.

También podría utilizarse, si se desea cambiar el paso del corte, para el ajuste de un nuevo trinquete y/o largo de cilindro.

Diagrama geométrico:



El torque ejercido sobre el eje para la traslación de la banda es de 12,1 N.

El ángulo de giro para poder completar la distancia del paso es de 16,36°.

La fuerza que ejerce el pistón sobre el elemento de tracción es:

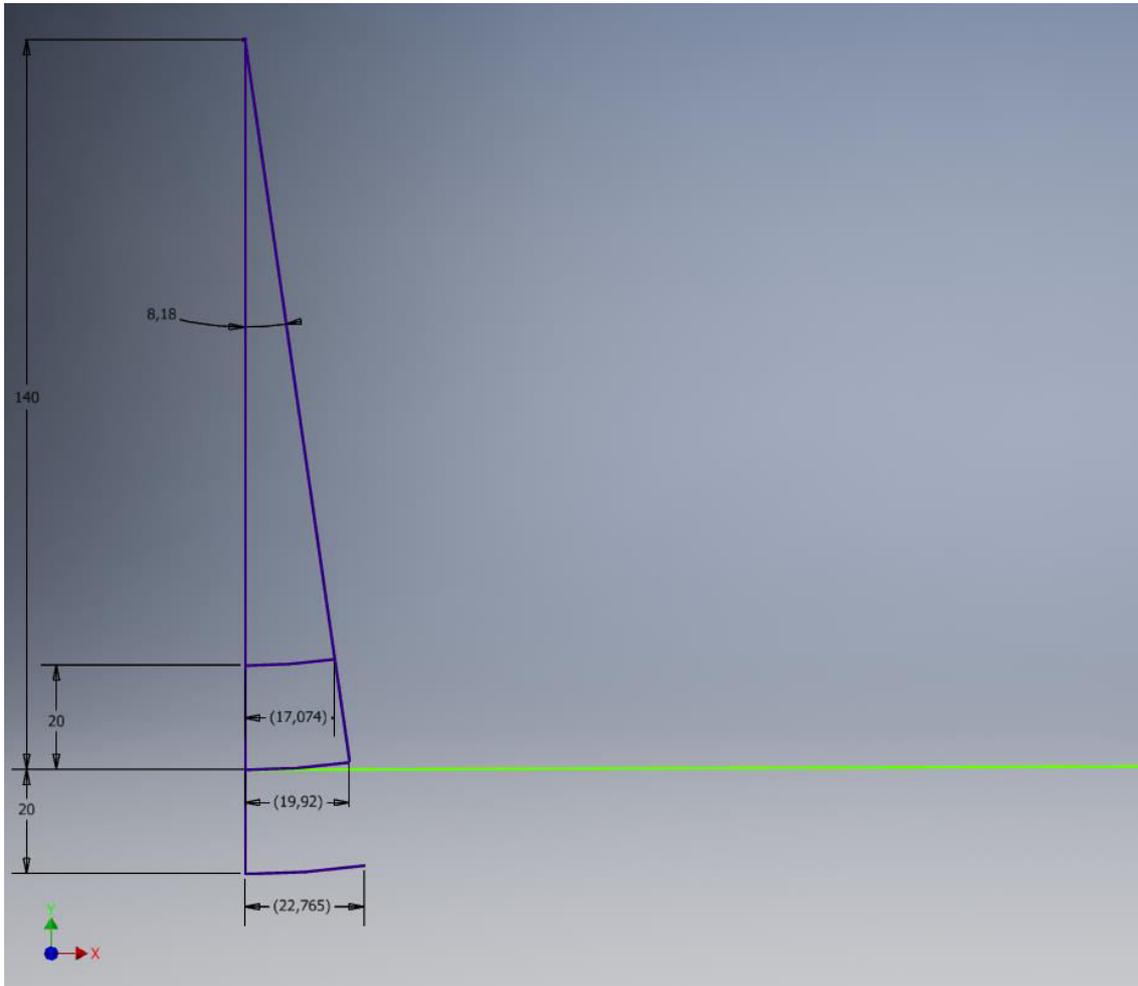
$$F = \frac{12,1Nm}{0,14m} = 87N$$

La distancia que tiene que recorrer el piston es:

$$\text{Recorrido del cilindro} = \text{sen } \alpha * \text{distancia entre centros} * 2 = 39.84mm$$

DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

En el esquema se detallan las distancias dentro de la variación posible de ajuste, notar que en la figura las distancias acotadas son las proyecciones de los arcos. Estos se pueden aproximar por ser ángulos pequeños.



DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

Selección de cilindro neumático para traslación de banda

Dicho cilindro será responsable de ejercer la fuerza para impulsar el sistema de trinquete para trasladar la banda.

La fuerza que ejerce sale del cálculo anterior, es de 87N.

La velocidad que debe poseer en promedio se deduce de recorrer la distancia de 40mm, en un tiempo de 0,25 segundos.

El cilindro por elegir es de simple efecto, ya que la fuerza a realizar al retroceso es casi nula, y tampoco se requiere una velocidad controlada.

Cilindros redondos ESNU

FESTO

Hoja de datos

Fuerzas [N] y energía de impacto [J]										
Diámetro del émbolo [mm]	8	10	12	16	20	25	32	40	50	63
Fuerza teórica con 6 bar en avance	24	41	61	107	169	270	442	688	1071	1763
Fuerza del muelle de reposición										
Carrera de 10 mm	4,9	4,9	6,3	13,2	18,3	22,9	36	60	95	95
Carrera de 25 mm	4,1	4,1	5,4	11,9	16,5	21,2	30	50	82	82
Carrera de 50 mm	2,8	4,8	3,9	9,8	13,6	18,5	20	30	60	60
Energía de impacto en las posiciones finales ¹⁾	0,03	0,05	0,07	0,15	0,20	0,30	0,40	0,70	1	1,3

1) A una temperatura ambiente de 80 °C disminuyen los valores en aproximadamente 50%

El cilindro de 16mm de diámetro de émbolo es el seleccionado para realizar la actuación. Con un largo de carrera de 40mm.

Selección de poleas y correas sincrónicas

La estructura de guillotina tiene un par de rodillos en la zona de ingreso, y otro par en la de egreso. Vamos a referirnos en singular ya que los rodillos superiores son solo para mantener determinado contacto entre la banda y los rodillos inferiores. Al cual solo el rodillo delantero se le incorporo el sistema de movimiento para trasladar la banda. En el momento que el último tramo de la banda abandona el rodillo de ingreso, se queda sin movimiento, por ende, el rodillo al egreso debería continuar con el movimiento, de manera sincronizada con el primero. Trasladando y manteniendo sincronismo con el tramo restante de la banda.

Para vincular ambos rodillos utilizaremos una correa sincrónica con sus respectivas poleas.

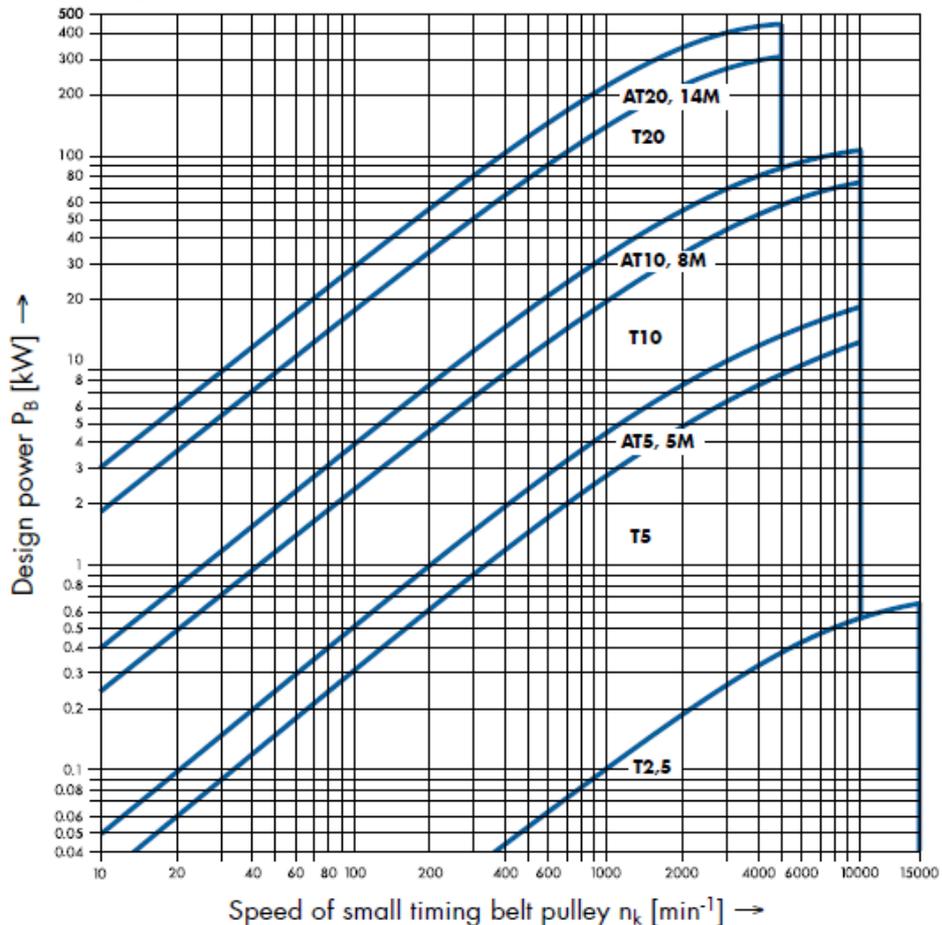
Del informe generado por la simulación del cilindro neumático obtenemos que la velocidad máxima es de 1,372m/s, velocidad tangencial. Convertido a rpm son 258 rpm.

Toque a transmitir es: 12,1Nm. Como resultado da una potencia a transmitir de: 0,327 kW.

Las poleas sincrónicas se seleccionan de tal manera de obtener el mayor diámetro posible sin interferir con la chapa que conforma la mesa.

Del catálogo Técnico de Optibelt correas sincrónicas, obtenemos la siguiente información

Diagram 3.4.2: Power diagram, T and AT profiles, HTD profiles



La potencia por transmitir a las rpm calculadas, nos sitúa en la zona de un perfil tipo T5. Este tipo de perfil está contemplado por la norma DIN 7721.

DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

Se utiliza el generador de componente de correas sincrónicas del software de diseño Autodesk Inventor 2019. Allí se introducen y se ajustan todos los datos para el diseño y cálculo de los elementos a utilizar.

Las poleas sincrónicas se seleccionan de tal manera de obtener el mayor diámetro posible sin interferir con la chapa que conforma la mesa. Obtenemos dos poleas del mismo diámetro, la cantidad de dientes que posee con el tipo de perfil T5 es de 36 dientes.

Del software obtiene que el ancho a seleccionar es de 25mm para el perfil T5. Sugiere los siguientes elementos para armar la transmisión sincrónica.

Polea Sincrónica 29 T5x36

Polea Sincrónica 26,5 T5 x 36

Correa sincrónica 25T5 x 840

(Ver anexo)

Debido a que es de rápido proceso, utilizamos para comprobar el software de selección de correas de la marca Optibelt para comparar resultados.

Table 2.2.1: Base drive service factor c_0

c_0	Load type and examples of driving machines			
	Constantly running Electric motor Fast-moving turbine Piston machine with high number of cylinders		Intermittent running Hydraulic motor Slow-moving turbine Piston machine with low number of cylinders	
	Base drive service factor c_0 for daily operating time			
Type of base load and examples of a driven machine	up to 16 h	above 16 h	up to 16 h	above 16 h
Light drives, joint-free and uniform running Measuring instruments Film cameras Office equipment Belt conveyors (light goods)	1.3	1.4	1.4	1.5
Medium drives, temporary operation with small to medium impact loading Mixing machines Food processors Printing machines Textile machines Packaging machines Belt conveyors (heavy goods)	1.6	1.7	1.8	1.9
Heavy drives, temporary operation with medium to strong impact load Machine tools Wood processing machines Eccentric drive Conveying systems (heavy goods)	1.8	1.9	2.0	2.1
Very heavy drives, continuous operation with strong shock loading Mills Calender Extruder Piston pumps and compressors Lifting gear	2.0	2.1	2.2	2.3

De la tabla determinamos que el factor de carga es 1,8. Los criterios son:

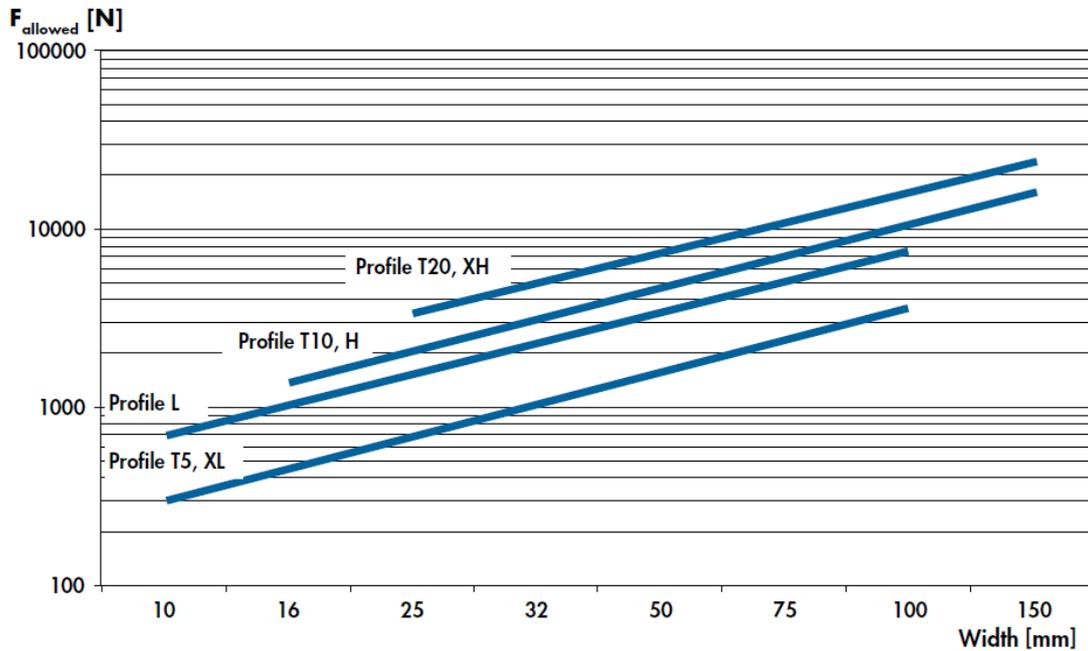
Utilización menor a 8hs diarias.

Utilización intermitente.

Cargas Moderadas.

Ambos softwares se utilizó el mismo factor de servicio.

Diagram 5.3.3: Pre-selection for T profile and imperial profile with standard steel tension cord



La tensión de trabajo correspondo a la setead a en el software de cálculo (Autodesk Inventor 2019), no así el factor de longitud, el cual se modifica.

Length factor c_3

The guide values of the length factor c_3 are indicated in Table 2.2.3 and apply only to rotationally highly loaded power drives which are mostly equipped with optibelt ALPHA TORQUE, ALPHA POWER or ALPHA FLEX timing belts.

The length factor c_3 considers the comparatively increasing or decreasing number of bending changes or tooth loads by using relatively short or long timing belts.

Table 2.2.3: Belt length correction factor

Profile	Effective length L_w [mm]	Length factor c_3
MXL, T2.5	≤ 190	0.8
	$> 190 \leq 260$	0.9
	$> 260 \leq 400$	1.0
	> 400	1.1
XL, T5, AT5	≤ 440	0.8
	$> 440 \leq 555$	0.9
	$> 555 \leq 800$	1.0
	> 800	1.1
L, T10, AT10	≤ 600	0.8
	$> 600 \leq 920$	0.9
	$> 920 \leq 1500$	1.0
	> 1500	1.1
T20, AT20	≤ 1260	0.8
	$> 1260 \leq 1880$	0.9
	$> 1880 \leq 3000$	1.0
	> 3000	1.1

Corroboramos con el software proporcionado por la empresa Optibelt, y obtenemos los mismos resultados. (Ver anexo)

El software de diseño de Optibelt alerta sobre el largo, es debido a que ingresamos una distancia aproximada, y no es la distancia a la cual posee la tensión necesaria. Esta distancia es variable, ya que cada soporte de los rodillos posee una ranura fresada la cual podemos ajustar cada una aproximadamente 10mm, lo cual nos va a dar a lugar a tensar la correa dentada, a los parámetros establecidos por el fabricante.

Selección de rodamientos y soportes

El sistema de tracción de la banda tiene una velocidad de giro muy baja, por ende, vamos a calcular el peor escenario que es cuando se coloca el rollo de banda sobre la máquina. Debido a que generalmente no es apoyado con gentileza se toma el caso donde el rollo tiene una masa de 500N de peso.

Se selecciona el porta rodamiento y su elemento más económico para eje de 20mm.

Soporte de rodamiento: SKF SNL 505

Rodamiento: SKF 1205 ETN9

(Ver anexo para datos técnicos)

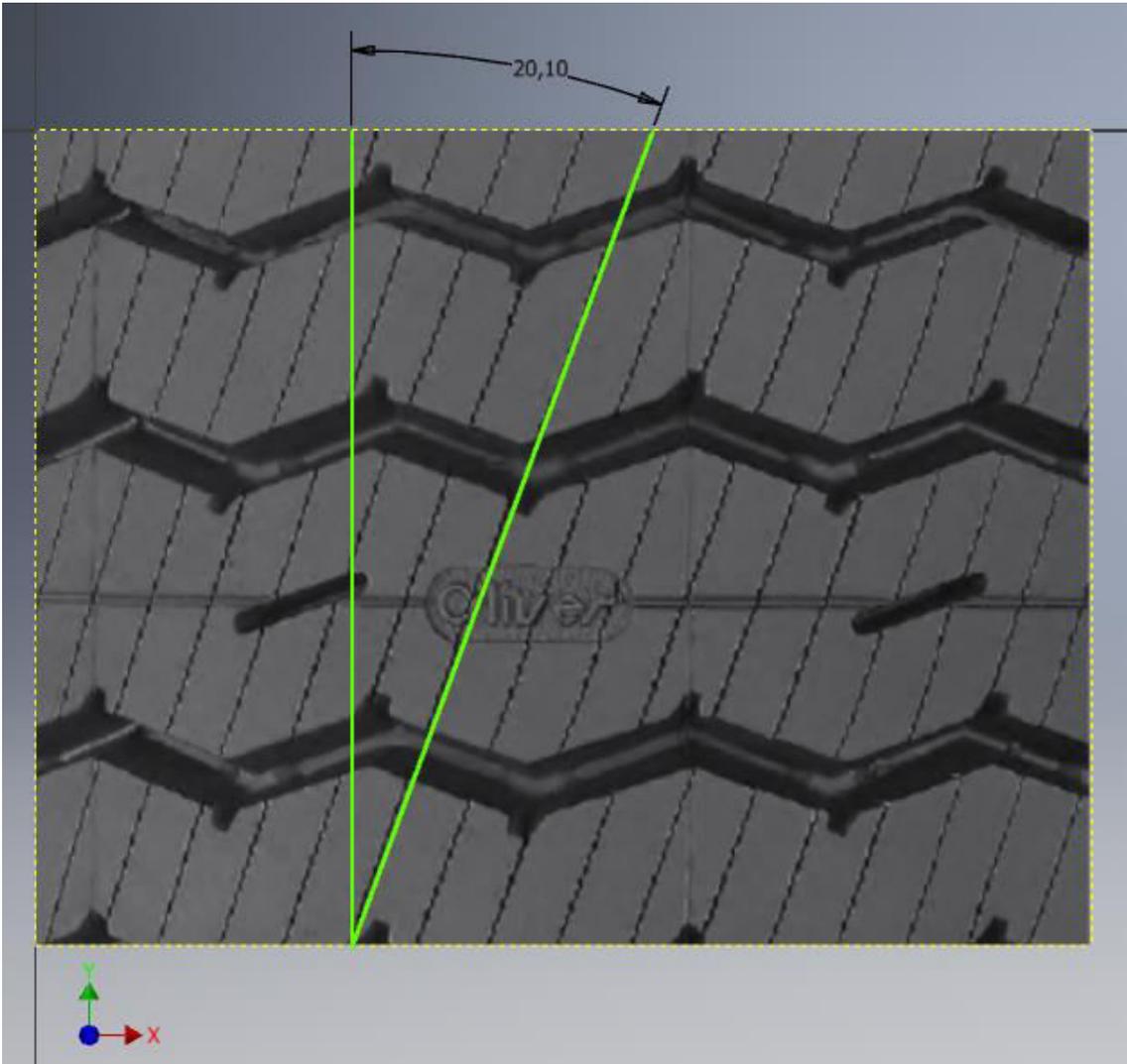
Carga máxima para el soporte en el caso más desfavorable para el soporte es 60kN, lo cual excede los requisitos.

Para el caso del rodamiento, la carga estática máxima admisible es: 4kN, también es mayor a los requisitos.

Diseño de la estructura de la guillotina

La estructura de la guillotina incluye el mecanismo de corte anteriormente seleccionado, un sistema neumático alternativo. Está constituida por estructura general, cilindro neumático, porta cuchillas, cuchillas, incluye también bujes y guías de soporte para el porta cuchillas.

Obtenemos a partir de un método grafico el ángulo que forma la longitud de corte y la línea longitudinal de la banda. A partir de la importación de una imagen del producto terminado, y la utilización de las herramientas para acotar. Ver figura



Se obtiene que el ángulo formado es de 20° aproximadamente.

Diseño del porta cuchillas

Si el ancho total de la banda es de 420mm formado un ángulo de 20°. Tenemos que adicionarle una tolerancia de desviación de la banda, lo cual agrega 10mm, queda un total de 430mm. necesitamos al menos una longitud de corte de:

$$\text{Largo del filo} = \frac{420\text{mm}}{\cos 20^\circ} = 446\text{mm}$$

$$\text{Largo del porta cuchillas} = \frac{430\text{mm}}{\cos 20^\circ} = 458\text{mm}$$

DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

Entonces el zócalo para colocar la cuchilla va a estar dado por el huelgo que queda en la pieza y es de 446mm de largo, 1" de profundidad, y un espesor de 6,35mm.

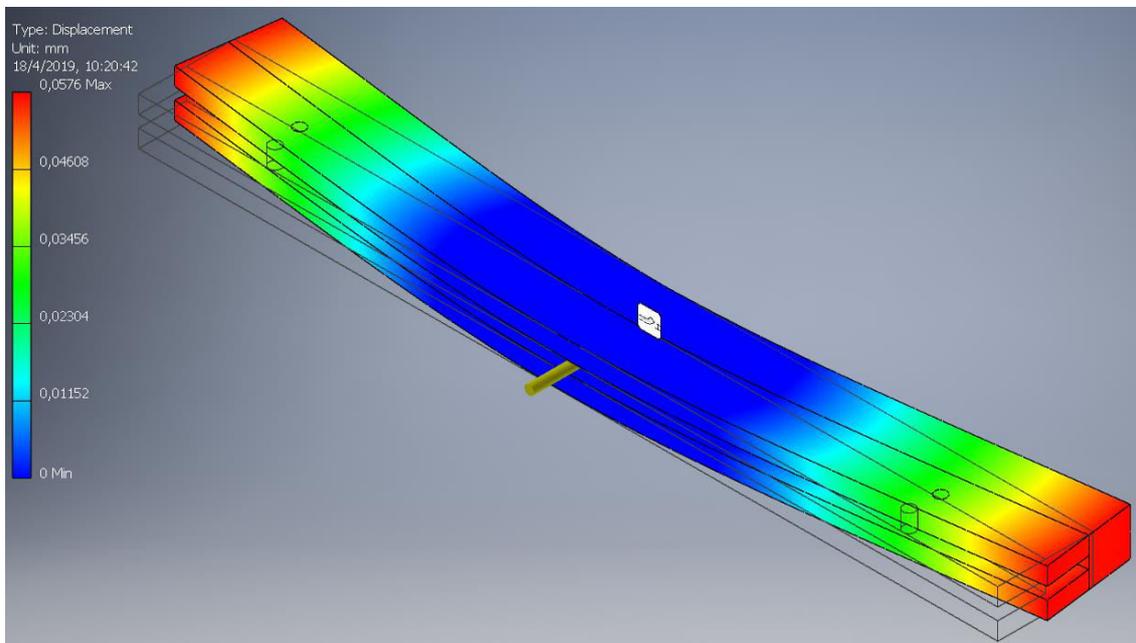
El diseño es el de la imagen, y al poseer una geometría no uniforme, se elige hacer un cálculo por elemento finito.

Las condiciones de borde son, la fuerza máxima que puede ejercer el cilindro neumático de 80mm de diámetro. Sobre la unión roscada entre el vástago del cilindro neumático y la rosca sobre el porta cuchillas

$$F_{max\ teórica} = P * A = 8\ bar * \pi r^2 = 800000 \frac{N}{m^2} * \pi 0.04m^2 = 4021\ N$$

Y por otro la fuerza ejercida por el canto de la cuchilla, sobre el apoyo.

En la siguiente figura se puede observar que la deformación que sufre por el efecto de la fuerza ejercida por la cuchilla, sobre el porta cuchilla, no es significativa sobre el corte. Dicha deformación es del orden de 0,05 mm., es muy baja.



La perfilería por utilizar es:

- Barras cuadrada de 1"
- Planchuela de 1" x 3/8"

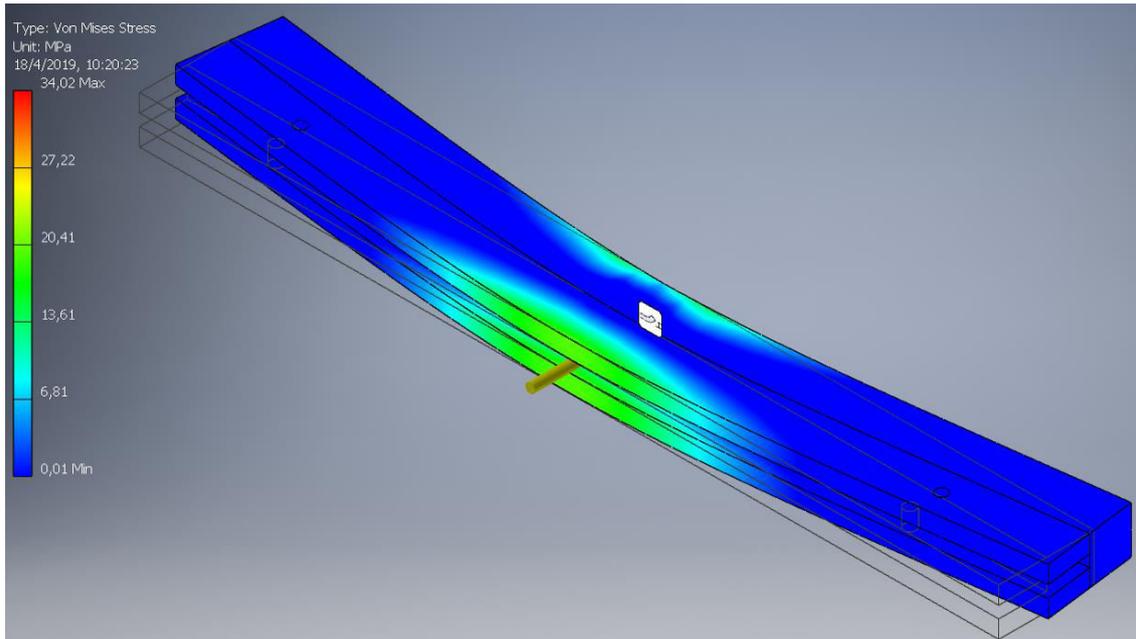
de acero de uso comercial mecánico, SAE 1010, cuyo $\sigma_{fluencia} = 25 \frac{Kg}{mm^2} = 245\ MPa$.

Según el criterio de Faires, para aceros y metales dúctiles y un tipo de carga repetida en una dirección, gradual (choque suave), basado en la resistencia de fluencia, el valor del coeficiente de seguridad es de 3.

Entonces, definimos para el acero al carbono un $\sigma_{admisible} = 81\ MPa$

La tensión combinada máxima por el método de Von Mises que se observa es de 34,02 Mpa, estando dentro de los límites para el material empleado

DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS



Selección del cilindro neumático para accionar la cuchilla

De ensayo empírico se obtiene que la fuerza de corte necesaria para una banda es de aproximadamente 1000N. En el caso de un desgaste de la cuchilla esta fuerza la consideraremos 1500N.

La cinemática del corte está dada por realizar 69 cortes por metro de banda en un tiempo de 2 segundos por paso de corte.

La velocidad del cilindro de corte tiene que ser superior a 120mm/2s, en promedio, ya que también hay que hacer el traslado de la banda.

Cilindros normalizados DSBC, ISO 15552

FESTO

Hoja de datos

ATEX ¹⁾	
ATEX, categoría gas	II 2G
Protección antideflagrante para gas	Ex h IIC T4 Gb
ATEX, categoría polvo	II 2D
Tipo de protección contra explosión, polvo	Ex h IIIC T120°C Db
Temperatura ambiente con peligro de explosión	-20 °C ≤ Ta ≤ +60 °C
Marcado CE (ver declaración de conformidad)	Según la directiva de protección contra explosiones de la UE (ATEX)

1) Tener en cuenta la certificación ATEX de los accesorios.

Fuerzas [N] y energía del impacto [J]							
Diámetro del émbolo	32	40	50	63	80	100	125
Fuerza teórica con 6 bar, avance	483	754	1178	1870	3016	4712	7363
Fuerza teórica con 6 bar, retroceso	415	633	990	1682	2721	4418	6881
Energía máx. de impacto en las posiciones finales							
DSBC-...	0,4 ¹⁾	0,7	1,0	1,3	1,8	2,5	3,3
DSBC-...-L/-U/-T1/-T3/-T4	0,2 ¹⁾	0,35	0,5	0,65	0,9	1,25	1,65
DSBC-...-L1	0,1	0,2	0,3	0,4	0,9	1,25	1,65

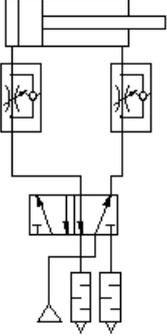
1) En combinación con el kit de brida basculante DAWT, la energía máx. de impacto admisible es de 0,1 J.

Según tabla podemos elegir un cilindro de 63mm de diámetro de émbolo, nos asegura realizar la fuerza de corte necesaria.

Comprobamos por el simulador de la página del fabricante, en este caso FESTO.

Este nos avisa que la velocidad requerida no es válida para el cilindro necesitado.

Simular el sistema y optimizar los resultados



Flujo
6.4 Revoluciones abiertas

Haga click sobre el tipo de código del componente que Ud. quiere seleccionar o modificar

Accionamiento	DSBC-63-60-PPSA-N3
<input type="checkbox"/> Amortiguador	
Válvula de estrangulación de retención	GRLA-3/8-QS-10-D
Tubo flexible [Cil. > Válvula]	PUN-H-10x1,5-BL (1 m)
Válvula de vías	VUVS-L30-M52-MD-G38-1C1
Tubo flexible [Fuente > Válvula]	PUN-H-10x1,5-BL (1 m)
Silenciador	U -3/8

Presión de funcionamiento: 6 bar

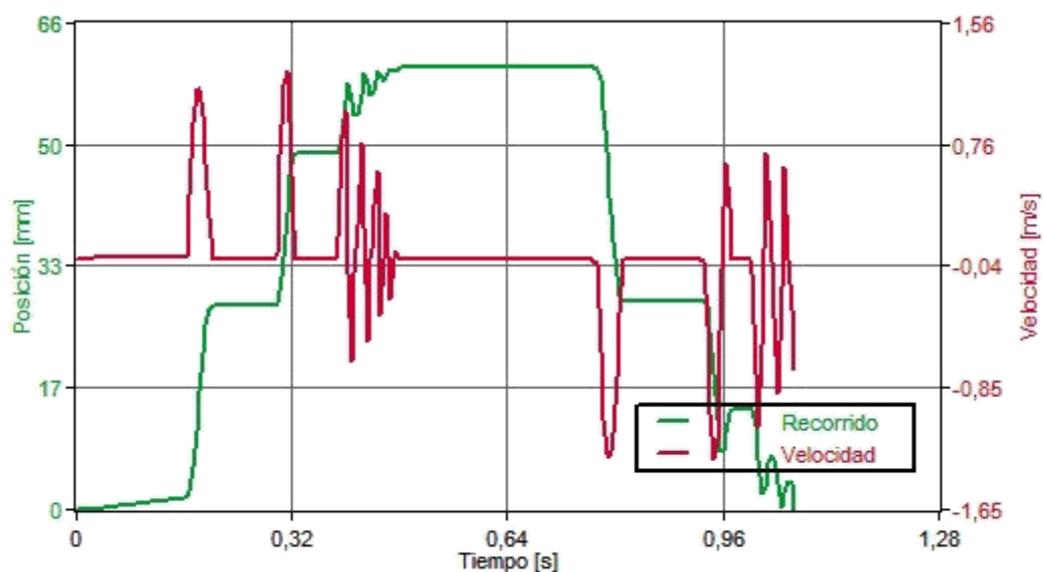
Dirección del movimiento: extender, retirar

Ciclo de trabajo completo

La velocidad seleccionada no es válida - por favor reducirla

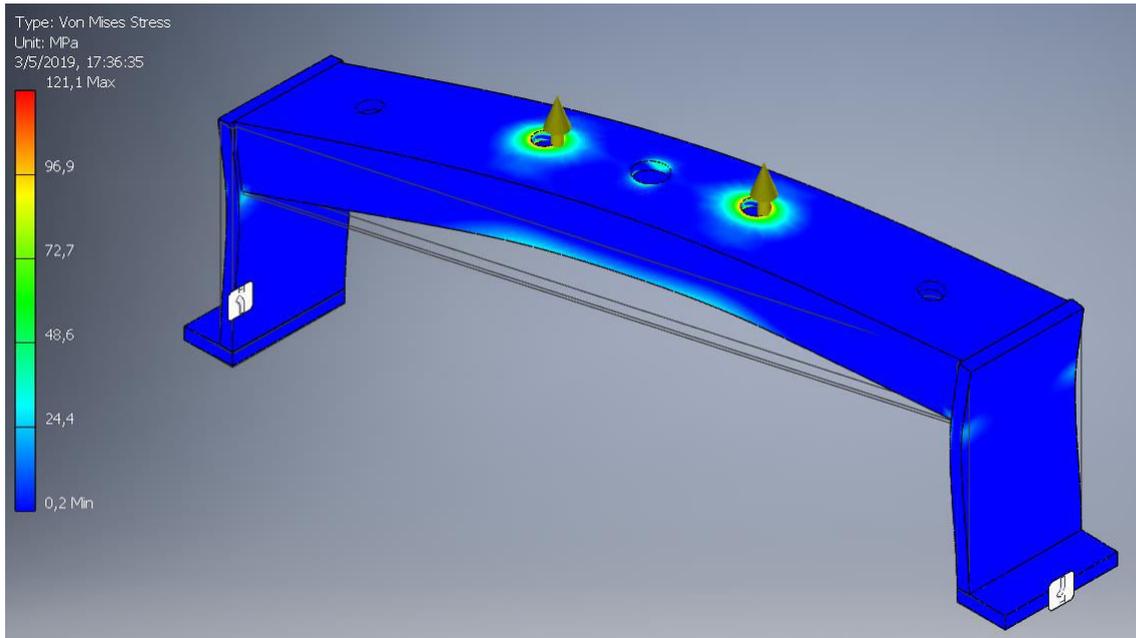
[< Atrás](#)

Iteramos el cálculo, seleccionando un cilindro de mayor diámetro, de 80mm de diámetro, y comprobamos nuevamente. El resultado es satisfactorio, está dentro del rango de las velocidades requeridas para cumplir con la velocidad de corte requerido. Teniendo en cuenta el caso más desfavorable, (Ver anexo).



Puente de corte

Este elemento es el arco donde va sujetado el pistón neumático, por lo tanto, tiene que soportar el esfuerzo producido para el corte. La fuerza máxima teórica que tiene que soportar es de 4021N, según lo calculado anteriormente, para el caso más desfavorable donde se fuerce todo el sistema, por algún motivo en particular. Igualmente, la fuerza de corte teórica cíclica es de 1500N. Se diseña la estructura con perfil UPN 80, y planchuelas de 3 ½" x 3/8". Debido que el perfil posee modificaciones, es decir agujeros varios donde se abulona y pasa el cilindro neumático, se utiliza el método por elemento finito para calcular la estructura sometida a esfuerzos.



La tensión máxima está limitada al apoyo de los bulones sobre la estructura, a un máximo de 121 MPa.

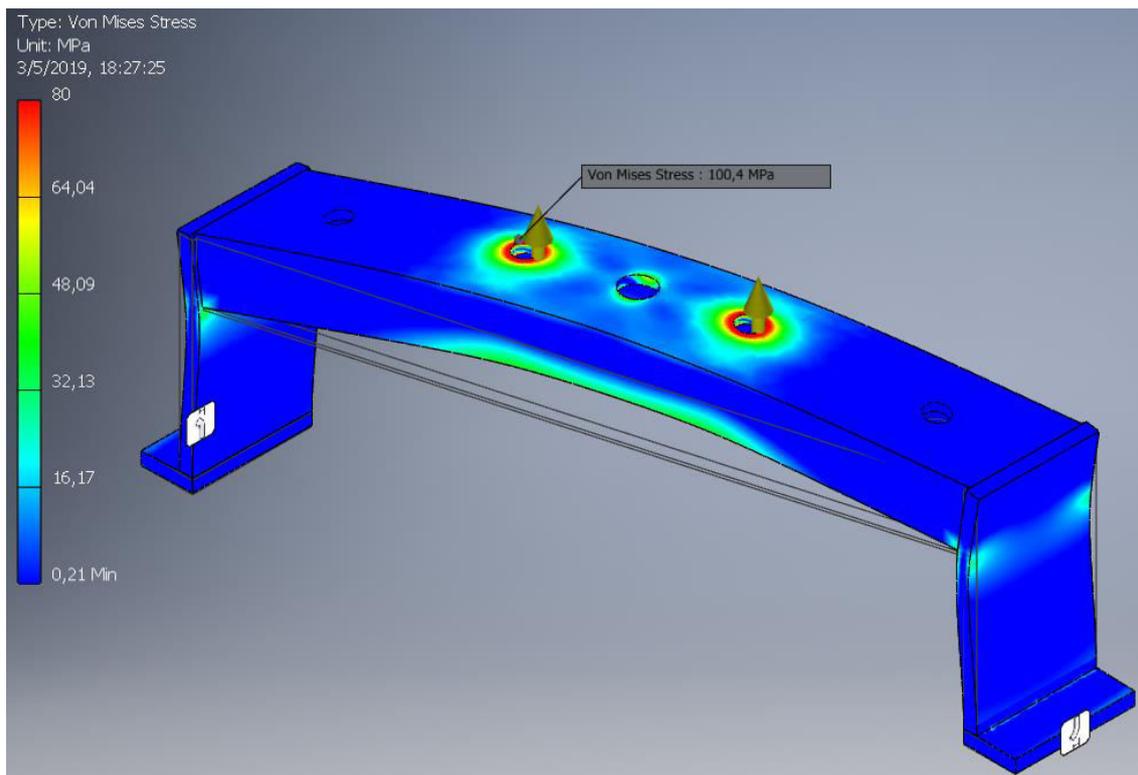
Según catálogo de fabricante de perfilería esta cumple con la norma IRAM-IAS U500-503/12 grado F-24, el límite de fluencia mínimo es de :240 MPa, por lo que no sufrirá deformación plástica. (Ver tabla Características Mecánicas)

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

Designación del acero		Límite de fluencia mínimo (R _e) (MPa)			Resistencia a la tracción mínima R (MPa)	Alargamiento de rotura A (%) L _o = 5,65 √ S _o		Doblado a 180° sobre calza de:		
Actual	Anterior	e < 16	16 < e < 40	40 < e < 63		e < 40	40 < e < 63	e < 16	16 < e < 40	40 < e < 63
F-19	A-33	190	-	-	330	18	19	3 e	3 e	3 e
F-20	A-34	210	200	190	340	28	27	0,5e	1 e	1 e
F-24	A-37	240	230	220	370	25	24	1 e	1,5e	1,5e
F-26	A-42	260	250	240	420	22	21	1,5e	2 e	2 e
			16 < e < 25	25 < e < 40						
F-36	A-52	360	350	340	330	520	22	21	2,5e	3 e
F-45	A-55	450	430	410	400	550	19	18	2,5e	3,5e
F-30	A-50	300	290	280	270	500	20	19	-	-
F-34	A-60	340	330	320	310	600	15	14	-	-
F-37	A-70	370	360	350	340	700	10	9	-	-

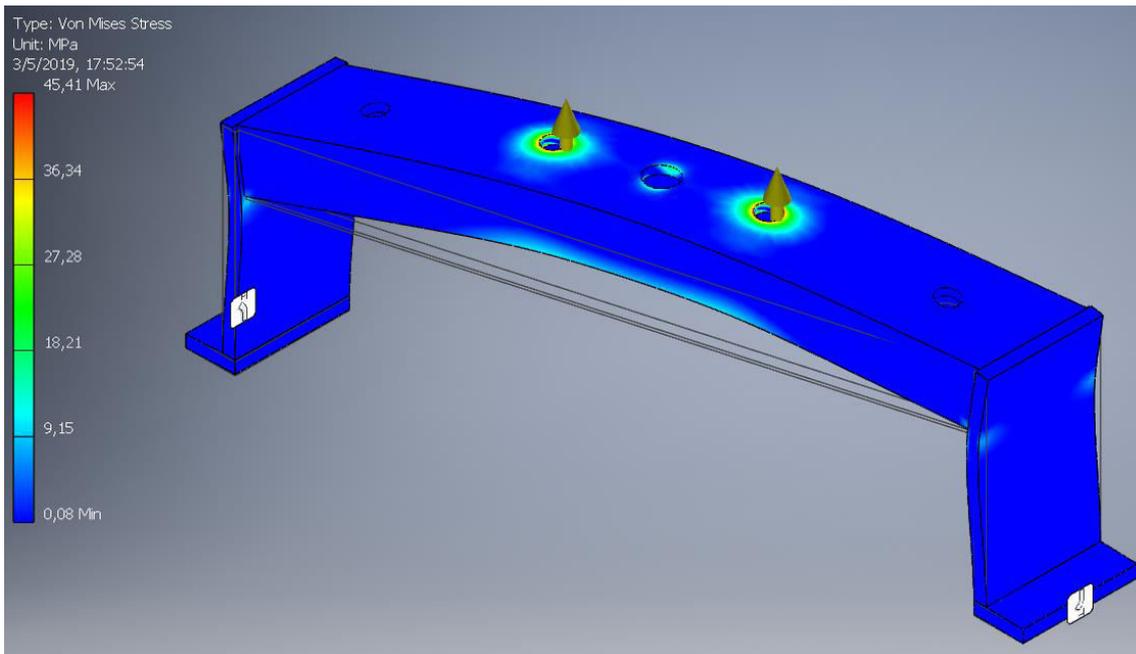
e: el espesor nominal del producto, en milímetros
10 MPa ~ 1 kgf/mm²

En el siguiente grafico se acota la escala grafica para aumentar el detalle en toda la estructura.

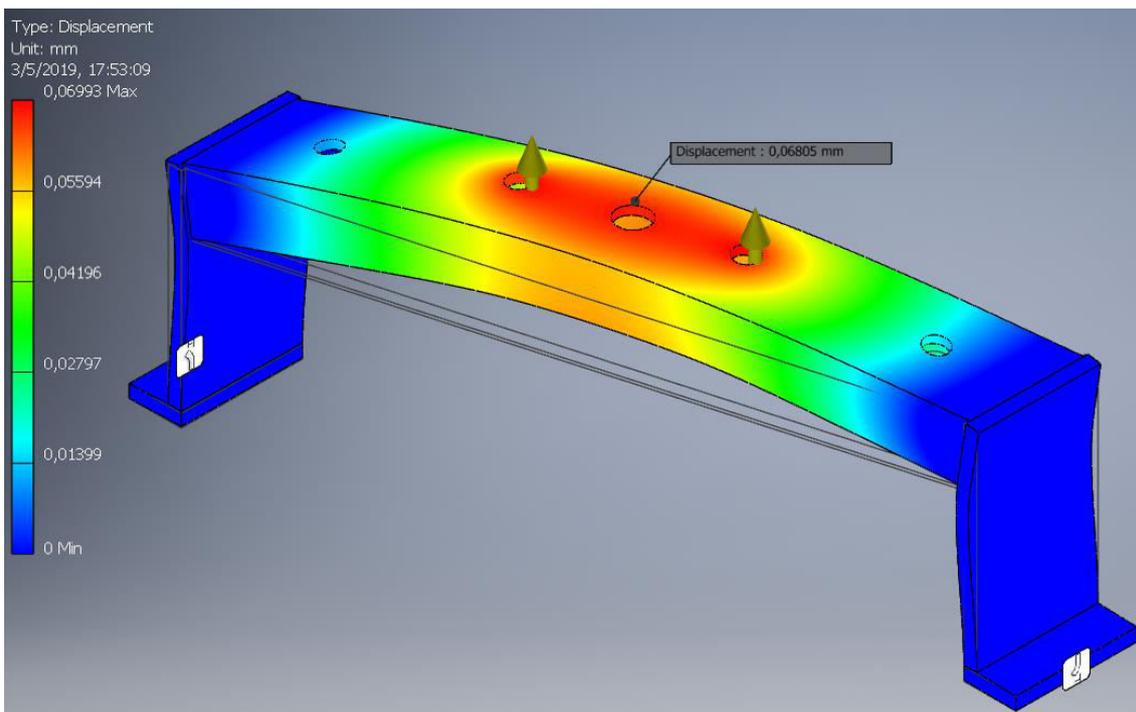


En los casos donde la fuerza ejercida por el pistón es de 1500 N, se observan las siguientes tensiones y deformaciones.

DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS



Tensión máxima es de: 45,41 Mpa.

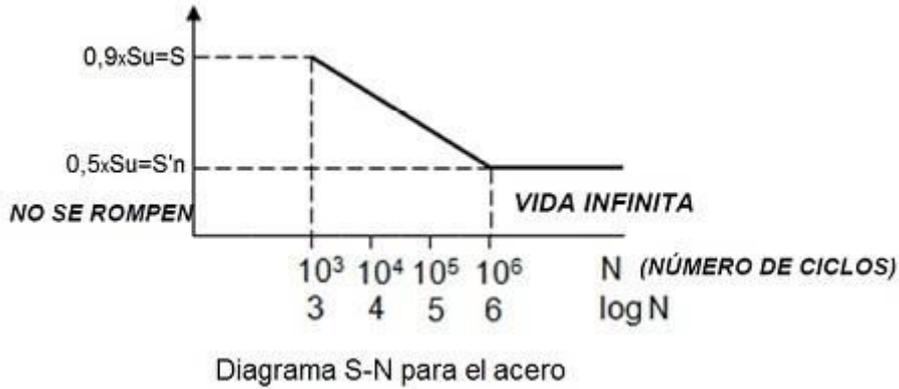


La deformación, la flecha máxima es de 0,07mm. Este valor no es significativo al momento de realizar el corte.

Calculo a la fatiga

Se realizará un cálculo a la fatiga, ya que las cargas son cíclicas. En el caso que se realicen 800 neumáticos mensuales en una planta, son 9600 anuales, si cada banda tiene un desarrollo de 3420mm y un corte cada 14,5 mm, tenemos 2264276 cortes por año. Por ende, es necesario que la tensión máxima este por debajo del límite de Fatiga para vida infinita.

DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS



Para nuestro cálculo

$$S = 0,9 * 370 \text{ Mpa} = 333 \text{ Mpa.}$$

$$S'n = 0,5 * 370 \text{ Mpa} = 185 \text{ Mpa}$$

El nuevo límite a fatiga (S_n) será calculado a partir del teórico anterior obtenido de los ensayos ($S'n$), pero afectado de los distintos coeficientes correctores que recojan la influencia de los distintos factores de acuerdo con las condiciones reales de trabajo:

$$S_n = C_a \cdot C_b \cdot C_c \cdot C_d \cdot C_e \cdot S'n$$

donde,

S_u = límite de rotura

S_n = límite de fatiga real

$S'n$ = límite de fatiga teórico de la probeta de ensayo ($S'n=185 \text{ Mpa}$)

C_a = coeficiente por acabado superficial ($C_b=0,65$ para nuestro caso)

C_b = coeficiente por tamaño ($C_b=1$)

C_c = coeficiente de confianza ($C_c=1$ 85% de supervivencia)

C_d = coeficiente de temperatura ($C_d=1$)

C_e = coeficiente de sensibilidad a la entalla ($K_t=1,6$; $q=0,7 \rightarrow K_f=1+q*(K_t-1) = 1,42 \rightarrow C_e=0,7$)

$$S_n = 84 \text{ Mpa.}$$

Teniendo en cuenta que la carga cíclica va a ejercer una tensión de 45,41 Mpa. Podemos decir que la pieza trabajando a esfuerzos normales de cálculos está dentro del rango de vida infinita. Dando un factor de seguridad 1,85, para este caso.

Por otro lado, el apoyo de la banda sobre la mesa transmitiría sobre esta un gran esfuerzo, y la mencionada, está construida con chapa negra de un espesor de 3/8, lo cual no resistiría. Por esta razón se coloca un perfil UPN 80 debajo para contrarrestar la reacción por el corte.

Del informe se obtiene que la tensión máxima combinada, cuando se somete a un esfuerzo de corte de 4021N es de 47,55 Mpa.

DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

Selección de bulones para sujeción de los elementos de la estructura de corte

La unión entre el cilindro de corte y la estructura se hace a través de una brida, esta va fijada con bulones. Tenemos la situación de hipótesis de carga máxima 4021N, y por otro lado la carga cíclica de corte teórica máxima de 1500N.

Por un lado, calcularemos la resistencia en la situación de carga máxima, la cual se repartirá entre dos bulones. Debido a defectos de montaje, de mecanizado, etc. Consideraremos una variación del 2%. Dicha fuerza resulta en 2050N para cada bulón.

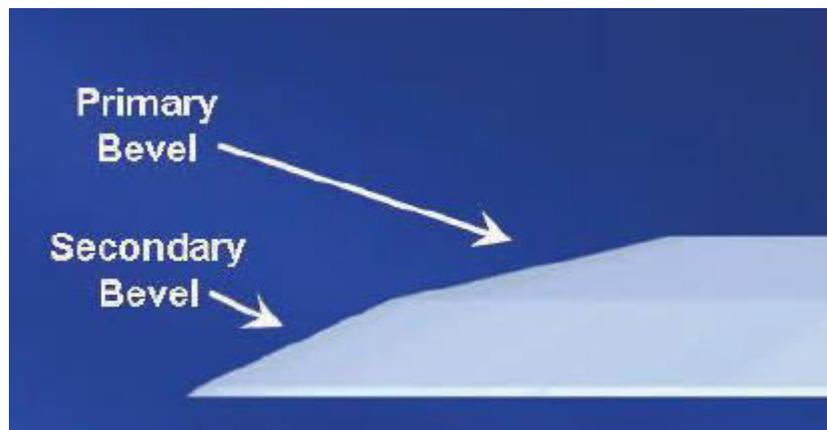
Por otro, la fuerza cíclica de corte es de 1500N, repartido en los dos bulones teniendo en cuenta la variación es de 765N.

El cálculo nos indica que es apropiado la utilización de dos bulones de 12mm de diámetro, del tipo de calidad 8.8.

Selección del elemento de corte

El elemento que va a realizar el corte parcial sobre el caucho es la cuchilla. La misma para tener la mayor eficiencia de corte va a requerir de un diseño adaptado a la tarea a realizar.

Debido que al material a cortar el blando, es decir el caucho tiene una dureza muy baja comparado con otros materiales como el acero, vidrio, etc. Y además necesitamos que el corte se produzca lo más rápidamente nos favorece un perfil de cuchilla de bisel compuesto, es decir que tenga un bisel primario, y otro secundario.



El largo tiene que ser de 458mm, con una altura efectiva de corte de 50mm, y un espesor máximo de 5mm.

Se puede seleccionar tanto por catálogo o hay varias empresas que se dedican a la fabricación de cuchillas a medidas, por ejemplo, Hyde Industrial Blade Solutions.

Diseño y cálculo del circuito electroneumático.

Debido a que la fuente de energía para realizar los cortes y los movimientos es a base de la neumática, tenemos que detallar el circuito a utilizar y sus elementos.

Primero vamos a establecer la lógica, condiciones y secuencias de movimientos:

1. Botón, pulsador o llave de encendido.
2. Pulsador de corte de emergencia.
3. Acción sobre el pistón neumático de tracción.
4. Retroceso sobre el pistón neumático de tracción.
5. Acción sobre el pistón neumático de corte
6. Retroceso sobre el pistón neumático de corte.
7. Repite ciclos 3 a 6 hasta terminar proceso.

Los cilindros se eligen de simple efecto ya que la fuerza a realizar es en una sola dirección. Nos permite un ahorro de aire importante y también la utilización de válvulas más simples, por ende, menores costos.

Cálculo de consumo de aire.

Cilindro de corte: 5,8 l por ciclo.

Cilindro de tracción: 0,2 l por ciclo

De los alcances y preselección de elementos neumáticos, calculamos y verificamos.

- 18,81 metros de banda /hora. → 0,32 metros de banda/minuto. Este ritmo de proceso no nos permite tener tiempos muertos para colocar las bandas, retirarlas, y hacer ajustes de ser necesarios. Para realizar estas tareas se asume un tiempo de 3 minutos por banda. **Se tiene un promedio de 0,432 m/min por banda para procesar → 30 ciclos por min.**
- Del dato anterior hay que fraccionar el tiempo de traslación y el de corte. Se tiene 2 segundos por corte. El 25% del tiempo es para trasladar, el tiempo restante para cortar.

Caudal total: $6 \text{ l/ciclo} * 30 \text{ ciclos} / 1 \text{ min} = 180 \text{ l/min}$.

De este dato no podemos obtener las válvulas. Ya que los caudales que circulen por ellas deben ser mayor, porque los movimientos son alternativos.

El cilindro tractor y válvula

Tiempo total de accionamiento 25% de 2s → debe cumplir un ciclo en 0,5s

Caudal necesario para el accionamiento es $0,2 \text{ l/ciclo} * 1 \text{ ciclo}/0,5\text{s} = 24 \text{ l/m}$.

DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

El cilindro de corte y válvula.

Tiempo de accionamiento 75% de 2s, este a su vez se divide en 75% corte y 25% tiempo de retorno de la cuchilla → debe cumplir el corte en 1,125s

El caudal necesario para el accionamiento es

Caudal necesario para el accionamiento es $5,8l / \text{ciclo} * 1 \text{ ciclo} / 1,125 \text{ s} = 310 l / \text{min}$.

Elementos neumáticos

El caudal total es de 334 l /min.

La válvula seleccionada para el cilindro tractor es: MEH-3/2-1/8-B de la empresa FESTO.

Supera ampliamente el caudal necesario, por lo que se necesita un regulador para controlar la velocidad. Puede ser que la inercia sea tal que la banda deslice sobre los rodillos tractores y el corte no respete el paso.

La válvula seleccionada para el cilindro de corte es: MEH-3/2-1/8-B de la empresa FESTO.

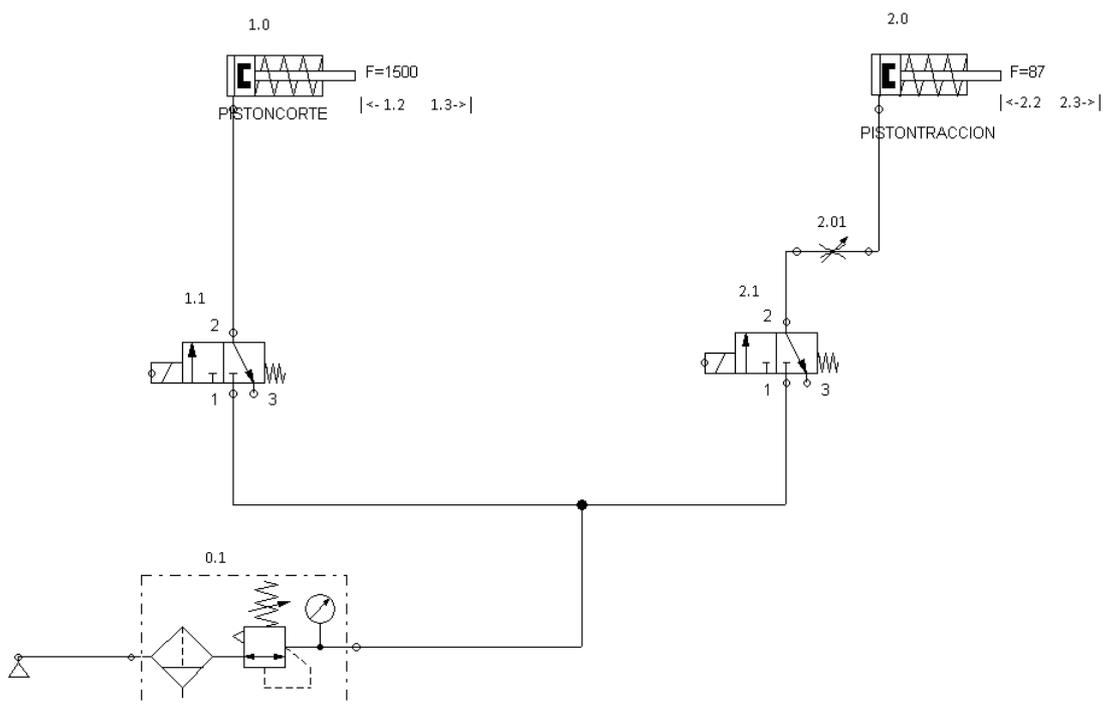
En este caso no necesitamos regular la velocidad de corte, ya que, si es mayor a la calculada, nos beneficia.

La unidad de mantenimiento seleccionada es: MSB4 de la empresa Festo.

La válvula de regulación de caudal: GRLA-3/8-B

Se adjuntan las hojas de datos de los elementos seleccionados.

Diagrama neumático



Control y sensores

El control se realiza sobre un sistema de control programable tipo PLC o similar, con la lógica establecida anteriormente.

Y los sensores necesarios son de fin de carrea, para los cilindros. Pueden ser tanto de detección magnética o mecánicos.

El paro de emergencia se selecciona un pulsado de corte eléctrico sobre las bobinas de las válvulas lo cuales retornaran automáticamente a la posición de retorno, liberando la zona de corte.

Requisitos para la selección del dispositivo de control:

- 2 salidas digitales de 24VDC (2 accionamientos sobre las bobinas)
- 6 entradas digitales de 24VDC (encendido/apagado, paro de emergencia, 4 sensores de posición.)

Conclusión

Según los cálculos obtenidos del confeccionado documento obtenemos los siguientes datos:

- Consumo total de aire es de 334 l/min.
- Consumo eléctrico de aproximadamente 100W.

Una planta tipo de reencauche tiene instalado un compresor de 10 HP. Seleccionamos uno disponible en el mercado para hacer el cálculo del costo operativo. Sullair Línea ES 6 - 10,0 L

En KW la potencia es de 7,46 con una capacidad de comprimir 1,11 m³ /min de aire a 7 bar de presión.

Es decir que para producir 0,334 m³ se necesita una potencia de 2,24Kw

El costo del KW por hora de una conexión tipo T1GA es de \$4,46 KW/h. No da un costo operativo por día de aproximadamente \$84/día.

Procesar 44 bandas, es un total de 2030Kg de banda. El costo del Kg de banda es de \$242.

El costo extra en comprar dicha cantidad con las bandas procesadas es de: \$24563.

Se justifica el costo operativo de la máquina.

Además, también se justifican los beneficios que se obtienen de procesar las bandas. Es valor agregado al producto, lo cual ayuda a distinguirse y fortalecer sobre el mercado.

Anexos

Anexo #1 - Ampliación de conceptos teóricos

Parte 1

Cauchos usados para recauchutado del neumático

Caucho natural (NR)

Es el elastómero básico más ampliamente utilizado en todas las categorías de la industria de recauchutado del neumático. NR tiene excelentes propiedades mecánicas y de procesamiento, con excelentes características de adherencia sobre neumáticos desgastados. Este caucho se utiliza en gran parte en los neumáticos de camión debido a la adherencia presente en las rutas y las características de acumulación del calor.

El NR contiene generalmente el cerca de 93% de NR (también simplemente llamado hidrocarburo), más ciertas sales inorgánicas y materiales orgánicos. La alta resistencia a la tracción de la goma en este elastómero se debe a la cristalización en el estiramiento de su cadena. Las resistencias a la tracción de diferentes cauchos que se pueden utilizar para recauchutado de neumáticos se ilustran en la figura 1,1.

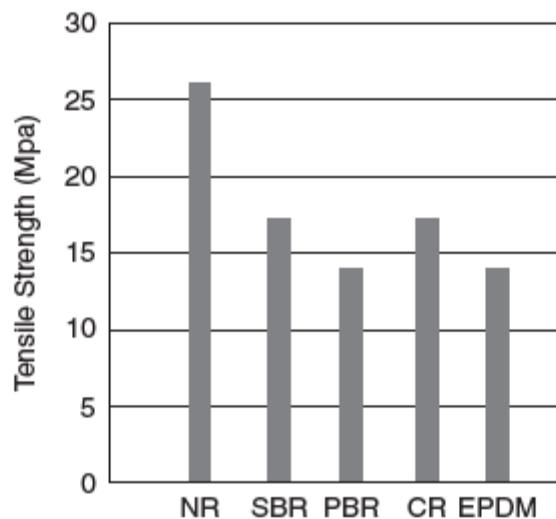


Figura 1,1 Resistencia a la tracción de 1

Propiedades del caucho natural (NR)

Se compone de cadenas polyisopreno con una estructura cis-1, 4. Las viscosidades de NR, para ser aptas para el uso en recauchutados de neumáticos, varían en la gama de 60 – 75 unidades Mooney.

Una viscosidad más alta indica un MW más alto, conduciendo a las dificultades en el proceso durante la mezcla, la extrusión y el calandrado.

Tener la viscosidad correcta del caucho crudo es esencial para lograr perfiles sin defectos: en el proceso de calandrado, sobre el molde de la banda de rodadura y el caucho de extrusión para relleno.

Con el fin de controlar las variaciones en la calidad del NR se establecieron varios parámetros técnicos, a través de la organización internacional de normalización (ISO). En 1964 para la producción de cauchos técnicamente especificados (TSR) como el caucho malayo estándar (SMR), caucho indonesio estándar, caucho estándar de Sri Lanka, caucho tailandés estándar y caucho natural estándar indio. Estos estándares proporcionan los límites específicos para la suciedad, cenizas, nitrógeno, materia volátil y el índice de retención de la plasticidad (PRI), entre otros. La viscosidad constante (CV) para NR (entre 45 y 55) o en el rango de 55 – 65 unidades Mooney (p. ej., SMR 5 CV), puede ser producida por tratamiento con sales hidroxilamina en fase húmeda. Este grado se puede utilizar en caucho de extrusión, para bandas de rodaduras o en los compuestos del cemento que dan grados de CV dentro del nivel estable de 45-55 o en la gama de 55-65 unidades de Mooney.

El PRI del caucho crudo es una prueba utilizada para evaluar el nivel de resistencia a la oxidación de NR. Los valores superiores del PRI indican una alta resistencia a la avería, e indican la presencia de contaminación metálica en el caucho, que puede acelerar la degradación oxidativa. Incluso las cantidades de sedimentos de metales como el hierro, el cobre y el manganeso pueden actuar como catalizadores y elevar la oxidación del NR. El valor superior del PRI también implica una temperatura más alta de mezclado, y puede afectar el envejecimiento del compuesto del caucho durante servicio.

Las normas ISO especifican seis grados diferentes de NR según un conjunto de reglas que figuran en los estándares nacionales de las especificaciones técnicas de cada país (TSR).

Se clasifican en características técnicas, más bien que en distinciones visuales. Para cada grado, los instrumentos prueban el contenido de la suciedad, contenido de la ceniza, contenido de la materia volátil, contenido del nitrógeno, plasticidad y color. Para una conformidad se sigue los métodos de la prueba prescritos por ISO.

Caucho Estireno-butadieno

En el compuesto de la banda de rodadura cuando está mezclado con NR, el copolímero sintético de uso general, el estireno y el butadieno, es eficaz para reencauchar todas las categorías de neumático.

Un copolímero al azar de los monómeros antedichos está disponible comercialmente como uno de dos tipos principales: (i) emulsión SBR y (II) solución SBR. En comparación con el proceso de emulsión, el método de solución ofrece una distribución de MW más estrecha con mayor contenido de estructura CIS-1, 4 y menor temperatura de transición de vidrio (TG) al elastómero. Sin embargo, la solución SBR ofrece mayor flexibilidad que los grados de emulsión (una propiedad significativa para aplicaciones de neumáticos).

Generalmente, el cociente del monómero para el estireno y el butadieno al producir SBR es 30:70.

La polimerización se realiza en procesos "fríos" o "calientes". La polimerización en frío se realiza a 4 °C, y en caliente a 42 °C.

Las mezclas de caucho de recauchutado de neumáticos se eligen por las siguientes razones:

- Buena procesabilidad
- Excelente preparación y resistencia en verde

- Baja tasa de crecimiento del corte
- Buena resistencia al derrape
- Baja histéresis
- Alta resistencia al desgaste
- Buena eficacia a la rodadura
- Estabilidad a la termo-oxidación
- Compuesto económico

Los factores importantes son las características dinámicas que son relevantes a diversos requisitos de servicio, incluyendo características mecánicas tales como fuerza a la tracción, alargamiento en la rotura y resistencia a la abrasión.

Los compuestos de caucho para bandas basados en SBR del tipo de solución demuestran mejores características dinámicas, incluyendo una elasticidad más alta, una alta flexibilidad y una acumulación más baja del calor. Estas características importantes pueden ser requisitos en neumáticos para automóviles, autobuses, y las composiciones del recauchutado del neumático para camiones. La solución SBR en la banda puede también impartir un mejor agarre, una resistencia más baja a la rodadura y una vida de servicio más larga.

Caucho polibutadieno (PBR)

Se fabrican con el método de polimerización en solución con catalizadores organometálicos complejos. Existen dos categorías principales de polibutadienos polimerizados por solución que se han convertido en cauchos comerciales significativos:

- Alto cis-polibutadieno (1, 4-polibutadienos)
- Medio cis-1, 4 polibutadieno

En los usos de recauchutado de neumáticos, el PBR no se utiliza solamente como polímero base, es debido a su pobre resistencia y baja resistencia en verde. Así la adherencia a los substratos es similar a otros cauchos del tipo dieno, y la adición de resinas y de un promotor compatible con la adherencia en las mezclas puede promover adhesividad y facilitar el proceso de la fabricación durante el recauchutado.

La mezcla correcta de PBR con NR en proporciones apropiadas, mejora las propiedades de la banda de rodadura, como la adherencia, la abrasión y la resistencia a la rotura. Cuando también es mezclado con SBR junto con NR, puede proporcionar mejoras en la resistencia al crecimiento de las fisuras.

Propiedades efectivas de caucho polibutadieno para recauchutado

La resistencia a la tracción del PBR es inferior a la de SBR, pero esta diferencia disminuye a temperaturas elevadas. Conservan bien su resistencia a temperaturas elevadas.

Las propiedades excepcionales de base, incluyendo la resistencia elevada, la excelente flexibilidad a baja temperatura y la excelente abrasión, son significativas en comparación con los polímeros NR, SBR o EPDM. Cuando se compara PBR con NR, la resiliencia de rebote es mejor a bajas temperaturas, pero el NR tiene una resiliencia de rebote más alta a temperaturas elevadas. Comparado a NR, el módulo dinámico y el módulo de pérdida son más altos en caucho del butadieno. La resistencia a la tracción y la resistencia al desgarro más baja del polibutadieno previenen su uso en usos del neumático en concentraciones más altas.

Debido a su menor resistencia a la tracción, se mezcla generalmente con NR para mejorar esta propiedad considerablemente.

Para la comparación, las propiedades físicas de diferentes elastómeros utilizando el grado ISAF de refuerzo de negro de carbono en el nivel de 50 phr, con PA añadido y curativos, se muestran en la tabla 1,6.

Property	NR	SBR	PBR
Hardness (Shore A)	68	65	64
Tensile strength (MPa)	24	20	16
300% modulus (MPa)	12	9	8
Elongation at break (%)	550	480	500
Rebound resilience (%)	70	60	75
Heat build-up (°C)	15	22	15

Cauchos de propileno de etileno

EPDM es un terpolímero, polimerizado a partir de etileno, propileno y un pequeño porcentaje de dieno. El dieno proporciona insaturación en la cadena lateral o el colgante para ofrecer los sitios para reticular.

El EPDM disponible en el mercado generalmente contiene 4-5% en peso de dieno y el 30-70% es etileno. La viscosidad del EPDM está en el rango de 45-120 unidades Mooney. Puede ser mezclado con NR en cierta proporción para alcanzar algunas de las características específicas necesarias para el uso en compuestos de bandas para neumáticos.

Una alta proporción de etileno o propileno en caucho ofrece mayor resistencia a la tracción y al alargamiento. Al aumentar el contenido de etileno, el producto final muestra una mayor dureza, una alta resistencia en verde y una mayor resistencia a la tracción, así como una resiliencia al rebote mejorada. Ofrece resistencia excepcional a la exposición del oxígeno, del ozono y de los rayos ultravioleta debido a su cadena principal saturada.

Las siguientes son algunas de las propiedades especiales de EPDM:

- Gravedad específica muy baja
- Muy buenas propiedades mecánicas, muy alta ampliación
- Impermeabilidad a gases y agua
- Absorción de humedad muy baja
- Excelente resistencia al calor y al envejecimiento
- Resistencia a los rayos UV y al agrietamiento oxidativo debido al ozono
- Excelente flexibilidad a baja temperatura (punto frágil muy bajo y TG)
- Excelente resistencia a los productos químicos
- Buena resistencia a los aceites animales y vegetales

Para realzar las características físicas de los cauchos de EPDM, la incorporación de refuerzos de negros de carbón y blancos en los compuestos es esencial. En la figura 1,1 se presenta una representación gráfica de la resistencia a la tracción reforzada del caucho EPDM.

El caucho de EPDM no es conveniente por si solo para el uso en las bandas de neumático, debido a su carencia de adhesividad y de características físicas no muy buenas. La insuficiente adherencia de los compuestos puros impedirá la fabricación y adhesión con la carcasa de los neumáticos usados. Por lo tanto, se requiere la mezcla con el NR y el uso de resinas adherentes para realzar las características físicas y la adhesividad del compuesto en verde para los propósitos del recauchutado. Los aceleradores de caucho comunes son convenientes para curar el terpolímero no saturado EPDM, pero en una dosificación más alta que las utilizadas generalmente para los cauchos insaturados.

Caucho reciclado

Recuperar es la técnica predominante para el reciclaje y recobrar parcialmente los residuos de caucho. El método estándar de reivindicación es termo-oxidativo o reprocesamiento del caucho vulcanizado.

El caucho regenerado o de recuperación es producido tratando el caucho de desecho vulcanizado tal como es el de los neumáticos, de las cámaras y otro tipo de residuos de los productos del caucho.

Los desechos de caucho son molidos a través de la aplicación de calor, entonces se logra la desvulcanización del polímero. Este método es eficazmente despolimerización, pero sin la eliminación de azufre combinado. El resultado del material recuperado puede ser tratado como un elastómero y utilizado con caucho virgen en un nuevo compuesto y ser luego vulcanizado para formar cauchos personalizados.

Mientras se recuperan los desechos de caucho vulcanizados el MW disminuye y ocurre la escisión en la cadena. Durante la despolimerización de enlace cruzado del caucho, se produce una ruptura en la molécula.

Los siguientes pasos de procesamiento se realizan para producir caucho de recuperación:

- Categorización y molienda de los desechos.
- Eliminación de fibras textiles y metales de la goma.
- Desvulcanización
- Tratamiento del caucho desvulcanizado por medios mecánicos

El caucho reciclado se puede producir de manera más económica que el caucho original. Por lo tanto, se utiliza extensamente como materia prima para facilitar el proceso y también por las consideraciones económicas. Puede reemplazar una proporción de caucho nuevo (natural o sintético) sin tener mucho efecto sobre las propiedades físicas del compuesto de recauchutado. Sin embargo, las características físicas de los compuestos de las bandas tal como la resistencia a la tracción, resistencia al desgarro, resistencia a la abrasión se decrementan si la proporción de caucho recuperado se aumenta demasiado.

Un grano fino o una variedad extruida de este caucho se puede también agregar en pequeñas proporciones a las formulaciones del caucho para las bandas y el caucho de relleno sin afectar considerablemente sus características físicas. De hecho, el caucho recuperado puede tener mejores propiedades de extrusión y características de calandrado. Ver Tabla 1,8.

Hay varios métodos para producir el caucho recuperado comercialmente, pero las siguientes son las técnicas industriales principales:

- Proceso a través de digestor
- Proceso pan (olla / sartén)
- Proceso “reclaimator”

En el proceso de producción de residuos de caucho, este (que se encuentra vulcanizado) se trata térmicamente durante largos periodos a una temperatura de alrededor de 200 – 250 ° C. El caucho vulcanizado es despolimerizado a esta temperatura, y se genera el caucho de recuperación. Este material se puede utilizar de nuevo en combinación con los compuestos de caucho virgen. El proceso de regeneración puede ser acelerado por la adición de productos químicos o agentes recuperadores como (i) Tiofenoles y disulfuros y (II) dixylyl disulfuro o Fenilsulfuro Alquilado (usualmente utilizados para la recuperación de caucho sintético).

Proceso a través de digestor

Los trozos de goma son cortados de 6-8 mm de tamaño, libres de tela, y metales, de estar presentes, se separan utilizando un separador magnético. El contenido se transfiere en un digestor con agua, aceites y añadidos. El digestor se calienta con vapor y la temperatura se mantiene a unos 198 ° C durante 4 – 12 h con agitación continua. Después el contenido del digestor se vuelca sobre un contenedor y se transporta a un extrusor para filtrar y refinar. A continuación, se depositan en un tambor, del cual se retiran los materiales en forma de trozos.

Proceso Pan (sartén/olla)

Este método se puede utilizar para recuperar el caucho NR, SBR, CR, NBR y isobutileno – isopreno. La materia prima producida de los desechos de goma vulcanizada es molida en partículas más pequeñas, libre de tela, después mezclado con aceite y otros añadidos y luego es transferido a un vulcanizador calentado por vapor. La calefacción por vapor se realiza a 14 kg/cm² de presión por varias horas, para dar lugar a la desvulcanización. La producción entonces se descarga y se transporta a un molino para refinar y filtrar siguiendo métodos usuales.

Proceso de “Reclaimator”

La mayoría del caucho reciclado disponibles en el mercado se produce utilizando el proceso “reclaimator”. En este método los desechos de caucho vulcanizados sin fibras son molidos hasta obtener una granulometría de 30 mesh. Entonces se calientan a una temperatura de 200 – 260 °C, y calefaccionando rápidamente ocurre la desvulcanización. Con el fin de obtener la plasticidad deseada, el tiempo utilizado es de aproximadamente 3-6 min, y la plasticidad se logra incorporando aditivos como plastificantes y agentes catalíticos en presencia de oxígeno.

Un extrusor a tornillo especialmente diseñado con un cabezal de descarga y con separación regulada funciona como la máquina de “reclaimator”. La alimentación automática de los granos de goma (mezcladas con aceite y agentes químicos) a través de la tolva permite que el proceso sea continuo. El calor generado por el funcionamiento mecánico de la máquina inicia la despolimerización, y el avance de la reacción se controla mediante el ajuste de la holgura del cabezal de descarga. El tiempo de proceso, la temperatura y por lo tanto la calidad requerida del producto se controlan de cerca, y el tiempo de ciclo apropiado es solamente 30 minutos. La materia despolimerizada se mezcla con PA y agentes de refuerzo, posteriormente se cubren y

se forman en losas para uso comercial. Las ventajas significativas del proceso y del coste de usar el caucho de la recuperación en el compuesto de recauchutado del neumático son:

- Menor tiempo de ruptura y tiempo de mezclado; buena dispersión en el caucho virginal debido a la baja tensión.
- Menor consumo de energía durante la mezcla.
- Desarrollo a baja temperatura durante la mezcla y extrusión de la banda de rodadura.
- Extrusión más rápida y uniforme; controla la estabilidad dimensional.
- Incremento y retención al hilvanar el compuesto.
- Baja dilatación y contracción del perfil de la banda de rodadura, láminas de goma; a través de extrusión y calandrado.
- Mayor tasa de curación.
- Reducción del coste del compuesto.

La contracción normal del compuesto con alto contenido de caucho virgen varía de 6% a 10%, y la incorporación del caucho recuperado en el compuesto ayuda a reducir esta variación. El caucho recuperado tiene menos tensión residual, que da lugar a una acumulación interna más baja del calor durante los procesos de la mezcla, de la extrusión y del calandrado.

Table 1.8 Basic specification of reclaim rubber	
Properties	Proportion (%)
Rubber hydrocarbon content	50
Carbon black content	28
Specific gravity	1.12
Volatile matter	1
Acetone extract	14 (maximum)
Ash content	8 (maximum)
Mooney viscosity ML (1 + 4) @ 100 °C	25–55

Caucho pulverizado / granulado

El caucho en forma granular es el material producido por el triturando de los neumáticos, destinado a desecho, en partículas de medida estandarizada. El caucho granulado, o el polvo de caucho cuando se obtiene una consistencia más fina, es proveniente de neumáticos viejos o desechados. Algunos pueden ser usados en formulaciones de recauchutado sin afectar las propiedades físicas del compuesto. Los neumáticos enteros de desecho se pueden transformar como caucho granulado y convertirse en una materia prima eficaz y económica para las bandas de recauchutado. En la utilización del neumático entero, el acero, la tela y cualquier otra materia extranjera se quitan cuidadosamente para dar una constitución granular constante.

Los neumáticos clasificados son granulados por una máquina desfibradora. El proceso adicional se realiza en un molino de galleta, y los gránulos son molidos en un molino de pulido para reducir el tamaño de partícula. Para separar las partículas por tamaño, se tamizan en una máquina (tamizadora vibratoria) provista de una malla adecuada para la aplicación de la banda de rodadura del neumático (una malla de 40 – 80 es adecuada).

Una proporción considerable del granulado se puede incorporar en las mezclas de las bandas dependiendo del tipo y del uso del neumático del recauchutado. Los grados más finos se pueden utilizar en pequeñas proporciones en el compuesto de la banda de rodadura. Usando

correctamente el caucho molido en el compuesto conduce a la buena extrusión y buen calandrado. También ayuda en la eliminación de aire atrapado de perfiles extruidos más gruesos, tales como la banda de rodadura de los neumáticos. Aquí, de nuevo, como Reclaim Rubber, las proporciones más altas pueden afectar las propiedades físicas de la banda de rodadura.

La granulación y el pulido se pueden realizar bajo condiciones de proceso ambientales, pero hay también un método criogénico en el cual el nitrógeno líquido se puede utilizar para congelar las virutas de los neumáticos del desecho en cerca de -80 °C para reducir el tamaño de las partículas granuladas.

La reducción del tamaño de partícula usando este método evita la degradación del caucho por la temperatura, que ocurre mientras se muele en las temperaturas normales.

Las características distintivas de los diferentes elastómeros utilizados para la fabricación de recauchutados de neumáticos se detallan en la tabla 1,9.

Table 1.9 Distinctive characteristics of different rubbers used for tyre retreading						
Properties	NR	PBR	SBR	EPDM	CR	Reclaim rubber
Adhesion to substrate	E	G	G	F	E	VG
Impermeability to air and gases	G	G	F	F	G	F
Abrasion resistance	E	E	G	G	E	G
Resilience	E	E	G	G	G	G
Environmental resistance	P	P	P	E	G	F
Ozone resistance	P	P	P	E	G	P
Resistance to UV light	P	F	F	E	G	F
Resistance to flame	P	P	P	P	G	P
Low-temperature flexibility	E	E	G	G	F	G
E: Excellent F: Fair G: Good P: Poor VG: Very good						

Procesabilidad, caracterización y características de los ingredientes en compuestos de recauchutado del neumático

Los principales requisitos para un perfil de caucho extruido destinado a recauchutado (con el fin de mantener la consistencia) son:

- estar libres de porosidad
- estar libres de ampollas
- que el perfil esté libre de imperfecciones superficiales.

Las características más importantes requeridas en una composición de caucho para recauchutado son la adherencia excepcional con la vieja corona del neumático, muy buena resistencia al corte y desgarró, excelente resistencia a la abrasión y al envejecimiento después de vulcanizar. Las características de proceso para alcanzar la vinculación eficiente de la nueva banda con el neumático usado a largo de la vida del servicio, así como las características mecánicas apropiadas en el producto final y la capitalización económica rentable, deben ser con eficacia desarrollado dentro de la fábrica.

Para lograr estos objetivos, una adecuada formulación de los compuestos, los pasos en la mezcla, extrusión y calandrado, la selección de ingredientes apropiados como el refuerzo con los negros de carbono, las sílices precipitadas, los auxiliares de proceso (PA), el acelerador y el anti degradante, son factores decisivos e importantes. Los parámetros de curado apropiados (curado en frío o curado en caliente) deben ser seguidos estrictamente para lograr las propiedades deseadas para el producto.

En 1864, el fabricante de tintas J.K. Wright de Filadelfia (PA, USA) descubrió el proceso de fabricación de negro de carbono. Las mejoras en la tecnología de producción fueron desarrolladas posteriormente y, a principios de 1900, cuando la empresa de neumáticos Goodrich comenzó a usar negro de carbono, encontraron que mejoraba significativamente algunas de las propiedades de los compuestos de caucho.

El negro de carbón llegó a ser ampliamente utilizado después de 1915 como agente de refuerzo para la producción de neumáticos de automóvil, con el efecto de aumentar durabilidad y resistencia. Después de la adición de 50 phr (por cientos de caucho) de negro de carbono a los compuestos, la resistencia al desgaste en la carretera y la resistencia a la tracción se mejoraron en gran medida.

El material de refuerzo negro de carbono, uno de los principales ingredientes en los compuestos de caucho para bandas, tiene efectos significativos. Sus impactos incluyen alta dureza, extrusión y tasa de curación. Sus efectos sobre características mecánicas tales como resistencia a la tracción, resistencia al corte y fatiga son considerables, pero tiene solamente un impacto medio en la resistencia y el envejecimiento.

En la exposición a la luz solar directa durante un largo período, un neumático puede tornarse cada vez más gris. El neumático también se deteriora gradualmente debido al efecto de la luz ultravioleta (UV). El negro de carbón, cuando está incorporado, absorbe los rayos ultravioletas y protege el neumático.

La preparación de cemento a base de caucho, un compuesto de alto contenido de caucho mezclado con un promotor de adherencia adecuado, tales como colofonia natural, resina sintética, inflado y disuelto en un aceite solvente adecuado, se utiliza en el proceso de montaje para el neumático recauchutado. La viscosidad específica se obtiene en la manera de preparar el cemento vulcanizable empleado en la construcción de recauchutado. Para el propósito de la preparación del cemento, el caucho de base necesita ser convenientemente premezclado antes de incorporar otros ingredientes compuestos.

El cemento de caucho es esencial para el montaje de recauchutado. Se prepara en un solvente conveniente y se aplica a lo ancho del perímetro de la superficie usada del neumático para adherir perfectamente al neumático usado.

Hasta mediados de los años 50, el único antiozonizante para el compuesto de caucho disponible era cera. Su solubilidad limitada en el caucho lo lleva a difundir hacia la superficie, y forma una capa protectora que no permite que el ozono impregne, pero en aplicaciones dinámicas el uso de la cera es ineficaz. En 1954, se introdujeron agentes protectores de ozono para aplicaciones dinámicas. Es muy importante incorporar antiozonizantes/antidegradantes tales como piperidina pentamethylene ditiocarbamato e isopropílico-fenil-p-fenilenodiamina en las formulaciones de las bandas para neumáticos con el fin de proporcionar la protección contra el oxígeno y el ataque del ozono, así como resistencia al agrietamiento de la superficie.

El agrietamiento de la banda de rodadura durante servicio es en gran parte un resultado de los efectos del oxígeno con la alta flexión del neumático. El ozono es particularmente activo en la producción de este efecto perjudicial. Un antioxidante añadido en la formulación del caucho juntamente con un antiozonizante conveniente salvaguardará del ataque del oxígeno y del ozono.

Los neumáticos pueden ser atacados por microorganismos, hongos y algunas bacterias. Éstos filtran el caucho y debilitan sus enlaces dobles, particularmente cuando el neumático se utiliza en pantano o humedales por períodos largos. En consecuencia, para tales aplicaciones es necesario proteger el compuesto de la banda de rodadura utilizando aditivos especiales.

Procesabilidad

Los cauchos son altamente viscosos, por lo que es necesario reducir el peso molecular (MW) y la viscosidad de los elastómeros para facilitar el procesamiento de los compuestos. La disminución de la viscosidad y el aumento de la plasticidad de los elastómeros utilizados para las aplicaciones de recauchutado de neumáticos se puede lograr mediante el fresado mecánico, ya sea utilizando molinos de goma de dos rodillos abiertos o mezcladores internos (el molino de Banbury). Este proceso inicial es necesario para incorporar rellenos de refuerzo, PA y otros ingredientes compuestos.

La procesabilidad es fundamental para las propiedades requeridas para producir un producto final con las características necesarias. Cada ingrediente de la composición se debe dispersar en la matriz de caucho consistentemente y debe tener características reológicas uniformes para proporcionar los atributos deseados en el producto final. En la preparación de la mezcla, un material altamente viscoso se comporta como líquido no-Newtoniano.

La trituración inicial del caucho natural (NR) se puede realizar en un molino de two-roll abierto o en un mezclador interno. La deformación mecánica repetitiva en presencia de oxígeno atmosférico causa una reducción en el MW del caucho, y se convierte en cada vez más plástico. En esta etapa, los ingredientes compuestos se pueden incorporar con la mezcla adicional. Los cauchos sintéticos tales como caucho del estireno-butadieno (SBR), caucho del polibutadieno (dieno), monómero del propileno del etileno (EPDM) y caucho del cloropreno (CR) se pueden tratar como NR durante la operación de mezcla.

Requisito de propiedades mecánicas

El negro de carbón se utiliza en los compuestos de goma para aumentar características mecánicas tales como resistencia a la tracción, módulo elástico, abrasión y resistencia al

desgarro. La selección del grado adecuado de negro de carbono para lograr estas características físicas específicas para aplicaciones de pisada se describe en la tabla 2,1.

Table 2.1 Types of carbon black used for tyre retreading formulations

Type of carbon black	ASTM designation	Particle size (millimicron)	Surface area (m ² /gm)	Oil absorption (cm ³ /g)	Dibutyl phthalate absorption number (cm ³ /100 g)	Iodine absorption (g/kg)	Pour density (kg/m ³)	Heat loss (% maximum)
SAF	N110	20-25	110-120	1.50	113	145	370	3.0
ISAF	N220	24-33	100	1.35	114	121	344.43	3.0
HAF	N330	28-36	65-70	1.30	105	82	376.4	2.5
FEF	N550	40-55	40	1.35	121	43	360.4	1.5
SRF	N762	61-100	33	0.7	65	27	350	1.5
GPF	N660	49-60	36	1.1	90	36	440	1.0
MT	N990	250-350	10	-	43	6-12	640.8	0.10

ASTM: American Society for Testing and Materials
 FEF: Fast extrusion furnace
 GPF: General purpose furnace
 HAF: High abrasion furnace
 ISAF: Intermediate Super Abrasion Furnace
 MT: Medium thermal
 SAF: Super Abrasion Furnace
 SRF: Semi-reinforcing furnace

Las propiedades físicas se mejoran porque los agregados de negro de humo crean enlaces físicos y químicos con la goma, proporcionando resistencia a la tracción, resistencia al desgarro, resistencia a la abrasión y resistencia a la fatiga por flexión.

La sílice precipitada, de los agregados de refuerzo, proporciona mayores propiedades en los elastómeros polares como CR, y en las mezclas de NR / PBR / SBR puede mejorar con el uso de silano junto con la sílice. Los rellenos de refuerzo, no negros de humo, se pueden incluir en la composición; por ejemplo, los agentes de acoplamiento en mezclas mejoran el ensamble a la estructura principal del elastómero. Pueden aumentar el módulo del compuesto, mejorar la resistencia a la abrasión, dar baja histéresis y mejorar la resistencia a la rodadura.

La sílice en partículas finas también puede contribuir a mejorar las propiedades tales como la resistencia a rasgaduras, cortes y astillas, y también reduce las características de acumulación de calor durante condiciones de alta flexión de neumáticos. Un promedio de área de superficie de sílice de aproximadamente 152 g / m² es aceptable para estos fines.

NR presenta buenas características de resistencia a la abrasión y al desgarro, la incorporación de negros de humo como refuerzo en compuestos de NR mejora adicionalmente estas características, así como las propiedades de tracción.

En comparación con NR, SBR exhibe mejores características de iniciación de grietas y resistencia a la abrasión que NR. PBR puede proporcionar una excelente resistencia a la abrasión cuando se mezcla con NR en las composiciones de la banda de rodadura del neumático. Debido a que PBR muestra una mayor resistencia a la abrasión cuando se mezcla con NR, la adición de un porcentaje de este caucho en mezclas basadas en NR, SBR y CR puede mejorar notablemente esta propiedad. Debido a que NR, al tratarse de una goma no polar, puede mezclarse fácilmente con otras gomas no polares, puede contribuir con sus excelentes propiedades de resistencia a la rasgadura y a la abrasión en las mezclas.

El tamaño de partícula pequeño y el área de superficie alta de negro de carbón ayuda a aumentar las propiedades mecánicas de los cauchos. Para obtener una banda de rodadura extruida y materiales de goma calandrada con estabilidad dimensional y lograr la perfección de la superficie, es esencial la dispersión adecuada en las mezclas.

El uso de rellenos de doble fase como una mezcla de negro de humo y sílice en compuestos de banda de rodadura basados en NR, para neumáticos de camiones pesados y fuera de la carretera (OTR), en general puede proporcionar un mejor rendimiento debido a la alta interacción elastómero-relleno y baja interacción relleno-relleno. En comparación con la sílice sola, la carga dual de carbono y sílice puede contribuir considerablemente a la mejora de la resistencia al rasgado y la resistencia a la abrasión.

Percepciones del refuerzo en el compuesto de caucho

Las mezclas usadas para las aplicaciones de recauchutado pueden incluir los llenadores del tipo que refuerzan para mejorar las características de los productos finales, así como algunos llenadores inertes para reducir el costo de los compuestos. Los rellenos mejoran las propiedades del elastómero mejorando las propiedades mecánicas como la resistencia a la abrasión y la vida a la fatiga.

Los diversos agregados de refuerzo se incorporan en los compuestos de goma para realzar características mecánicas tales como módulo elástico, fuerza tracción y resistencia de desgaste. Los más comúnmente usados son el negro de carbono y la sílice.

Tales mejoras son significativas porque la resistencia se mejora a través de la pisada, particularmente en su región de la huella, así mejorando el "grip" (adherencia) de la carretera

y por ejemplo disminuyendo la distancia de frenado de vehículos, contribuyendo a la seguridad en carretera para los vehículos de pasajeros.

Al diseñar un producto y analizar las propiedades de servicio de un elemento crítico como la banda de rodadura de los neumáticos, es imprescindible entender el efecto del relleno en el compuesto de caucho.

En las formulaciones de elastómeros la distribución de los tamaños de partícula es importante, ya que esto afecta las propiedades mecánicas y por lo tanto el rendimiento del producto final.

En la figura 2,3 se muestra un resumen de la fuerza y rigidez de SBR con y sin relleno de refuerzo.

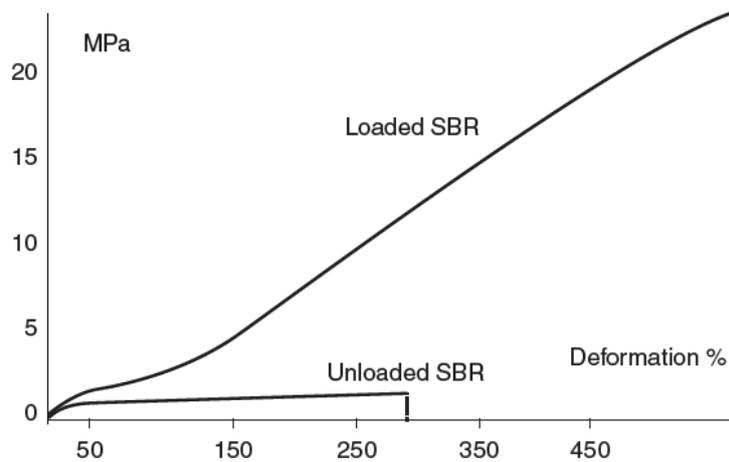


Figure 2.3 Strength and stiffness with and without reinforcing filler in SBR. Reproduced with permission from *Reinforcing Fillers in the Rubber Industry*, Fact Sheet, European Tyre and Rubber Manufacturers' Association (ETRMA), Brussels, Belgium. ©European Tyre and Rubber Manufacturers' Association [7]

Los grados disponibles comercialmente del negro de carbón tienen tamaños de partícula que se extienden a partir del 10 a 500 nanómetro. Cuanto mayor sea el tamaño de partícula, menor es la propiedad de refuerzo.

La disposición de la superficie afecta la compatibilidad del relleno con la goma y la capacidad de la goma de integrarse con el relleno. Las propiedades dependen de la dispersión del negro de carbono en las mezclas, y esto generalmente depende del tamaño de partícula, la dureza de los pellets y la estructura.

La incorporación de rellenos de partículas finas en mezclas de caucho mejora las características físicas del producto curado como resultado de estas interacciones de caucho/relleno. Los rellenos de refuerzo proporcionan un gran grado de fortalecimiento de la red de caucho proporcionando un elevado número de enlaces químicos con la red de polímeros. Una representación gráfica de las fuerzas extensibles de diferentes cauchos se presenta en la figura 1,1.

Los rellenos de refuerzo utilizados en los compuestos de caucho de rodadura son esenciales para alcanzar los requisitos de rendimiento deseados. Los compuestos de la banda de rodadura tienen requisitos exigentes con respecto resistencia al desgaste. También deben

tener la durabilidad que permite su uso a altas velocidades durante un largo período, así como el efecto de bajar el consumo de combustible, en la medida de lo posible.

Los siguientes son factores esenciales que intensifican el refuerzo de las propiedades de elastómero:

- El tamaño de las partículas o de la superficie específica (en combinación con la carga, determinar el entorno de contacto eficaz de la red de relleno y polímero)
- Estructura de las partículas de relleno, y hasta cierto punto su agregación (afecta a la interacción física entre el relleno y el caucho)
- Tipo de superficie de relleno e intensidad de la interacción entre caucho y relleno (contribuya a restringir el movimiento de la cadena molecular de goma mientras está bajo tensión) por lo tanto, la actividad de la superficie es un factor dominante en el relleno – relleno y relleno – interacciones de caucho.

En la figura 2,4 se ilustra el refuerzo del High Abrasion Furnace (HAF) de negro de carbono por ciento de caucho y con aceite de proceso aromático.

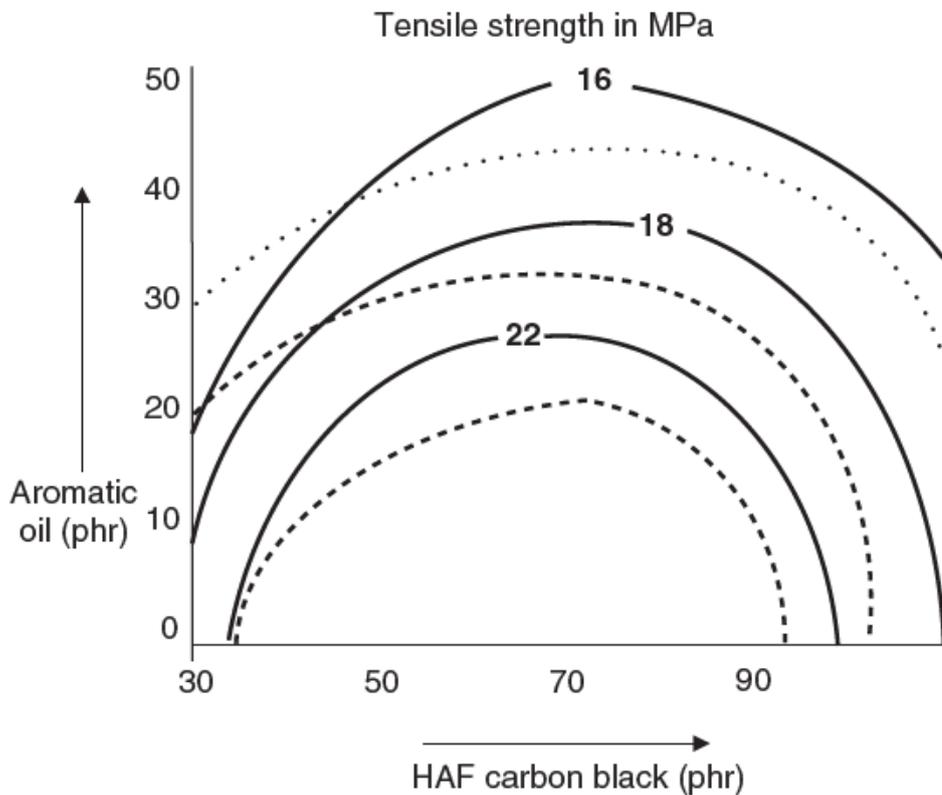


Figure 2.4 Reinforcement of HAF black with process oil

Refuerzo de sílice, silicatos y carbonatos para recauchutado de neumáticos

Las sílices como la sílice ahumada y la sílice precipitada mejoran la resistencia al desgarro de los compuestos de caucho debido a su pequeño tamaño de partícula y a su compleja estructura agregada. Para lograr el mayor grado de refuerzo en las mezclas de bandas, es imprescindible seleccionar el grado y la proporción apropiados. La sílica precipitada se agrega a las formulaciones compuestas junto con negro de carbón para mejorar características tales como resistencia al agrietamiento durante la flexión y resistencia al corte.

DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

Las mejoras importantes en características de goma son alcanzables usando los agregados de refuerzo con tamaños de partícula de 10 – 100 nanómetro en mezclas de caucho. Se pueden obtener mejoras equitativas en propiedades físicas con rellenos como silicatos de calcio y aluminio y carbonato cálcico activado/precipitado. Estos llenadores parcialmente de refuerzo se pueden utilizar en bandas, compuestos de reparación, caucho de relleno o en cemento.

Reforzando la sílice ahumada y precipitada puede realzar las características siguientes:

- Resistencia a la tracción (aumentado)
- Durabilidad
- Resistencia a la abrasión (mejorada)
- Resistencia al desgarro (mejorada)
- La morfología de la sílice tiene un efecto sobre sus propiedades de refuerzo con el caucho. Las características estructurales siguientes son claves:
- Las partículas primarias tienen dimensiones transversales de 5 – 100 nm.
- Los agregados (dimensiones de 100 – 500 nm) están formados por interacciones químicas y fisicoquímicas.
- Los aglomerados (dimensiones típicas de 1 – 40 μm) se fragmentan durante la mezcla de compuestos de caucho hasta aproximadamente el tamaño de los áridos o incluso partículas primarias.

Los agregados de sílice tienen una estructura más alta que los negros de carbono. Estas estructuras son la razón de su mejor potencia de refuerzo en comparación con el negro de carbono. Debido a su alta energía específica de la superficie tienen una propensión fuerte a la aglomeración y son difíciles de dispersar en caucho. También vuelven a aglomerarse rápidamente después de mezclar.

Las propiedades de sílice, silicatos y carbonato cálcico se ilustran en la tabla 2,3.

Table 2.3 Properties of silicas, silicates and calcium carbonate						
Types of silica	Specific gravity	Average particle size (nm)	Surface area (g/m ²)	pH	Loss on ignition (%)	Oil absorption (g/100 g)
Fine fumed silica (anhydrous)	2.1	8	300–380	4	1.0	200
Precipitated silica (hydrated)	1.95	16	170	5.7	6	240
Calcium silicate	2.10	85	35	10	7	110
Aluminium silicate	2.10	25	130	10	5	140
Precipitated calcium carbonate	2.42	50	74	–	–	–

Agregados especiales para las bandas de rodadura

La incorporación de las fibras cortas de aramida como relleno en los compuestos de recauchutado de goma, particularmente para el uso en los neumáticos de OTR, puede ofrecer ventajas de proceso y resistencia mejorada a un bajo costo. Los compuestos de goma con la cantidad correcta de fibras cortas de Aramida tendrán alto módulo y una mayor resistencia al corte. La cantidad de refuerzo depende del tipo de fibra, de la matriz de caucho, de la adherencia de la fibra y de la distribución de la longitud de la fibra en el relleno de fibras.

También es importante el contacto mecánico entre la matriz de caucho y las fibras debido a la rugosidad de la superficie.

El factor esencial para lograr el refuerzo utilizando fibras cortas es la adherencia entre la fibra y la matriz elastomérica. Las mejoras en la adherencia pueden aumentar perceptiblemente la resistencia a la tracción y el alargamiento. La adherencia con la matriz elastomérica es alcanzada tratando la superficie de la fibra usando el látex del formaldehído del resorcinol.

Al agregar longitudes cortas de fibras de aramida a una mezcla, se produce una cantidad sustancial de rotura de las fibras durante la mezcla. Sin embargo, hay suficientes longitudes de fibra disponibles en la mezcla para proporcionar un efecto de refuerzo adecuado, en particular las elongaciones bajas en el producto final.

Adherencia a los neumáticos usados/desgastados

La resistencia de la adherencia entre la banda de rodadura, cojín y relleno a un neumático preparado para el recauchutado depende de la naturaleza del caucho, de su adherencia intrínseca y de la preparación apropiada del neumático usado. El proceso no debe disminuir la resistencia de flexión del neumático viejo durante tensiones dinámicas elevadas mientras está en servicio.

Para promover la fuerza de la Unión con el neumático viejo, algunos añadidos especiales se pueden incorporar en mezclas, incluyendo las resinas reactivas y una combinación de sílice de resorcinol-formaldehído. La adición de alquitrán de pino, colofonia de madera, resinas de cumarona – indeno y otras resinas de hidrocarburos pueden proporcionar una adherencia adecuada en el estado no curado.

La ventaja de agregar resinas en mezclas es el aumento en la fuerza de adherencia al difundir la tensión sobre una superficie más amplia, promoviendo así la adherencia con el sustrato por acción mecánica. Durante el proceso de vulcanización, la reticulación se produce entre el caucho y la resina, dando como resultado un aumento de la fuerza de adherencia entre el compuesto de caucho aplicado y el antiguo sustrato de los neumáticos.

Los agentes curadores tienen un efecto distinto en la Unión del neumático viejo y la banda, y una reducción de la dosificación del sulfuro en el compuesto puede reducir la fuerza de la adherencia considerablemente donde es apropiado un sistema de curación de sulfuro.

Los cauchos correctamente no saturados con compuestos de hidrocarburo tales como NR y SBR demuestran la adherencia adecuada en el recauchutado.

La adhesión satisfactoria es alcanzable al incorporar hidrocarburos no saturados en mezclas. La fuerza de adherencia marginal superior se alcanza con SBR comparada a la que posee el NR.

Cuando la estructura de la espina dorsal polar de los elastómeros como el CR se mezclan con NR en altas proporciones y se utilizan en recauchutados para los usos especiales de neumáticos, la vinculación es muy buena con los viejos sustratos. Los elastómeros altamente saturados como EPDM no poseen una hilvanación intrínseca para una buena adherencia con el neumático usado; necesitan cantidades liberales de adhesividad en mezclas y se mezclan generalmente con NR para construir la liga.

Los atributos responsables de la adherencia entre la banda de rodadura y el neumático antiguo son los siguientes:

- Adherencia mecánica (superficie áspera)
- Formación de uniones químicas primarias y secundarias
- Difusión de componentes adhesivos/cemento

Resistencia al oxígeno, al ozono y a doblar

En el curso del servicio una banda de neumático se estira bajo condiciones dinámicas, y pueden aparecer en la superficie grietas. La presencia de ozono, incluso a concentraciones muy bajas, afecta al caucho, y el grado de resistencia al ataque de ozono depende de la naturaleza del elastómero. NR y SBR tienen la resistencia más baja al ozono, y EPDM el más alto.

La resistencia al ozono se puede aumentar agregando antiozonantes de caucho, como p-fenilendiamina y ceras. Las ceras pueden florecer a la superficie debido a su limitada compatibilidad con el caucho y ofrecen una capa protectora, pero la capa superficial puede agrietarse bajo altas condiciones de flexión y por lo tanto no cumplirá su propósito. Cuando hay una tendencia hacia la floración en la superficie, la adherencia se puede afectar, así que las ceras microcristalinas se utilizan en lugar de otro y pueden proporcionar el efecto requerido.

La deterioración del caucho es accionada por el oxígeno, el ozono, el calor, la luz, la catálisis del metal y la flexión, que afectan a la parte insaturada de la molécula que es accesible para la vulcanización del sulfuro. Dos clases principales de productos químicos pueden impedir el proceso de degradación de los cauchos no saturados: aminas y fenoles.

Los antioxidantes como el trimetil polimerizado dihidroquinolina en NR y en los compuestos sintéticos fines generales proporcionan la protección contra la oxidación y el calor bajo condiciones severas. La resistencia contra el agrietamiento, el calor y la oxidación de la flexión puede ser ayudado agregando difenil-p-Fenileno diamina en los compuestos para bandas de rodadura.

Parte 2

Shearografía

La máquina Shearografía es un dispositivo importante que puede detectar imperfecciones en forma de burbujas en la banda de rodamiento, el hombro y las paredes laterales. Este sistema mapea la superficie de la carcasa con holografía láser y es un proceso avanzado de inspección de neumáticos no destructivos. Durante las pruebas con un sistema de shearografía de fase, se crea una diferencia de presión de vacío de aproximadamente 50 mbar que resalta cualquier deformidad causada por la expansión de las bolsas de aire. El equipo genera una imagen holográfica del área dañada / vacío y puede calcular sus dimensiones y posición, evaluando así automáticamente el neumático para su posterior procesamiento. Esta prueba puede garantizar la durabilidad de la carcasa después del recauchutado. En la figura 3.1 se muestra un diagrama esquemático de una máquina de prueba shearografía en funcionamiento.

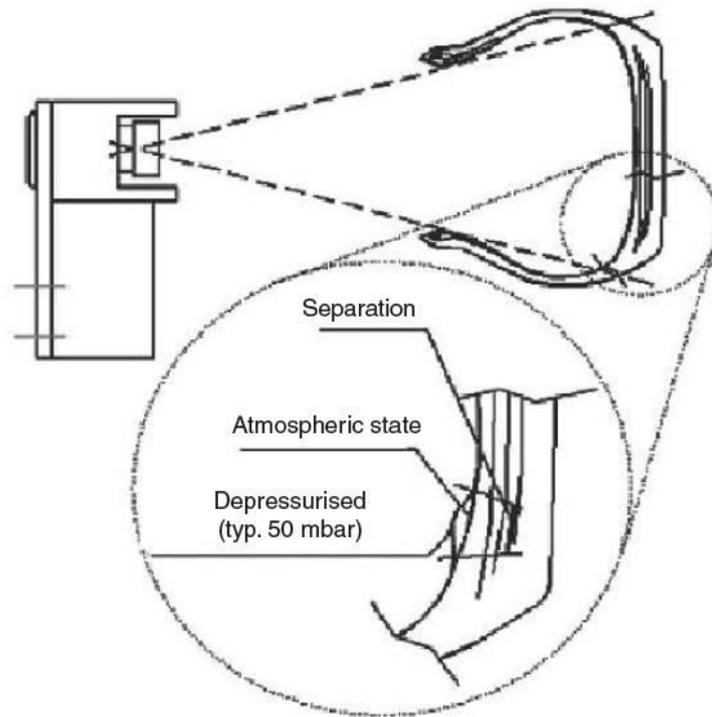


Figure 3.1 Shearography equipment for tyre testing. Reproduced with permission from Desser Tire & Rubber Co., Inc., Montebello, CA, USA.

Shearografía láser

Por lo general, las llantas gastadas se inspeccionan manualmente golpeando con una herramienta manual y escuchando el sonido. La shearografía láser funciona como una radiografía para detectar cualquier deterioro o delaminación de los neumáticos.

Inspección de rayos X

Con este equipo, se pueden ver todos los componentes internos del neumático, incluyendo cualquier espacio vacío, bolsa de aire o material extraño. Este método de inspección óptica puede proporcionar información adecuada sobre la estructura interna del neumático gastado y su idoneidad para el recauchutado para su posterior procesamiento. Se puede facilitar un alto nivel de control de calidad implementando un sistema digital de inspección por rayos X y, debido a su velocidad, puede incorporarse directamente en el proceso de producción en una planta de recauchutado.

El sistema avanzado de inspección por rayos X es un proceso superior de radioterapia con micro haz, que puede exponer el estado de la carcasa y la región que contiene los cables de acero dentro de la carcasa del neumático. También puede mostrar el estado de los cinturones y cables de acero ocultos dentro de la carcasa. Este sistema de inspección puede detectar daños de peligro en la carretera, determinar cualquier posible daño y evaluar el estado de cualquier reparación anterior, pero no todas las fundas son necesarias para someterse a este procedimiento. Un sistema de inspección de rayos X se muestra en la Figura 3.2.



Figure 3.2 X-ray testing of a tyre

Figura 3.2 Neumático siendo testeado mediante rayos X

Holografía

Las pruebas de holografía o shearografía son sistemas de inspección no destructivos. Un sistema de holografía puede calibrar burbujas contra una burbuja estándar, proporcionar una imagen holográfica de las burbujas y medir y proporcionar la ubicación de una burbuja. Sobre esta base, puede clasificar un neumático según las dimensiones y los sitios de los bolsillos. Un holograma es importante porque puede identificar todos los defectos internos de un neumático antes de seleccionarlo para el recauchutado, y después de terminar el recauchutado puede llevar a cabo la inspección del talón al talón. Este dispositivo es efectivo para obtener imágenes de un neumático, y mediante la inspección a través de la presentación de la pantalla del tubo de rayos catódicos y el almacenamiento de datos de video detecta defectos muy pequeños que afectan el funcionamiento del neumático. Puede determinar la máxima aceptabilidad de un neumático para recauchutar. En la Figura 3.3 se muestra una imagen del equipo de prueba holográfico.



Figure 3.3 Holography testing of a worn tyre

Figura 3,3 prueba de holografía de un neumático desgastado

Parte 3

Propiedades físicas esenciales en el diseño de recauchutado

Las magnitudes de las propiedades físicas requeridas por un compuesto de recauchutado de neumáticos predicen la vida útil. Las siguientes propiedades mecánicas importantes deben considerarse para determinar el rendimiento al desgaste y la resistencia al corte:

- Gravedad específica: los compuestos de las bandas de recauchutado deben tener una gravedad específica más baja para alcanzar una longitud más larga del perfil de pisada por el kilogramo de mezcla. Cuando el compuesto de caucho de la banda se hace exclusivamente del caucho natural (NR) la gravedad específica del compuesto está del lado desfavorable.

Una mayor gravedad específica indica la incorporación de rellenos minerales en los compuestos, incluidas las arcillas; la adición de una alta cantidad de rellenos inertes tiene un efecto perjudicial sobre las propiedades físicas del neumático, disminuyendo la calidad del recauchutado.

- Dureza: la dureza de un compuesto de una banda se mide para dar una idea aproximada de sus propiedades físicas primarias, su rigidez en términos de su capacidad de carga, y también la cantidad de relleno en el compuesto. Puede también indicar el grado de la densidad de la reticulación (cuanto mayor es la densidad de la reticulación, más duro es el producto vulcanizado).
- Resistencia a la tracción: se trata de resistir la tensión de ruptura. La fuerza extensible mínima de un compuesto de recauchutado es alrededor 20 MPa. Los compuestos para las

bandas, que requieren la alta resistencia al agrietamiento y al corte, deben tener fuerza de alta resistencia, particularmente para camiones y OTR. Por lo tanto, la fuerza extensible puede actuar como indicador básico de la calidad del compuesto para el uso como banda de alto rendimiento.

- **Módulo:** el módulo de un compuesto es una medida de la resistencia al ser estirado. Esta propiedad tiene relevancia para el desgaste de la banda y también está implicado en las propiedades de acumulación de calor de un neumático.
- **Resiliencia:** un compuesto resiliente se recupera rápidamente de la deformación, y por lo tanto genera menos calor cuando está bajo condición altamente de flexión en funcionamiento. Una mayor acumulación de calor disminuirá rápidamente la calidad del recauchutado. Por lo tanto, es apropiado utilizar un compuesto resistente para las aplicaciones de recauchutado.
- **Alargamiento en la rotura:** es la capacidad del compuesto en rotura o ruptura, y describe su naturaleza elástica durante el envejecimiento.
- **Resistencia a la abrasión:** esta propiedad tiene una gran relevancia para la banda de rodadura de los neumáticos, siendo la resistencia al desgaste en contacto dinámico sobre la superficie de la carretera. Es una característica esencial como medida del refuerzo de la composición en la fabricación de la banda.

Las especificaciones de las propiedades físicas deseadas de un compuesto de recauchutado de neumáticos estándar, contingente en el tipo de neumático a ser recauchutado, y su propósito, se dan en la tabla 3,3.

Table 3.3 Physical properties of rubber retread compound	
Properties	Requirement
Specific gravity	1.12–1.14
Hardness	65–70
Tensile strength (MPa)	18–20
Modulus at 300% (MPa)	9.8–10
Elongation at break (%)	500–600

Pasos para la fabricación del recauchutado

Raspado

Los neumáticos se deben raspar después de quitar la pisada vieja, esto se logra mecanizando el neumático en una llanta inflado para alcanzar dimensiones estándar del neumático. La carcasa pulida debe tener dimensiones compatibles con el sistema de recauchutado utilizado. La superficie de rodadura desgastada se retira para obtener un perfil simétrico de acuerdo con las especificaciones procesales.

El área pulida de la carcasa debe estar libre de contaminación y oxidación. Todo el raspado se debe realizar en un almacenador intermedio inflado.

La banda de rodadura desgastada, junto con su banda de rodadura inferior, se retira en una operación de rectificado utilizando una máquina adecuada y una herramienta de esmerilado específica para preparar la carcasa vieja para tener las dimensiones y la consistencia de la superficie requerida. El objetivo principal de la pulimentación es preparar el área de la banda de rodadura. En la figura 3,5 se muestra un ensamblaje de la herramienta de pulido de acero de alta velocidad para un neumático OTR.



Figura 3,5 montaje de la herramienta de pulido del neumático hecho del acero de alta velocidad

Es imprescindible la forma y el tamaño de la corona de los neumáticos para prepararse para la cimentación de una nueva construcción. Una inspección cuidadosa se lleva a cabo después de pulir para asegurarse de que no quedan defectos no expuestos. Las dimensiones del neumático después de pulir tienen que ser apropiadas para el tipo de neumático y el tamaño del molde de curado, así como el sistema de recauchutado. Para evitar cualquier contaminación, el espacio de tiempo antes del montaje se mantiene al mínimo.

Durante el pulimentado, la carcasa vieja debe ser pulida a un ancho predeterminado de la corona, radio y proporción de perfil. Los extremos deshinchados expuestos de la tela o del cable de acero deben ser removidos y acabados apropiadamente. Al terminar de pulir, los alambres de acero deben estar recubiertos con cemento de caucho y si es necesario un tratamiento para mejorar la adherencia, esto se debe realizar inmediatamente después de pulir. Cualquier lapso entre la operación de pulido final y la aplicación de cemento para el proceso de fabricación posterior puede crear problemas de adherencia.

Entonces puede haber alguna posibilidad de encontrar surcos, manchas de desgaste irregulares y áreas no texturizadas después de retirar la banda de rodadura. Tales

imperfecciones superficiales son tratadas por una máquina de pulir manual. En la figura 3,6 se muestra el esmerilado manual de estos defectos menores en un neumático.



Figura 3,6 rectificado a mano de imperfecciones sobre una superficie de neumático

La superficie de rodadura preparada, donde se va a realizar el recauchutado, debe tener una textura adecuada y un perfil consistente. Una superficie pulida libre de contaminación es esencial para la adherencia. En la figura 3,7 se muestra un neumático debidamente pulimentado y listo para el proceso de construcción. Cada corte, orificio y penetración deben ser verificados para determinar la severidad del daño y para asegurar que todo el material extraño sea eliminado.

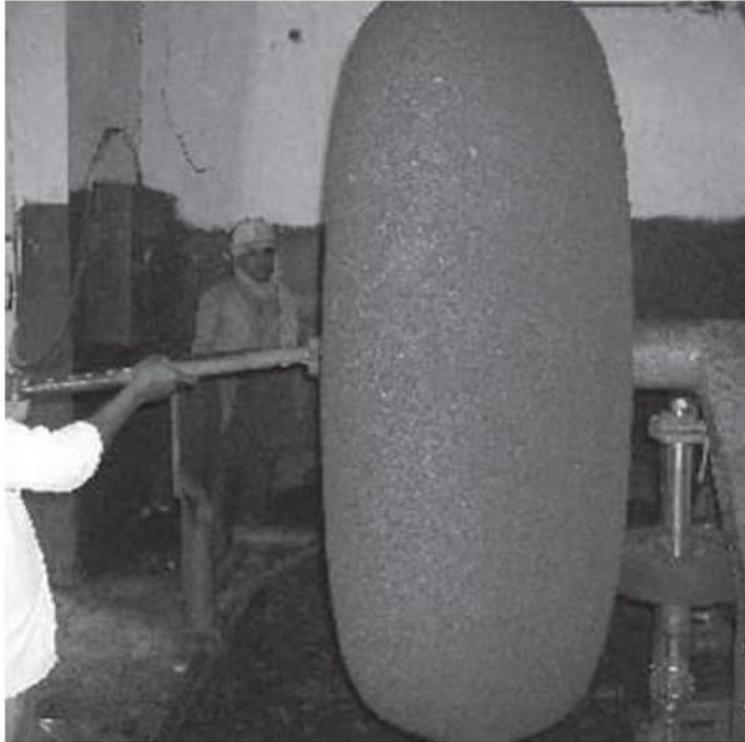


Figura 3,7 operación de pulimentación completada para un neumático volquete de 35 toneladas

En la examinación visual después de pulir, si hay cualquier sección dañada en la superficie del neumático que sea más grande de 10 milímetros de tamaño, deben ser reparadas usando un compuesto de relleno de caucho conveniente antes de las operaciones de la construcción. Después de pulir, una inspección minuciosa es esencial asegurar que no hay defectos ocultos e inadvertidos en el neumático tales como cortes, agujeros o lesiones, o cualquier materia extranjera que deba ser quitada.

En las figuras 3,8 y 3,9 se muestran fotografías de pinchaduras y una superficie de pared lateral dañada expuesta después del pulido.



Figura 3,8 abolladuras que necesitan la reparación



Figura 3,9 parte dañada después de pulir que necesita la reparación

Reparación de carcasa

Todas las reparaciones de la carcasa deben realizarse de acuerdo con los métodos prescritos y utilizar herramientas adecuadas después de pulirlas. Los daños causados a un neumático desgastado durante su vida útil pueden destaparse durante el pulido. Es necesario reparar áreas dañadas como cortes, desgarros o abolladuras, mediante molienda moderada utilizando una herramienta de amolar motorizada con velocidad controlada para la limpieza minuciosa del terreno. Las áreas mencionadas se le aplica el cemento. Una vez que el cemento seca, estas áreas reparadas se llenan de compuesto de relleno sin vulcanizar, de modo que la banda pueda ser aplicada sin dificultad. Se necesitan operadores capacitados para realizar trabajos de reparación según los estándares de la industria. La determinación final de reparación, tipo de reparación y material de reparación debe hacerse después del socavado y la inspección, de acuerdo con la especificación recomendada y los criterios de reparación prescritos por el fabricante de los materiales de reparación.

Cementación

Los neumáticos raspados se limpian con un chorro de aire para remover el polvo de la superficie y luego se limpian con un solvente adecuado. A continuación, se dejan secar y se cementan aplicando un cemento a base de caucho adecuado de una viscosidad específica dentro de un máximo de 8 h del raspado/socavado. La carcasa debe estar limpia y libre de materiales extraños tales como polvo, suciedad y aceite que pulimentan antes de la aplicación del cemento.

Los neumáticos pulimentados listos para cementar también deben estar libres de telas flojas, y cualquier acero expuesto debe cementarse dentro de 15 – 20 min de su exposición después de pulir. El cemento a base de caucho preparado debe proporcionar la fuerza de adherencia adecuada entre el nuevo montaje de la banda y la cubierta vieja preparada. Un tiempo de secado aceptable se determina de acuerdo con la preparación estándar del cemento antes del montaje de otros componentes.

Los neumáticos cementados deben manipularse con cuidado para asegurarse de que la superficie no esté contaminada con polvo, lo que podría perjudicar la propiedad de adhesión. Por lo tanto, deben ser almacenados en una habitación libre de polvo y humedad controlada. Es posible que sea necesario tapar el neumático cementado antes de la operación de construcción posterior si el neumático se mantiene durante un período prolongado. El neumático pulimentado puede necesitar ser limpiado con un solvente adecuado antes de construirlo, si se almacena durante un período más largo.

Construcción (montaje)

Los neumáticos listos para el recauchutado se deben construir sobre una llanta inflada para emparejar dimensiones en servicio. El perfil de la banda se centra en la circunferencia pulida del neumático, y la interrupción del patrón de la pisada se reduce al mínimo con el empalme de la banda. Ambos extremos cortados de la banda de rodadura se unen correctamente y se adhieren a los extremos a través de cojín sobre las superficies libres de contaminación. El empalme se vulcaniza usando el cemento. Los requisitos del estiramiento de la banda y tolerancias deben ajustarse a estándares aceptados industria. Antes de la aplicación de la

banda de rodadura, se aplica cojín entre la banda y el neumático. Este puede realizarse según las especificaciones de cada fabricante de materias primas.

Los neumáticos se deben construir sobre una llanta inflada para que coincida con las dimensiones de la rueda. La banda debe tener la anchura de la corona.



Figura 3,10 perfiles de caucho extruido de recauchutado

Curado del molde de recauchutado (proceso en caliente)

Un neumático construido completamente ensamblado listo para el vulcanizado en caliente debe ser almacenado correctamente para evitar la distorsión de los materiales no curados, y se debe mantener libre de cualquier contaminación. Los procedimientos de curado deben seguir las especificaciones sobre el tiempo de curado, la temperatura y la presión. Las cámaras y las llantas apropiadas para un requerimiento deben insertarse adecuadamente mientras se cura el neumático ensamblado en la prensa circular utilizada para el moldeo. El proceso de curado total se realiza en la prensa de moldeo, que se calienta con vapor a una temperatura de 150-160 ° C. La duración del curado varía de 2 a 8 h, dependiendo del tamaño del neumático. El aire se inyecta a presión en la cámara del neumático durante la vulcanización; esto es para ejercer una presión desde adentro hacia las paredes del molde. La presión del aire debe mantenerse a 800-950 kPa durante todo el proceso de curado (dependiendo del tamaño del neumático recauchutado).

La aplicación del agente de desmoldeo (mediante la pulverización de la emulsión de silicona en la periferia interior del molde precalentado) permite la liberación rápida del neumático moldeado después del curado, y reduce la probabilidad de adherirse a la superficie del molde. La periferia exterior del recauchutado está diseñada para tener el dibujo de la banda de rodadura deseado de acuerdo con el diseño del molde.

El neumático recauchutado moldeado se deja enfriar a temperatura ambiente durante varias horas, y después de enfriar, cada neumático se prueba con una presión de aire de 200 kPa (usando una cámara) antes de la inspección final y el envío. En las Figuras 3.12 y 3.13 se muestran imágenes de un neumático ensamblado moldeado en una prensa calentada a vapor y un neumático de 35 toneladas recauchutado moldeado en caliente.



Figura 3,12 prensa moldeadora de recauchutado



Figura 3,13 recauchutado moldeada para un neumático del volquete de 35 toneladas

Precurado - recauchutado (proceso de curado en frío)

El método de curado "frío" de recauchutado del neumático es más simple que el proceso "caliente" que implica la construcción y el curado. La superficie de la banda de rodadura de la

carcasa se pulimenta correctamente después del raspado. Una película de caucho (cojín) de rápida vulcanización se aplica en la superficie del neumático/banda después del uso del cemento de goma para alcanzar la vinculación con el neumático desgastado. La banda de rodadura precurada que coincide con el neumático se coloca en la circunferencia exterior del neumático. El neumático ensamblado se envuelve a veces en un sobre de goma fina para lograr una mejor adherencia con la vieja cubierta, aunque los neumáticos más ligeros del vehículo se pueden curar sin el sobre y se envían a un autoclave para la vulcanización, generalmente en hornadas.

Esta técnica para el proceso frío del recauchutado del neumático ha probado su durabilidad, y la cubierta del neumático es menos probable degradarse, porque la vulcanización del recauchutado se realiza en una temperatura más baja (en el alcance de 95-120 ° c).

Siguiendo el sistema de curado en frío, la carcasa de los neumáticos desgastados está pulida hasta un ancho compatible con las dimensiones de la carcasa. Todas las ranuras de rodadura deben ser removidas del área pulida, y el raspado debe estar centrado en la carcasa con alturas iguales de hombros. El neumático pulimentado debe estar lo más cerca posible del radio especificado. Los neumáticos radiales se pulimentan hasta un máximo de 3 mm que permanecen debajo del peldaño sobre el paquete del cinturón.

Los siguientes pasos comprenden un sistema de recauchutado en frío:

- Inspección
- Raspado y socavado
- Secado de la carcasa
- Reparación
- Cementación
- Construcción
- Armado
- Vulcanización
- Inspección final

Proceso de recauchutado precurado

La banda de rodadura apropiada se selecciona en tiras o círculos completos con varios diseños, anchos y espesores. A continuación, se adhiere a la carcasa con caucho de cojín, que actúa como una capa de Unión. Es esencial eliminar el aire atrapado entre la banda de rodadura y la capa de cojín durante la construcción, ya que esto puede crear un área sin contacto, que puede causar un fallo final de la parte superior de la banda de rodadura.

El ancho correcto de la banda de rodadura se aplica a la carcasa preparada de manera recta y uniforme. En la aplicación de la banda de rodadura precurada, los dos extremos cortados de la banda de rodamiento están recubiertos con cemento vulcanizable a base de caucho. Después de secar el cemento, se aplica una tira de corte considerable en láminas de cojín entre los extremos de Unión, que se unen correctamente con un rodillo de costura manual (rodillo de metal). Los neumáticos montados, en lotes, se vulcanizan en un autoclave. El proceso de colocación de la banda de rodadura precurada en un neumático preparado se representa en la figura 3,14.



Figura 3,14 aplicación de la banda de rodadura precurada en un neumático

Armado, “enveloping”

Después del proceso de recauchutado en frío, el paso siguiente después de aplicar la banda en el neumático es insertar un dispositivo de restricción de caucho, que se diseña para caber firmemente alrededor del neumático en la cubierta durante la vulcanización de la autoclave. El “envelope” se cabe usando una válvula para crear un vacío antes de la vulcanización. Al evacuar el aire se ejerce presión sobre la banda de rodadura precurada incorporada, permitiendo una Unión adecuada de la nueva banda de rodamiento con la carcasa vieja. A veces, se utiliza un agente de liberación líquida en la superficie exterior del sobre para facilitar su inserción y extracción. En la figura 3,15 se presenta un “envelope” de caucho utilizado en la vulcanización de recauchutado en frío.



Figura 3,15 envelope utilizado en el recauchutado en frío

Vulcanización de los rencauches en frío

La cámara de curado (autoclave) utilizada para la vulcanización en un sistema de recauchutado en frío es calentada por vapor presurizado/aire o calentador eléctrico, y se aplica aire a presión. Los neumáticos, que se curarán en lotes, se almacenarán de forma que se evite la distorsión de los materiales no polimerizados y se mantengan libres de contaminación.

Los “envelopes”, cámaras y/o dispositivos de sellado que se utilicen para curar un neumático deben estar exentos de fugas y defectos. Múltiples neumáticos preparados y envueltos listos para vulcanizar están suspendidos de un sistema de rieles dentro del autoclave. Los procedimientos de curado deben ajustarse a las especificaciones sobre el tiempo de curado, temperatura y presión.

La presión de funcionamiento del autoclave se mantiene generalmente a un mínimo de 0,3 MPa y la temperatura en el rango de 100 – 120 ° c, dependiendo del tipo de sistema curativo utilizado en la composición del cojín. En la figura 3,16 se ilustra un autoclave para el proceso de recauchutado de curado en frío.

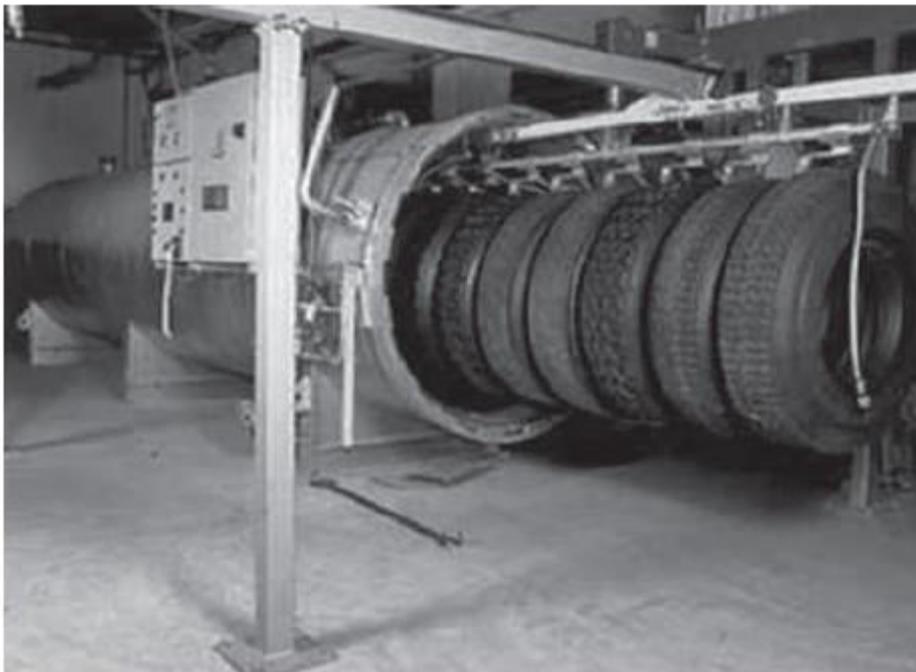


Figura 3,16 cámara de vulcanización para el sistema de curado en frío. El método de curado en frío es más simple que el sistema de curado en caliente y requiere menos inversión, pero sus costos materiales son más altos.

Inspección final

Los neumáticos acabados finalmente experimentan una inspección práctica de un técnico entrenado para la garantía de calidad en lo referente a sus condiciones del servicio, para ajustarse a todas las normas especificadas seguidas por las industrias de recauchutado establecidas. Esto incluye una inspección visual para la adherencia correcta de la banda de rodadura, y para evaluar los puntos de curado y reparado. La inspección por rayos X también se lleva a cabo para detectar cualquier imperfección, el flanco y el interior del neumático, si tal facilidad está disponible para el fabricante.

Pintura exterior

Después de la inspección final, se puede aplicar la pintura a base de caucho como capa protectora y mejorar su aspecto estético por razones comerciales. La aplicación de la pintura puede ser rociando o a través de pincel. El neumático acabado se marca con una etiqueta apropiada que indica el tamaño del neumático, la fecha de recauchutado, las pautas para el uso seguro, etc.

Anexo #2 -Diseño asistido por computadora-

En el siguiente anexo, se adjunta la información del manual del ingeniero del software, Autodesk Inventor Professional 2019.

Fórmulas de cálculo de vigas y ejes

Estas fórmulas se usan para resolver un eje (con una o varias secciones) o una viga (con una sección constante) con diversos soportes y cargas.

El eje geométrico de la viga o del eje está alineado con el eje Z. Si se incluye en el cálculo el impacto de la densidad del material, el vector de la gravedad está alineado con el eje Y.

Fuerzas de corte:

$$T(z) = - \int q(z) dz + \sum_0^n F$$

Momentos de flexión:

$$M_B(z) = \int T(z) dz + \sum_0^n M_B$$

Ángulo de flexión:

$$\varphi(z) = - \int \frac{M_B(z)}{E * J(z)} dz + \varphi(0) + \frac{\beta}{G * S(z)}$$

donde:

E	módulo de elasticidad en tensión
J	momento de inercia
G	módulo de rigidez
β	coeficiente de desplazamiento cortante

Flecha:

$$y(z) = \int \varphi(z) dz + y(0)$$

Tensión de flexión:

$$\sigma_B(z) = \frac{M_B(z)}{W_B(z)}$$

Tensión de corte:

$$\tau_S(z) = \frac{T(z)}{S(z)}$$

Tensión de torsión:

$$\tau(z) = \frac{M_{torq}(z)}{W_{torq}(z)}$$

Tensión:

$$\sigma_T(z) = \frac{\sum_0^n F_z}{S(z)}$$

Tensión reducida:

$$\sigma_{red} = \sqrt{(\sigma_B + \sigma_T)^2 + \alpha * (\tau^2 + \tau_S^2)}$$

donde:

σ_B	tensión de plegado
σ_T	tensión
τ	tensión de torsión
τ_S	tensión de corte
α	$\alpha = 3$ para HMH (von Mises) $\alpha = 4$ para Tresca-Guest

Cálculo básico de deformación de columnas

En el caso de columnas con carga axial, el cálculo se realiza en unidades métricas o imperiales según la norma definida. La norma ANSI usa unidades imperiales (con las cotas de sección adecuadas).

Parámetros calculados

Longitud reducida

$$L_{red} = n L$$

Coficiente de esbeltez

$$\lambda = L_{red} / j_{min}$$

Radio de giro

$$j_{\min} = \sqrt{\frac{J_{\min}}{S}}$$

Tensión crítica de Rankine

$$\sigma_R = \frac{Sy}{1 + \frac{Sy \lambda^2}{\pi^2 E}}$$

Fuerza crítica de Rankine

$$F_{crR} = \sigma_R S$$

Fuerza máxima de Rankine

$$F_{\max R} = F_{crR} / k_s$$

Coefficiente de seguridad calculado de Rankine

$$k_{sR} = F_{crR} / F_a$$

Tensión crítica de Johnson

$$\sigma_J = Sy \left(1 - \frac{Sy \lambda^2}{4 \pi^2 E} \right)$$

Fuerza crítica de Johnson

$$F_{crJ} = \sigma_J S$$

Fuerza máxima de Johnson

$$F_{\max J} = F_{crJ} / k_s$$

Coefficiente de seguridad calculado de Johnson

$$k_{sJ} = F_{crJ} / F_a$$

Tensión crítica de Euler

$$\sigma_E = \pi^2 E / \lambda^2$$

Fuerza crítica de Euler

$$F_{crE} = \sigma_E S$$

Fuerza máxima de Euler

$$F_{\max E} = F_{crE} / k_s$$

Coefficiente de seguridad calculado de Euler

$$k_{sE} = F_{crE} / F_a$$

Tensión de presión

$$\sigma_p = F_a / S$$

Fuerza crítica

$$F_{crP} = S_y S$$

Fuerza máxima

$$F_{maxP} = F_{crP} / k_s$$

Coefficiente de seguridad calculado en presión

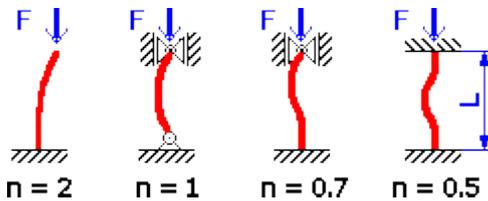
$$k_{sP} = F_{crP} / F_a$$

Comprobación de resistencia

$$k_s \leq \min(k_{sR}, k_{sJ}, k_{sE}, k_{sP})$$

Coefficiente para condiciones finales

Factor para el cálculo de la longitud reducida (efectiva) cuyos valores dependen de las condiciones del soporte final de la columna.



Significado de las variables utilizadas

- F_a carga máxima [lb fuerza, N]
- n coeficiente para condiciones finales
- k_s coeficiente de seguridad requerido
- E módulo de elasticidad [lpc, MPa]
- L_{red} longitud reducida [pulg., mm]
- S área de la sección [pulg.², mm²]
- j_{min} momento de inercia [pulg.⁴, mm⁴]
- λ Coeficiente de esbeltez
- j_{min} radio de giro más pequeño [pulg., mm]
- σ_R Tensión crítica de Rankine [lpc, MPa]
- F_{crR} Fuerza crítica de Rankine [lbfuerza, N]
- F_{maxR} Fuerza máxima de Rankine [lbfuerza, N]
- k_{sR} Coeficiente de seguridad calculado de Rankine

DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

σ_j	Tensión crítica de Johnson [Ipc, MPa]
F_{crJ}	Fuerza crítica de Johnson [Ibfuerza, N]
F_{maxJ}	Fuerza máxima de Johnson [Ibfuerza, N]
k_{sJ}	Coefficiente de seguridad calculado de Johnson
σ_E	Tensión crítica de Euler [Ipc, MPa]
J_{min}	momento de inercia menor
F_{crE}	Fuerza crítica de Euler [Ibfuerza, N]
F_{maxE}	Fuerza máxima de Euler [Ibfuerza, N]
k_{sE}	Factor de seguridad calculado de Euler
σ_p	Tensión de presión [Ipc, MPa]
F_{crP}	Fuerza crítica [Ibfuerza, N]
F_{maxP}	Fuerza máxima [Ibfuerza, N]
J_{min}	momento de inercia menor
k_{sP}	Coefficiente de seguridad calculado en presión

Conceptos básicos del cálculo de correa síncrona

La primera polea se considera impulsora. Las demás son poleas impulsadas o intermedias. La potencia de entrada se puede dividir entre varias poleas impulsadas de acuerdo con el factor del coeficiente de potencia de cada polea. Las fuerzas y los pares de torsión se calculan en función de estos valores. Las poleas planas se consideran intermedias.

Factor de servicio c_p

El factor de servicio total tiene en cuenta los coeficientes de seguridad necesarios para compensar los factores de reducción de vida útil de la correa detectados durante el servicio, como la carga, la aceleración o la fatiga. El factor de carga depende del tipo maquinaria motriz y conducida. El factor de complemento de aceleración c_{pa} se puede tener en cuenta si la relación de aceleración es $> 1,24$. Consulte la siguiente tabla. El factor de complemento de fatiga tiene en cuenta las horas operativas por día y las condiciones de servicio poco frecuentes.

Relación de aceleración $1/i$	c_{pa}
1,00 - 1,24	0,0
1,25 - 1,74	0,1
1,75 - 2,49	0,2
2,50 - 3,49	0,3
3,5 y valores mayores	0,4

Factor de dientes de engranaje k_z

El factor de dientes de engranaje tiene en cuenta el número de dientes en contacto z_c que hay en la polea síncrona. Si los dientes en contacto de la polea síncrona especificada son menos de 6, este factor puede tener un impacto considerable en la capacidad de potencia de la correa. La aplicación busca un valor mínimo de dientes en contacto entre todas las poleas síncronas de la transmisión de correa y utiliza la regla siguiente para obtener el factor k_z .

$z_c \leq 6$	$k_z = 1$
$z_c < 6$	$k_z = 1 - \frac{1}{5}(6 - z_c)$

El número de dientes en contacto se determina a partir del arco del ángulo de contacto de cada polea por separado, del modo siguiente

$$z_c = \text{abs}\left(z \cdot \frac{\beta}{360}\right)$$

Factor de tensión k_1

El factor de tensión permite ajustar la tensión inicial de la correa. Cuando la correa funciona sometida a una carga, hay un lado tenso y otro flojo. La tensión inicial impide que el lado destensado se combe y garantiza un engranaje correcto de los dientes. En la mayoría de los casos, las correas síncronas funcionan mejor cuando la magnitud de la tensión del lado flojo se encuentra entre el 10% y el 30% de la magnitud del desmoldeo efectivo $\{k_1 = 1,1 \sim 1,3\}$.

Eficiencia η

Si se diseña y aplica correctamente, la eficiencia de la transmisión de correa suele llegar hasta el 96%-98% $\{\eta 0,96 \sim 0,98\}$. Esta alta eficiencia se debe principalmente a la característica positiva y no deslizante de las correas síncronas. Dado que una correa tiene un perfil fino, se flexiona con facilidad y produce menos pérdidas de histéresis, tal como queda de manifiesto en la construcción en frío de la correa.

Factor de corrección de longitud de la correa c_L

El factor de corrección de longitud de la correa tiene en cuenta la modificación de la tasa de potencia de la correa de longitudes de correa extremadamente largas. Por defecto, el valor es 1,0 y no afecta a los resultados.

Factor de servicio resultante c_{PR}

El factor de servicio resultante se determina con la siguiente ecuación. La tasa de potencia de la correa para un esbozo de transmisión dado se compara con la potencia que se va a transmitir. El factor de servicio resultante proporciona una respuesta rápida para saber qué grado de sobrediseño tiene la correa impulsada.

$$c_{PR} = \frac{P_R}{P}$$

$c_{PR} < c_P$	La comprobación de resistencia falla
$c_{PR} \geq c_P$	La comprobación de resistencia se realiza correctamente
$c_{PR} > c_P$	Considere la posibilidad de cambiar el esbozo de la transmisión, utilice una correa distinta o reduzca la anchura de la correa

Significado de las variables utilizadas:

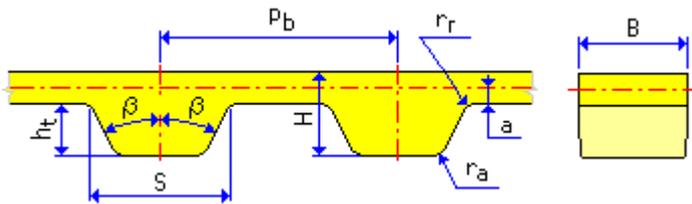
z_c	Número de dientes en contacto de la polea especificada [-]
z	Número de dientes de la polea especificada/Número de dientes de la correa [-]
β	Arco de contacto [gr]
P	potencia para transmitir [W]

P_R Tasa de potencia de correa para un esbozo de transmisión dado [W]

c_p Factor de servicio [-]

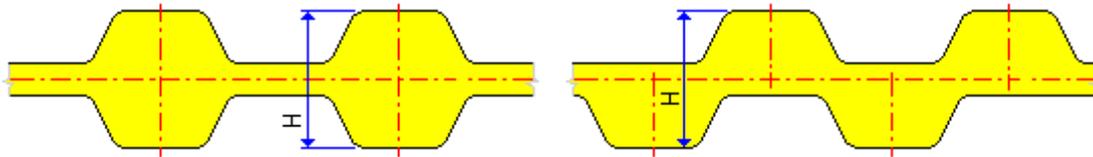
Propiedades de diseño de geometría de correa síncrona

Correa con dientes trapezoidales



Dientes simétricos de doble cara

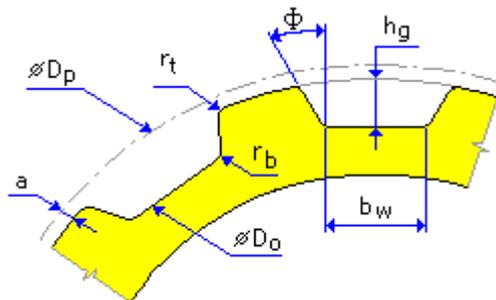
Dientes decalados de doble cara



La longitud de la correa de separación se puede calcular como

$$L = z \cdot p_b$$

Polea con dientes de lados rectos



El diámetro exterior de la polea se puede calcular como

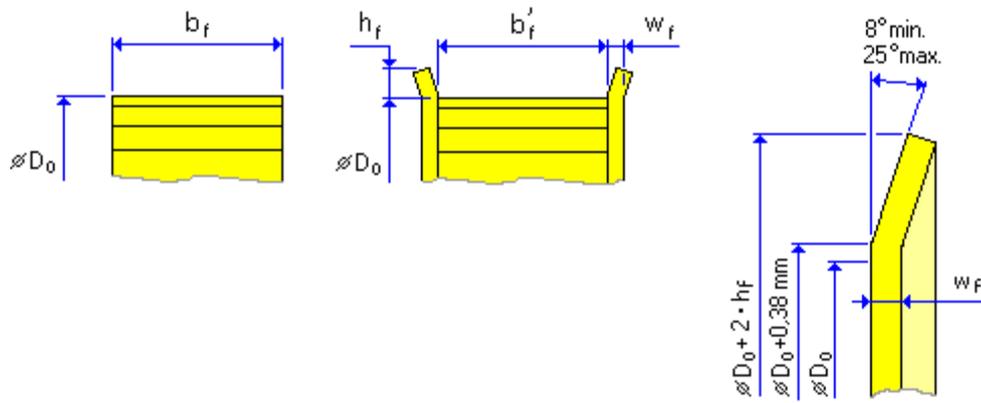
$$D_0 = \frac{z \cdot P_b}{\pi} - 2 \cdot a$$

Polea sin valona

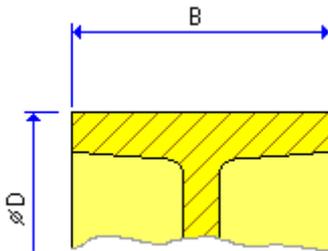
Polea con valona

Detalla de la pestaña

DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS



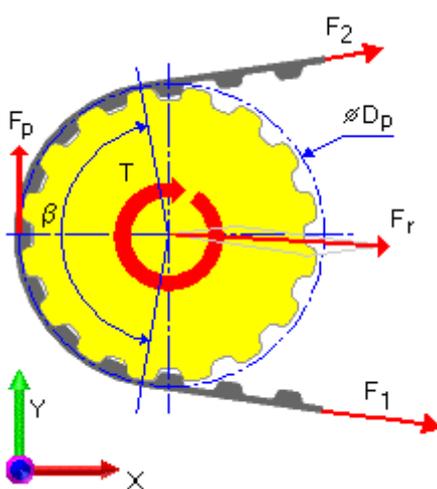
Polea plana



Significado de las variables utilizadas:

z	Número de dientes de la polea especificada/Número de dientes de la correa [-]
p _b	Separación circular [m]
a	Desfase de línea de paso [m]

Cálculo de las proporciones de resistencia de correas síncronas



Para cada polea

$$F_2 - F_1 + F_p = 0$$

$$\vec{F}_r = \vec{F}_1 - \vec{F}_2$$

$$F_r = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 - 2 \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot \cos \beta}$$

$$F_y = (F_1 + F_2) \cdot \sin \frac{\beta}{2}$$

Para la polea motriz

$$P = \frac{T \cdot \pi \cdot n}{30}$$

$$v = \frac{D_p \cdot \pi \cdot n}{60} \quad v \leq v_{\max}$$

$$f_b = \frac{v \cdot k}{L} \quad f_b \leq f_{\max}$$

$$F_p = \frac{P}{v}$$

$$F_c = mv^2$$

$$F_{T\max} = k_1 F_p + F_c$$

$$F_1 = F_{T\max}$$

$$F_2 = F_1 - F_p$$

Para poleas conducidas e intermedias individuales

índice i de la polea

$$F_{pi} = P_{xi} F_p$$

$$T_i = \frac{D_{pi}}{2} \cdot F_{pi} \cdot \eta$$

$$n_i = \frac{n}{i_i}$$

$$P_i = \frac{T_i \cdot \pi \cdot n_i}{30}$$

$$F_{1i} = F_{2i-1}$$

$$F_{2i} = F_{1i} + F_{pi}$$

donde:

$$i_i = \frac{z_i}{z_1} \quad \text{para una polea síncrona}$$

$$i_i = \frac{D_{pi}}{D_{p1}} \quad \text{para una polea plana}$$

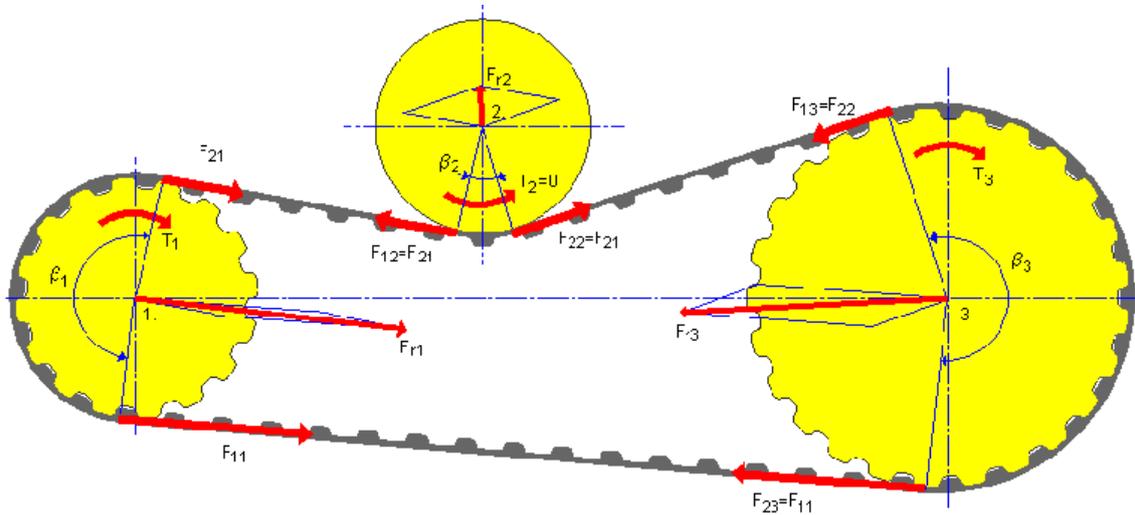
Para toda la transmisión de correa

$$P_{x1} = \sum_2^k P_{xi} = 1$$

La **tensión de instalación requerida de la correa** se determina a partir de las fuerzas que actúan sobre la polea motriz de la siguiente forma

$$F_t = \frac{F_1 + F_2}{2}$$

Ejemplo de transmisión de potencia con polea intermedia



Polea motriz	Polea plana	Polea conducida
$P_{x1} = 1$	$P_{x2} = 0$	$P_{x3} = 1$
$P = \frac{T_1 \cdot \pi \cdot n_1}{30}$	$F_{p2} = 0 \cdot F_p \Rightarrow T_2 = P_2 = 0$	$F_{p3} = P_{x3} F_p$
$D_{p1} = \frac{z_1 \cdot P_d}{\pi}$	$i_{12} = \frac{D + 2 \cdot (H - a - h_t)}{D_{p1}}$	$D_{p3} = \frac{z_3 \cdot P_d}{\pi}$
$v = \frac{D_{p1} \cdot \pi \cdot n_1}{60}$	$n_2 = \frac{n_1}{i_{12}}$	$T_3 = \frac{D_{p3}}{2} \cdot F_{p3} \cdot \eta$
$f_d = \frac{v \cdot 2}{L}$	$F_{12} = F_{21}$	$i_{13} = \frac{z_3}{z_1}$
$F_p = \frac{P}{v} = F_{p1}$	$F_{22} = F_{12} + F_{p2} = F_{12}$	$n_3 = \frac{n}{i_{13}}$
$F_c = m v^2$	$F_{r2} = \sqrt{F_{12}^2 + F_{22}^2} - 2 \cdot F_{12} \cdot F_{22} \cdot \cos(\beta_2)$	$P_3 = \frac{T_3 \cdot \pi \cdot n_3}{30}$
$F_{Tmax} = k_1 F_p + F_c$	-	$F_{13} = F_{22}$

DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

$F_{11} = F_{Tmax}$	-	$F_{23} = F_{13} + F_{p3} = F_{11}$
$F_{21} = F_{11} - F_p$	-	$F_{r3} = \sqrt{F_{13}^2 + F_{23}^2 - 2 \cdot F_{13} \cdot F_{23} \cdot \cos \beta}$
$F_{r1} = \sqrt{F_{11}^2 + F_{21}^2 - 2 \cdot F_{11} \cdot F_{21} \cdot \cos \beta}$	-	-

Significado de las variables utilizadas:

F_p	Desmoldeo efectivo [N]
F_1	Tensión de correa en lado de entrada de la polea especificada [N]
F_2	Tensión de correa en lado de salida de la polea especificada [N]
z	Número de dientes de la polea especificada/Número de dientes de la correa [-]
β	Arco de contacto/ángulo del diente de inclinación lateral [gr]
P	potencia para transmitir [W]
P_R	Tasa de potencia de correa para un esbozo de transmisión dado [W]
c_L	Factor de servicio [-]
β	Arco de contacto [gr]
T	Par de torsión en una polea especificada [Nm]
n	Velocidad de la polea especificada [rpm]
D_p	Diámetro de separación de polea [m]
v	Velocidad de correa [m/s]
k	Número de poleas en la transmisión de correa [-]
L	Longitud de paso de correa [m]
P	potencia para transmitir [W]
m	Peso específico de correa para anchura determinada [Kg/m]
k_1	Factor de tensión de correa [-]
F_p	Desmoldeo efectivo [N]

DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

F_c	Fuerza centrífuga [N]
F_t	Tensión mínima de instalación de correa [N]
P_{xi}	Tasa de potencia de polea especificada [-]
D_{pi}	Diámetro de separación de polea [m]
i	Tasa de transmisión (tasa de velocidad) de polea especificada [-]
T_i	Par de torsión en una polea especificada [Nm]
η	Eficiencia [-]
p_b	Separación circular [m]
D	Diámetro nominal de polea plana [m]
H	Altura de la correa [m]
h_T	Altura del diente de la correa [m]
a	Desfase de línea de paso [m]

Nota: i = índice de la polea

Comprobación de resistencia de correas síncronas

La tensión de trabajo admitida máxima de la correa puede configurarse o se calcula del modo siguiente

$$T_a = T_{a0} \cdot \left(\frac{B}{B_0} \right)^{1.14}$$

El peso específico de correa se calcula del siguiente modo

$$m = m_0 \cdot \left(\frac{B}{B_0} \right)$$

T_{a0} , m_0 , B_0 , f_{max} , v_{max} se definen en la tabla de datos XML de la correa, al igual que las cotas de la correa y las longitudes y las anchuras disponibles.

Tasa de potencia de correa

$$P_r = (k_z T_a - v m^2) v c_L$$

Factor de servicio resultante

$$C_{PR} = \frac{P_R}{P}$$

La comprobación de resistencia falla si el factor de servicio resultante $C_{Pr} < C_P$.

Inspección de sobretensión

Si $F_{t\max} > F_a$ o $F_t > F_a$, la comprobación de resistencia falla cuando la tensión máxima en un intervalo de la correa o la tensión estática de la correa exceden su valor máximo.

Se recomienda este paso si uno de los criterios que ha fallado es el aumento de anchura de la correa o el diámetro de la polea impulsora. También se puede reducir la tensión de instalación disminuyendo, si es posible, el factor de tensión de la correa k_1 . Si el factor de número de dientes de engranaje k_z es inferior a 1,0, considere la posibilidad de modificar el esbozo de la transmisión de correa.

Velocidad de correa válida e inspección de frecuencia de flexión

Si la frecuencia de flexión de la correa $f_b > f_{\max}$, puede disminuir la eficiencia y es posible que se produzca un deterioro prematuro de la correa. Se muestra la advertencia de error.

Si la velocidad de la correa $v > v_{\max}$, aparece una advertencia de error, ya que la correa no se ha diseñado para esa velocidad.

Significado de las variables utilizadas:

T_{a0}	Máxima tensión de trabajo de correa admitida para anchura base [N]
B	Anchura de la correa [m]
B_0	Anchura base de correa [m]
m_0	Anchura específica de correa para anchura base [Kg/m]
k_z	Factor de dientes en engranaje [-]
T_a	Máxima tensión de trabajo de correa admitida para anchura especificada [N]
m	Peso específico de correa para anchura determinada [kg/m]
v	Velocidad de correa [m/s]
C_L	Factor de corrección de longitud de correa [-]
P_R	Tasa de potencia de correa para un esbozo de transmisión dado [W]

P potencia para transmitir [W]

Normas de correa síncronas

ISO 5294:1989 Transmisiones de correas síncronas - Poleas

ISO 5295:1987 Correas síncronas - cálculo de potencia de salida

ISO 5296:1989 Transmisiones de correas síncronas i - Correas

DIN 7721 Transmisiones de correas síncronas, separación métrica

ANSI/RMA IP-24 Correas síncronas

JIS B 1856 Transmisiones de correas síncronas - Poleas

JIS K 6372 Correas síncronas para transmisiones de potencia general

Cálculo de longitud de la correa síncrona

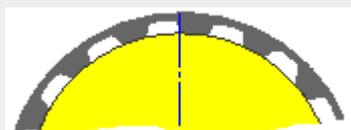
La longitud de paso de la correa viene determinada por el número de dientes de la correa y la separación circular. La trayectoria de la correa se basa en la posición de la polea individual. El diámetro de separación de cada polea viene determinado por las siguientes ecuaciones. La posición de la polea deslizante se ajusta para cumplir los criterios estándar de longitud de correa. El cálculo utiliza la solución de iteración para encontrar la posición adecuada de la polea deslizante que más se acerque a la posición deseada.

Cálculo del diámetro de separación exacto



Polea síncrona en el sentido de las agujas del reloj o correa de doble cara

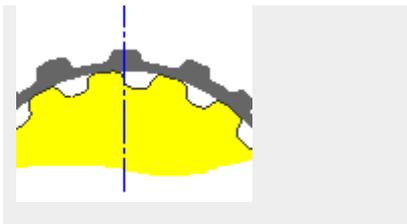
$$D_p = \frac{z \cdot P_d}{\pi}$$



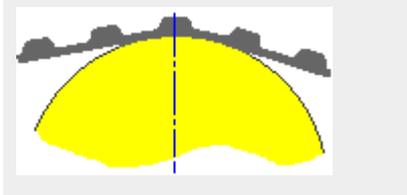
Polea plana en el sentido de las agujas del reloj o correa de doble cara

$$D_p = D + 2(a + h_t)$$

Polea síncrona en el sentido contrario a las agujas del reloj y correa de una sola cara



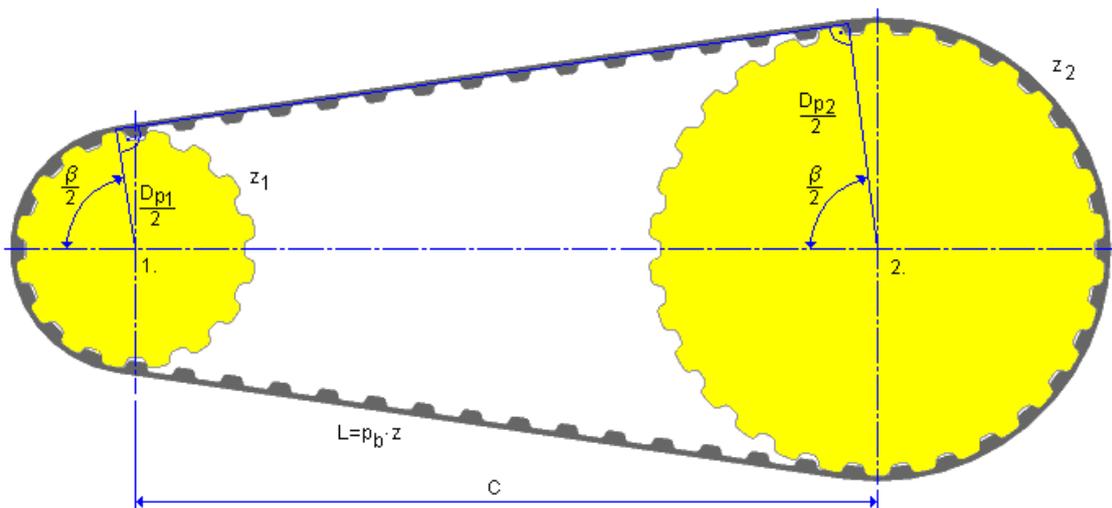
$$D_p = D_0 + 2(H - a - h_t)$$



Polea plana en el sentido contrario a las agujas del reloj y correa de una sola cara

$$D_p = D + 2(H - a - h_t)$$

Ejemplo de transmisión de potencia con 2 poleas



Arco de contacto

$$\beta = 2 \cdot \arccos \left[\frac{p_b \cdot (z_2 - z_1)}{2 \cdot \pi \cdot C} \right]$$

Longitud de correa de separación

$$L = 2 \cdot C \cdot \sin \frac{\beta}{2} + \frac{p_b}{2} \left[z_1 + z_2 + \left(1 - \frac{\beta}{180} \right) \cdot (z_2 - z_1) \right]$$

Distancia al centro

$$C \approx \frac{1}{4} \cdot \left[L - \frac{p_b}{2} \cdot (z_2 + z_1) + \sqrt{\left[L - \frac{p_b}{2} \cdot (z_2 + z_1) \right]^2 - 2 \cdot \left[\frac{p_b}{\pi} \cdot (z_2 - z_1) \right]^2} \right]$$

Se recomienda utilizar la siguiente fórmula para calcular la distancia al centro de una nueva transmisión

$$0.2 p_b (z_1 + z_2) \leq C \leq 0.7 p_b (z_1 = z_2)$$

Significado de las variables utilizadas:

DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

z Número de dientes de la polea especificada/Número de dientes de la correa [-]

p_b Separación circular [m]

D Diámetro nominal de polea plana [m]

a Desfase de línea de paso [m]

h_t Altura del diente de la correa [m]

D_o Diámetro exterior de polea síncrona [m]

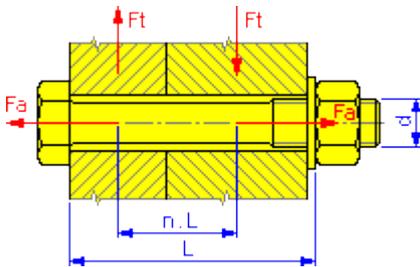
H Altura de la correa [m]

C Distancia al centro de la polea especificada y la polea de transmisión [m]

β Arco de contacto [gr]

Cálculos básicos de conexiones por perno

Cálculo de una conexión por perno con pretensión, cargada con fuerza axial, tangencial o ambas. El cálculo se realiza en unidades métricas o imperiales. Una vez determinada la norma ANSI, se realiza el cálculo en unidades imperiales, incluyendo también las cotas de perno correspondientes.



Parámetros de entrada

- Ψ Factor de apriete: con una conexión por perno pretensada, la distancia entre materiales (debida, por ejemplo, a la mala calidad de la superficie) no es deseable y este coeficiente de seguridad se introduce para evitarla. Factor de apriete $k = 1 + \Psi$ (adicional = 0.5 - 1.5). El valor mínimo recomendado es 1,2.
- F_a fuerza axial de funcionamiento máxima
- n [factor de entrada de fuerza](#)
- F_t fuerza tangencial de funcionamiento máxima
- f [factor de fricción de juntas](#) (entre los materiales conectados)
- z número de pernos
- d diámetro de rosca
- p separación de rosca
- d_s diámetro medio de perno
- d_{\min} diámetro mínimo de perno
- S_y límite de elasticidad
- k_s coeficiente de seguridad (El valor se selecciona según el nivel de seguridad necesario de la junta.)
- p_A presión de rosca admitida (tuerca)
- E_1 módulo de elasticidad del perno
- f_1 [coeficiente de fricción de rosca](#) entre la tuerca y el perno

f_2 [coeficiente de fricción en la superficie de contacto](#) de la tuerca o del perno

L anchura del material conectado

E_2 módulo de elasticidad del material conectado

Parámetros calculados

A partir de las siguientes fórmulas, el programa calcula las cotas geométricas del perno a partir del diámetro nominal del perno especificado:

Diámetro mínimo de la rosca de tuerca

$$D_1 = d - 1.082531 p$$

Diámetro de separación de la rosca

$$d_2 = d - 0.649519 p$$

Cálculo de conexión por perno:

Fuerza de trabajo en la junta: determinada por la fuerza axial, debe asegurar la transferencia de la fuerza tangencial por la fricción de los materiales conectados. También se ve influida por el apriete requerido que se expresa mediante el factor de apriete de juntas.

$$F_{max} = \frac{\psi}{z} \cdot \left(F_a + \frac{F_t}{f} \right)$$

Fuerza de pretensión: se basa en la fuerza de trabajo de la junta, tiene en cuenta el límite de elasticidad de pernos y bridas utilizando las constantes de deformabilidad c_n .

$$F_0 = F_{max} - \left(\frac{c_2}{c_1 + c_2} \right) \cdot \frac{F_a}{z}$$

donde:

$$c_1 = c_{10} + (1 - n) c_{20}$$

$$c_2 = n c_{20}$$

$$c_{10} = \frac{L + 0.8d}{E_1 \cdot \frac{\pi \cdot ds^2}{4}}$$

$$c_{20} = \frac{L}{E_2 \cdot \frac{\pi}{4} \left(\left(1.5d + \frac{L}{a} \right)^2 - 1.05d^2 \right)}$$

para acero $a = 10$

para hierro fundido $a = 8$

para aluminio y sus aleaciones $a = 6$

Par de apriete requerido: determinado por la fuerza de pretensión e influido por el coeficiente de fricción en las roscas entre la tuerca y el perno, y por el coeficiente de fricción en la superficie de contacto de la tuerca o del perno.

$$M_u = F_0 \left[\frac{d_2}{2} \cdot \tan \left(\frac{p}{\pi \cdot d_2} + \frac{f_1}{\cos 30^\circ} \right) + 0,7d \cdot f_2 \right]$$

Tensión de tracción calculada en el perno

$$\sigma_t = \frac{4 \cdot F_0}{\pi \cdot d_{\min}^2}$$

Tensión de torsión calculada en el perno

$$\tau_k = \frac{16 \cdot M_u}{\pi \cdot d_{\min}^3}$$

Tensión reducida en el perno

$$\sigma_{red} = \sqrt{\sigma_t^2 + 3 \cdot \tau_k^2}$$

Tensión causada por la fuerza de carga máxima en el perno

$$\sigma_{max} = \frac{4 \cdot F_{max}}{\pi \cdot d_{\min}^2}$$

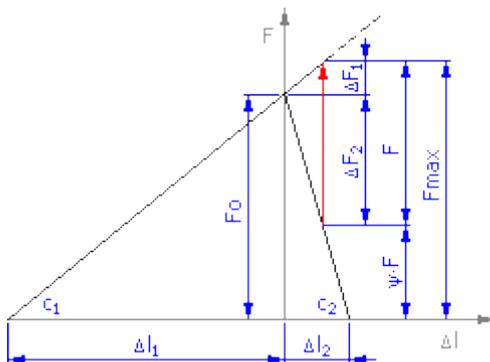
Presión calculada en la rosca

$$p_c = \frac{4F_{max}}{\pi(d^2 - D_1^2) \frac{0,8d}{p}}$$

Comprobación del cálculo: tensión del perno durante el apriete de la junta y durante el funcionamiento (respetando el grado de seguridad de la junta especificado), y comprobación de la presión admitida en las roscas.

$$\sigma_{rojo} \leq S_y / k_s \text{ y } \sigma_{m\acute{a}x} \leq S_y / k_s \text{ y } p_c \leq p_A$$

Diagrama de la unión de conexión por perno de pretensión



donde:

DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

F	fuerza de funcionamiento
Ψ	factor de apriete de juntas
F_o	fuerza de pretensión
$F_{m\acute{a}x}$	fuerza de funcionamiento máxima en el perno
ΔF_1	aumento de la pretensión en el perno debido a la fuerza de funcionamiento
ΔF_2	reducción de la fuerza de sujeción en la junta debido a la fuerza de funcionamiento
Δl_1	alargamiento del perno
Δl_2	compresión del material conectado
c_1	constante de muelle del perno
c_2	constante de muelle del material conectado

Coefficiente de fricción para conexiones por perno

Material	sin lubricar	lubricado
acero - acero	0,8	0,16
acero - hierro fundido	0,4	0,21
acero - latón	0,35	0,19
acero - latón	0,13	0,16
hierro fundido - hierro fundido	1	0,15 - 0,20
hierro fundido - bronce	0,25	0,08
bronce - bronce	0,25	0,10

DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

aluminio - aluminio	1,35	0,30
cobre - cobre	2	0,08
acero - plexiglás	0,4 - 0,5	0,4 - 0,5
plexiglás - plexiglás	0,8	0,8

Coefficiente de fricción en rosca F1 de conexiones por perno

Superficie de la rosca	sin lubricar	lubricado
revestimiento negro o de fosfato	0,14 a 0,21	0,12 a 0,15
revestimiento de zinc galvánico	0,13 a 0,18	0,12 a 0,17
revestimiento de cadmio	0,08 a 0,12	0,08 a 0,11

Factor de entrada de fuerza n en conexiones por perno

Ejemplos de carga de fuerza

	$n = 1$ ($L_F = L$)	$n = 0,75$ ($L_F = 0,75 L$)	$n = 0,5$ ($L_F = 0,5 L$)	$n = 0,25$ ($L_F = 0,25 L$)

donde: L_F ... es la anchura del material cargado por la fuerza de funcionamiento

Presión admitida en roscas de conexiones por perno

Presión admitida en las roscas de pernos de conexión.

Material de la tuerca	Clase de resistencia del material del perno según las normas CSN e ISO									
	4A	4D	4S	5D	5S	6S	6G	8G, 8E	10K, 10G	12K
	3,6	4,6	4,8	5,6	5,8	6,8	6,9	8,8	10,9	12,9
pA [MPa]										
acero	40	50	75	70	90	110	120	150	200	250K
hierro fundido gris	25	30	45	40	55	70	80	90	125	150
aleaciones ligeras	18	20	30	27	35	45	50	60	80	90

Resistencia a la fatiga en las conexiones por perno

Los procedimientos de comprobación convencionales en conexiones por perno con carga de fatiga (basados en el límite de elasticidad del material) no proporcionan una garantía suficiente para el diseño seguro de las juntas. Por esta razón, la resistencia a la fatiga de la junta se emplea para comprobar juntas con carga de fatiga. A continuación, se expone la comprobación de uniones de conexión por perno con carga de fatiga. Esta descripción sigue paso a paso la implantación en el programa:

1. Determinación de un límite de resistencia

En el primer paso del cálculo se determina el límite de resistencia con la resistencia constante σ_c para el tipo, diseño, carga y material de la conexión por perno especificados.

2. Determinación del límite de fatiga en vida finita

El límite de fatiga en vida finita σ_f se calcula para la vida útil de la unión especificada, es decir, en el rango de resistencia a lo largo del tiempo (ciclos $N < 10^6$). El cálculo continúa con este límite de fatiga en vida finita.

3. Cálculo de parámetros de cargas de fatiga particulares

Los valores medios para cargas cíclicas superiores e inferiores determinadas se calculan a partir de las siguientes fórmulas. Este cálculo se realiza para todas las cargas especificadas.

$$F_m = \frac{F_h + F_n}{2}, F_a = \frac{F_h - F_n}{2}$$

4. Efecto de recorridos

Si los recorridos afectan a la junta además de la carga de fatiga, se debe incluir su influencia en el cálculo, lo que se consigue utilizando el factor de recorrido dinámico en la fórmula para determinar la carga máxima calculada:

$$F_{m\acute{a}x} = F_m + \eta F_a$$

5. Cálculo de la tensión que actúa en la unión de conexión por perno

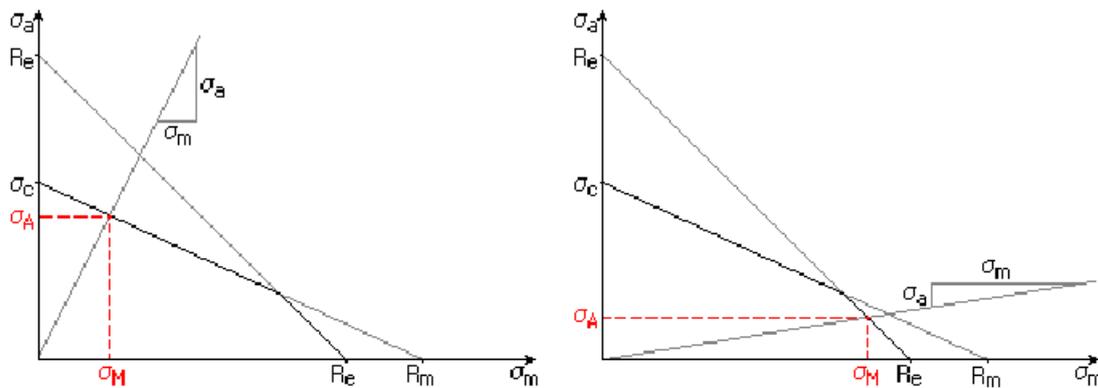
La tensión cíclica media σ_m y la tensión cíclica superior σ_h se calculan para la carga cíclica media especificada F_m y la carga calculada máxima $F_{m\acute{a}x}$ con las fórmulas empleadas en el cálculo estático. Estas tensiones se utilizan para el cálculo de la amplitud cíclica de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\sigma_a = \sigma_h - \sigma_m$$

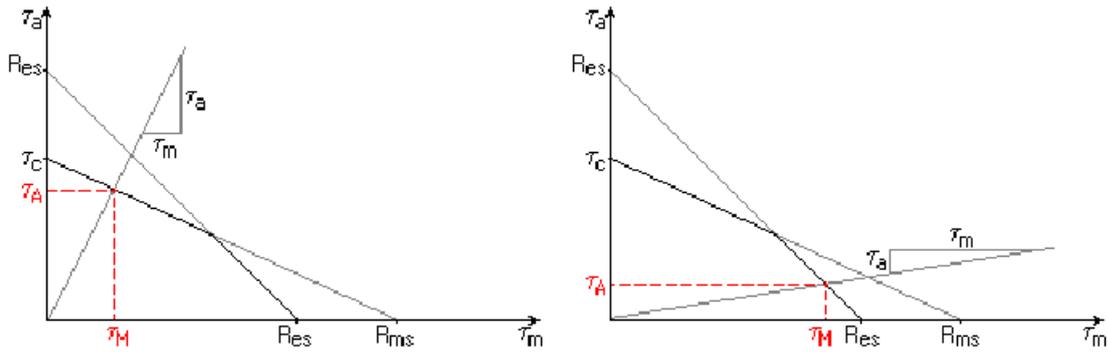
6. Determinación de la resistencia a la fatiga de la junta

Para la tensión calculada y el límite de resistencia conocido, la resistencia a la fatiga de la junta resultante se determina fácilmente a partir de la curva de fatiga seleccionada. El procedimiento para determinar la resistencia a la fatiga para tensiones normales y de corte resulta obvio en las siguientes ilustraciones.

Diagramas de Haigh de tensión normal para distintos coeficientes σ_a / σ_m (se utiliza la curva de fatiga modificada de Godman):



Diagramas de Haigh de tensión normal para distintos coeficientes τ_a / τ_m (se utiliza la curva de fatiga modificada de Godman):



7. Comprobación de junta

En el último paso, el programa calcula el coeficiente de seguridad de la junta $n_c = \sigma_A / \sigma_a$ y lo compara con el grado de seguridad requerido. Para que la conexión por perno sea adecuada, debe cumplirse la condición $n_f \leq n_c$.

Determinación del límite de resistencia de las conexiones por perno

El límite de resistencia corregido con la resistencia constante σ_e de la conexión por perno viene determinado para el tipo, diseño, material y carga de la junta seleccionados a partir de la fórmula:

$$\sigma_e = \sigma'_e k_e k_f [\text{MPa, lpc}]$$

donde:

σ'_e límite de resistencia básica de una barra de prueba del material seleccionado [MPa, lpc]

k_e factor modificado de concentración de tensión [-]

k_f factor de efectos diversos [-]

1. Límite de resistencia básica σ'_e

Si no cuenta con los resultados de las pruebas del material seleccionado para la conexión por perno y no conoce el valor exacto del límite de resistencia básica, se puede calcular mediante el programa. En este caso, el cálculo diseñará el límite de resistencia básica a partir de la fórmula de tracción invertida - presión:

$$\sigma'_e \approx 0.4 S_u - \text{para tracción invertida - presión}$$

S_u tensión máxima de tracción [MPa, lpc]

2. Factor modificado de concentración de tensión k_e

En las juntas se originan concentraciones de altas tensiones locales cuando la conexión por perno tiene carga de fatiga debido al efecto de la muesca de la conexión por perno. Estas concentraciones reducen considerablemente la resistencia a la fatiga de la junta. El factor modificado de concentración de tensión está determinado por la fórmula $k_t = 1/K$, donde el factor K de reducción de resistencia a la fatiga depende del tipo, la forma, el diseño, la calidad y la carga de la conexión por perno.

3. Factor de efectos diversos k_f

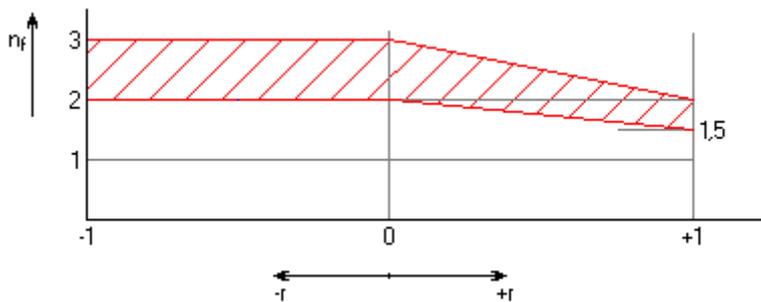
Todos los demás efectos que pueden reducir o aumentar la resistencia a la fatiga de la conexión por perno (la influencia de la corrosión, por ejemplo) se incluyen en este factor.

Coefficiente de seguridad de la carga de fatiga en conexiones por perno

El coeficiente de seguridad mínimo requerido de la conexión por perno durante la carga de fatiga representa un coeficiente de carga de fatiga y la tensión calculada de la conexión por perno, es decir, $n_f \leq \sigma_A / \sigma_a$ o $n_f \leq \tau_A / \tau_a$.

El valor mínimo recomendado del coeficiente de seguridad durante la carga de fatiga se incluye en el rango $n_f = \langle 1,5 \dots 3 \rangle$ y depende del patrón de carga de la fatiga. En general, la carga invertida es menos favorable que la carga fluctuante cuando se considera la carga de fatiga de las conexiones por perno.

La siguiente ilustración muestra el efecto del recorrido de la carga en relación con la seguridad de la conexión por perno. El rango de valores mínimos recomendados para el coeficiente de seguridad, el cual depende del valor del factor de asimetría cíclica $r = \sigma_n / \sigma_h$, aparece sombreado.



Curvas de fatiga en conexiones por perno

Para determinar la resistencia a la fatiga de las conexiones por perno se puede utilizar el método de tensión media virtual.

$$\left(\frac{\sigma_a}{\sigma_e} \right) + \left(\frac{\sigma_m}{\sigma_F} \right) = 1, \quad \left(\frac{\tau_a}{\tau_e} \right) + \left(\frac{\tau_m}{\tau_F} \right) = 1$$

donde:

σ_a, τ amplitud de tensión normal (corte) [MPa, lpc]

a

DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

σ_e, τ_e límite de resistencia con resistencia constante [MPa, lpc]

σ_m, τ_m tensión cíclica media [MPa, lpc]

σ_F, τ_F tensión media virtual [MPa, lpc]

$$\sigma_F = \frac{\sigma_e}{\Psi}, \tau_F = \frac{\tau_e}{\Psi}$$

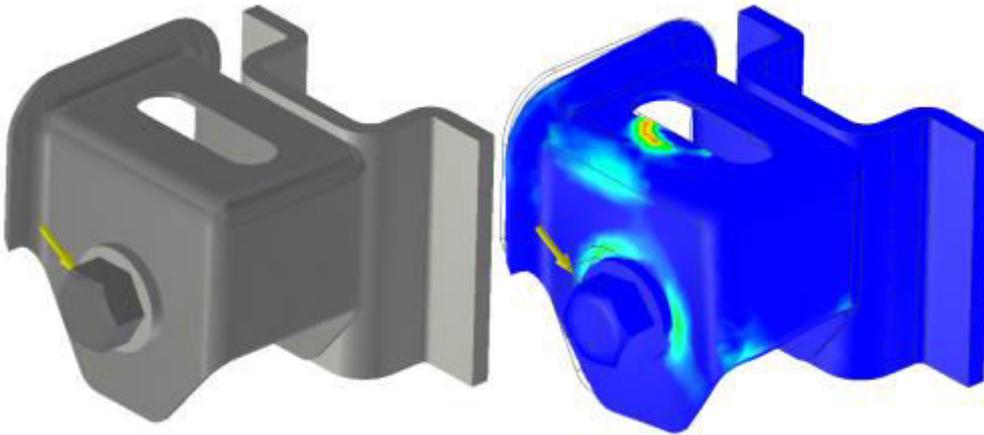
Ψ factor de estrechamiento del diagrama de Haigh [-]

depende del material de la junta (valores recomendados) para la tracción y el plegado $\Psi < 0,15 \dots 0,3 >$

- para el corte $\Psi < 0,1 \dots 0,25 >$.

Acerca del análisis de tensión

Un análisis de tensión puede ayudarle a encontrar las mejores alternativas de diseño para una pieza o un ensamblaje. En las primeras fases de desarrollo del diseño, puede asegurarse de que el diseño es satisfactorio para el uso esperado sin que se rompa o deforme.



En Análisis de tensión, hay dos tipos de simulaciones:

- Análisis estático evalúa las condiciones de carga estructural.
- Análisis modal evalúa los modos de frecuencia naturales, incluidos los movimientos de los cuerpos rígidos.

Después de crear una simulación y establecer los parámetros que se desea evaluar, se ejecuta la simulación. Una simulación:

- Crea los casos.
- Realiza el modelado geométrico.
- Realiza la detección automática de contactos.
- Genera las mallas.
- Resuelve el modelo para cada punto de datos.

Tras la simulación, se evalúan los resultados en la región gráfica.

La simulación genera un conjunto de resultados CEF para todas las combinaciones de parámetros que se definen.



Se admiten operaciones de ensamblaje y conjuntos soldados. Los parámetros usados en estas operaciones se pueden incluir en una simulación de cota paramétrica, incluidos los cordones de soldadura.

Los cuerpos de soldadura contribuyen a la lista de cuerpos, se evalúan los contactos y se crea la malla. En el caso de soldaduras en las que los contactos de las caras no están soldados, se recomienda usar el tipo de contacto Separación. Los contactos de las caras sin soldadura no están correctamente fijados. Para conseguirlo, podría ser necesario editar un contacto automático o añadir manualmente un contacto.

Proceso típico para el análisis de tensión

1. **Definición de expectativas** Estime el comportamiento físico usando un modelo conceptual.
2. **Preproceso** Defina el material y las condiciones del contorno (cargas y restricciones) y especifique las condiciones de contacto y las preferencias de malla.
3. **Resolución** Ejecute la simulación para resolver la representación matemática y generar la solución. Para encontrar un resultado, la pieza se divide en elementos más pequeños. El solucionador combina los comportamientos individuales de cada elemento. Predice el comportamiento de todo el sistema físico mediante la resolución de un conjunto de ecuaciones algebraicas simultáneas.
4. **Procesamiento posterior:** visualice y evalúe los resultados.
5. **Revisión de las expectativas** El procesamiento posterior es el estudio de los resultados de la solución y la fase de introducción de mejoras del proceso.
6. **Conclusión (mejora de los datos especificados):** ¿responden los resultados a las expectativas?

Si la respuesta es **SÍ**, el trabajo de análisis ha concluido.

Si la respuesta es **NO**, se modifican los datos introducidos para mejorar los resultados. Para realizar modificaciones, se puede reducir la complejidad geométrica, eliminar la geometría cuestionable, cambiar las cargas o restricciones, cambiar el tipo de análisis, etc. El refinado es un proceso muy repetitivo.

Descripción general del análisis de estructura

Entienda la integridad estructural de una estructura determinada en relación con las deformaciones y tensiones, cuando está sujeta a varias cargas o restricciones.

Use Análisis de estructura para comprender la integridad estructural de una estructura determinada en relación con las deformaciones y tensiones, cuando está sujeta a varias cargas o restricciones. Una vez definidos los criterios, puede ejecutar la simulación y ver el comportamiento relativo a las condiciones definidas. Las simulaciones ayudan a identificar los problemas de rendimiento y a encontrar alternativas de diseño mejores.

Los elementos de viga son lineales. El análisis de estructura no admite las vigas curvadas. Las vigas curvadas deben dividirse en pequeñas piezas lineales.

Cada elemento de viga tiene seis grados de libertad en el inicio y el final de una viga (tres rotacionales y tres grados de libertad de desplazamiento). Los nodos en vigas definen en buena medida los puntos importantes en la estructura. Se pueden utilizar para definir las fuerzas, por ejemplo. En el análisis modal, los nodos pueden concentrar masas.

Las siguientes funciones clave están disponibles en Análisis de estructura:

- El análisis de estructura modal y estático de uno o varios estudios de simulación.
- Operaciones adaptativas automáticas para controlar la precisión de los resultados.
- Amplia selección de condiciones del contorno (cargas y restricciones).
- Función de procesamiento posterior completo para la visualización 3D de los resultados y para la publicación de informes Web.

Flujo de trabajo de análisis de estructura

Desde una perspectiva de alto nivel, un flujo de trabajo de análisis de estructura típico tiene el siguiente aspecto:

1. **Definición de expectativas:** estime el comportamiento físico usando un modelo conceptual.
2. **Procesamiento previo:** especifique los parámetros físicos en el modelo y defina los análisis que desea ejecutar.
3. **Resolución:** resuelva el modelo matemático.
4. **Procesamiento posterior:** visualice y evalúe los resultados.
5. **Revisión de las expectativas:** compare los resultados con las expectativas iniciales.
6. **Conclusión (mejora de los datos especificados):** ¿responden los resultados a las expectativas?
7. Si la respuesta es **NO**, se revisan y se modifican los datos introducidos para mejorar los resultados. Las modificaciones pueden incluir, entre otras, las siguientes: eliminar las vigas no deseadas, cambiar las cargas o las restricciones, cambiar el tipo de análisis, etc. Existen numerosos caminos que se pueden explorar para depurar los resultados de los análisis y aproximarlos a las expectativas. La idea esencial es que el refinado es un proceso enormemente repetitivo.

8. Si la respuesta es **SÍ**, el trabajo de análisis ha concluido. El resultado más probable es que el diseño se refina y mejora.

Flujo de trabajo de análisis de estructura de Inventor

Cuando se inicia el análisis de estructura, el ensamblaje del Generador de estructuras o un ensamblaje creado con los miembros de estructura del Centro de contenido se convierte automáticamente en vigas y nodos. La información que se lee del modelo de origen incluye:

- Datos de sección de viga
- Materiales de viga
- Se validan las referencias a condiciones de contorno
- Los puntos de inicio y fin de las vigas aparecen unidos por un grado de tolerancia especificado
- El informe muestra los materiales que son insuficientes o las propiedades de secciones transversales incorrectas

Anexo #3 - Cálculo de Rodillo

Frame Analysis Report

Physical

Mass	1,555 kg
Area	2651,011 mm ²
Volume	198,118 mm ³
Center of Gravity	x=201,591 mm y=2,793 mm z=0,000 mm

Simulation:1

Material(s)

Name	Steel	
General	Mass Density	7,850 g/cm ³
	Yield Strength	207,000 MPa
	Ultimate Tensile Strength	345,000 MPa
Stress	Young's Modulus	210,000 GPa
	Poisson's Ratio	0,300 ul
Part Name(s)	AFNOR 101,6 x 1,5 00000001.ipt	

Cross Section(s)

Geometry Properties	Section Area (A)	471,710 mm ²
	Section Width	101,600 mm
	Section Height	101,600 mm
	Section Centroid (x)	50,800 mm
	Section Centroid (y)	50,800 mm
Mechanical Properties	Moment of Inertia (I _x)	590950,205 mm ⁴
	Moment of Inertia (I _y)	590950,205 mm ⁴

DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

	Torsional Rigidity Modulus (J)	1181900,409 mm ⁴
	Section Modulus (W _x)	11632,878 mm ³
	Section Modulus (W _y)	11632,878 mm ³
	Torsional Section Modulus (W _z)	23265,756 mm ³
	Reduced Shear Area (A _x)	235,890 mm ²
	Reduced Shear Area (A _y)	235,890 mm ²
Part Name(s)	AFNOR 101,6 x 1,5 00000001.ipt	

Beam Model

Nodes	2
Beams	1
- Round Tubes	1

Operating conditions

Gravity

Load Type	Gravity
Magnitude	9810,000 mm/s ²
Direction	Y-

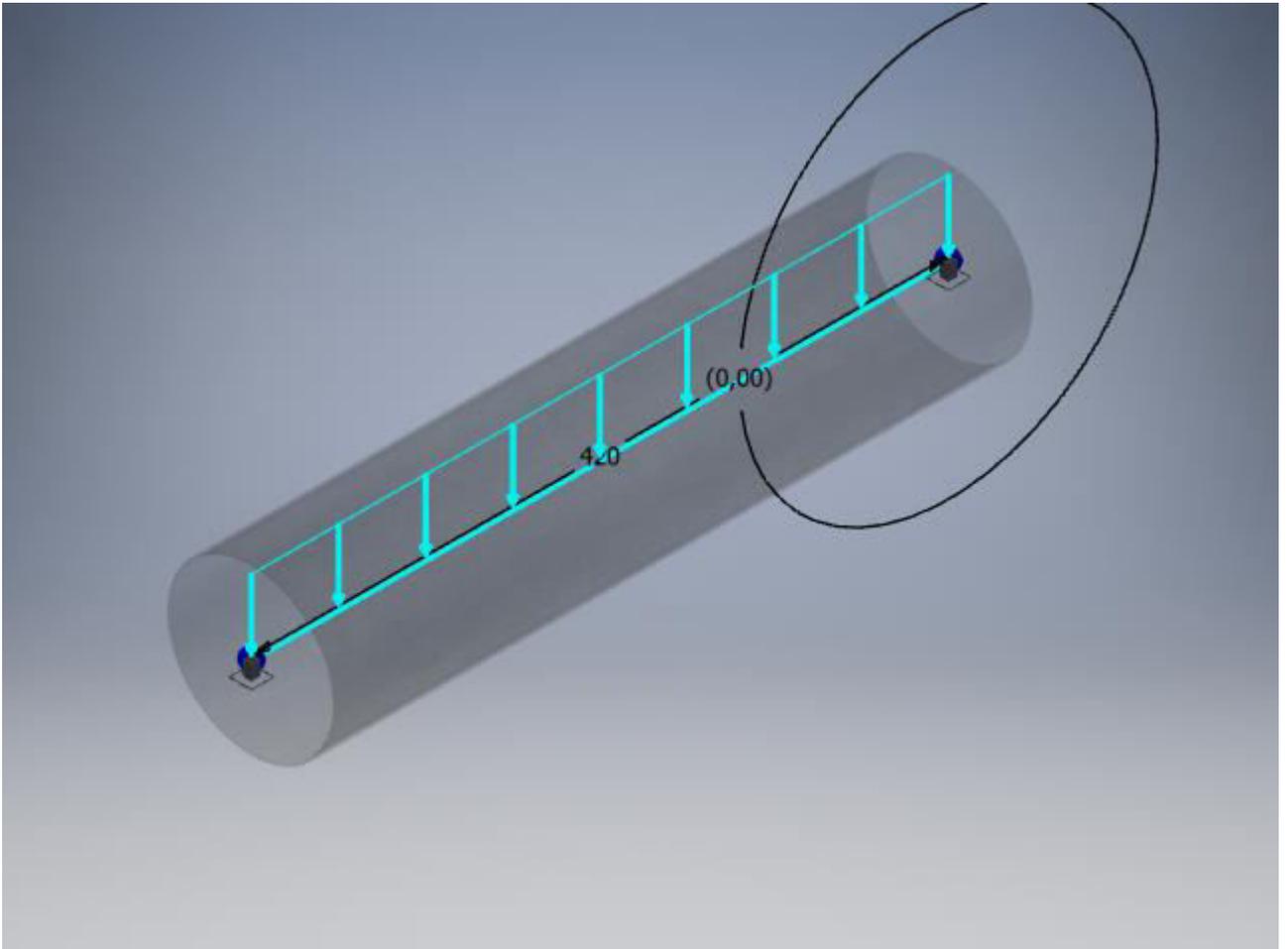
Continuous Load:1

Load Type	Continuous Load
Magnitude	1,160 N/mm
Beam Coordinate System	No
Angle of Plane	270,00 deg
Angle in Plane	90,00 deg
Q _x	0,000 N/mm
Q _y	-1,160 N/mm
Q _z	0,000 N/mm

DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

Offset	0,000 mm
Length	420,000 mm
End Magnitude	1,160 N/mm

Selected Reference(s)



Fixed Constraint:1

Constraint Type	Fixed
Offset	0,000 mm

Fixed Constraint:2

Constraint Type	Fixed
Offset	1,00000 ul

Results

Reaction Force and Moment on Constraints

Constraint Name	Reaction Force		Reaction Moment	
	Magnitude	Components (Fx,Fy,Fz)	Magnitude	Components (Mx,My,Mz)
Fixed Constraint:1	251,228 N	0,000 N	17585,988 N mm	0,000 N mm
		251,228 N		0,000 N mm
		-0,000 N		-17585,988 N mm
Fixed Constraint:2	251,228 N	0,000 N	17585,988 N mm	0,000 N mm
		251,228 N		-0,000 N mm
		-0,000 N		17585,988 N mm

Static Result Summary

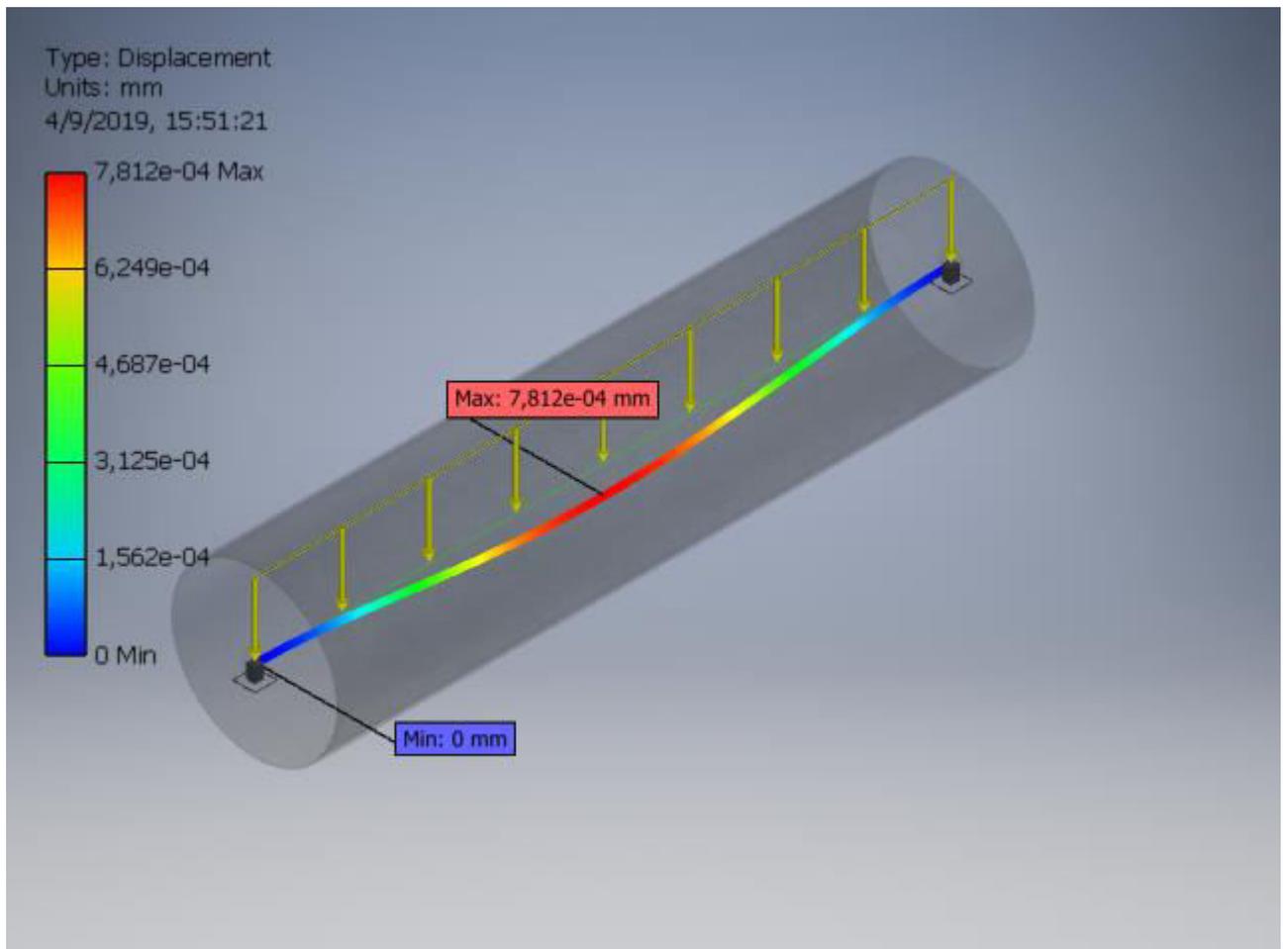
Name		Minimum	Maximum
Displacement		0,000 mm	0,001 mm
Forces	Fx	-0,000 N	0,000 N
	Fy	-251,228 N	251,228 N
	Fz	0,000 N	0,000 N
Moments	Mx	-17585,988 N mm	8792,994 N mm
	My	-0,000 N mm	0,000 N mm
	Mz	0,000 N mm	0,000 N mm
Normal Stresses	Smax	0,045 MPa	1,512 MPa
	Smin	-1,512 MPa	-0,045 MPa
	Smax(Mx)	0,045 MPa	1,512 MPa
	Smin(Mx)	-1,512 MPa	-0,045 MPa
	Smax(My)	-0,000 MPa	0,000 MPa

DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

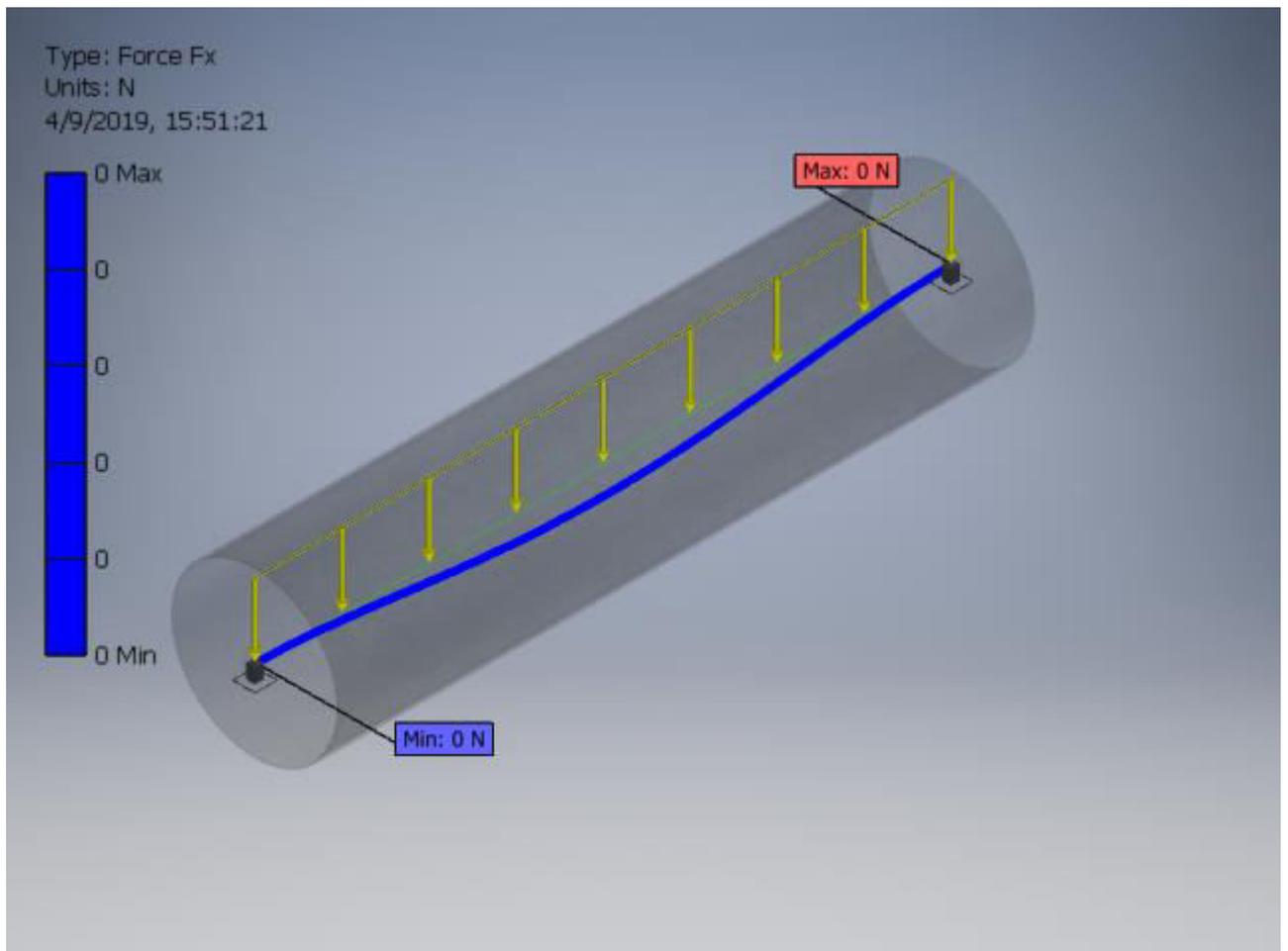
	Smin(My)	-0,000 MPa	0,000 MPa
	Saxial	0,000 MPa	0,000 MPa
Shear Stresses	Tx	-0,000 MPa	0,000 MPa
	Ty	-1,065 MPa	1,065 MPa
Torsional Stresses	T	0,000 MPa	0,000 MPa

Figures

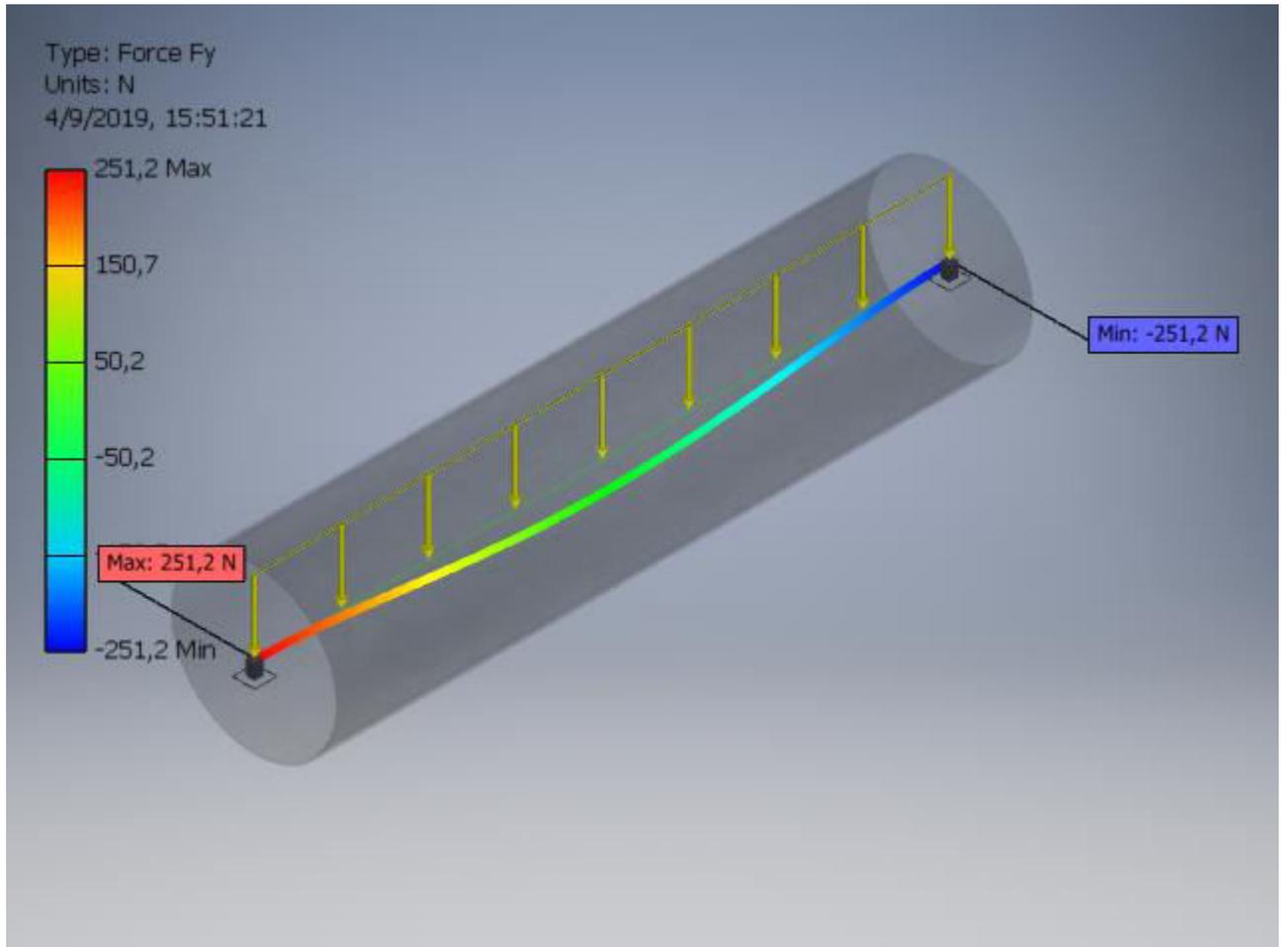
Displacement



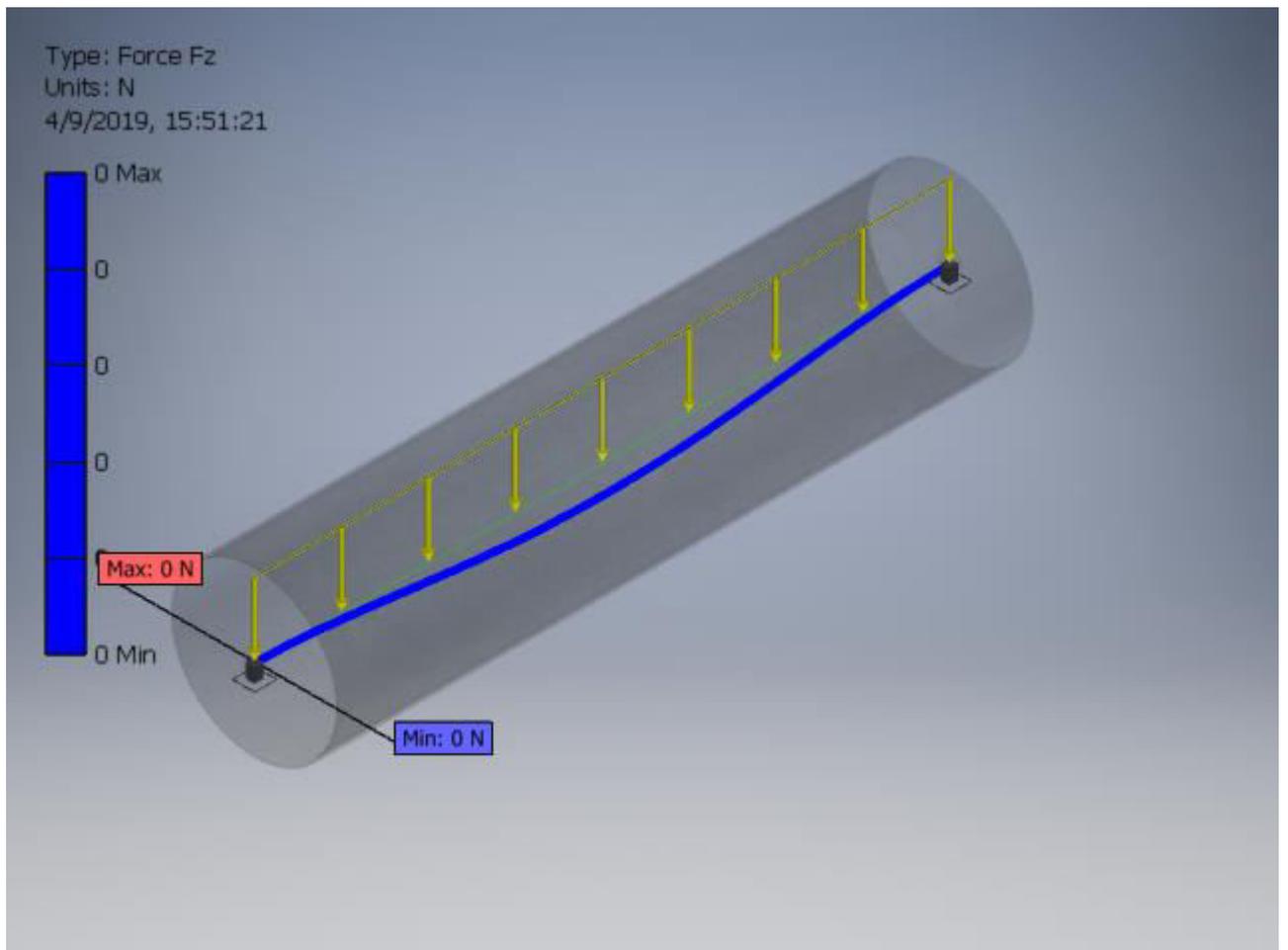
Fx



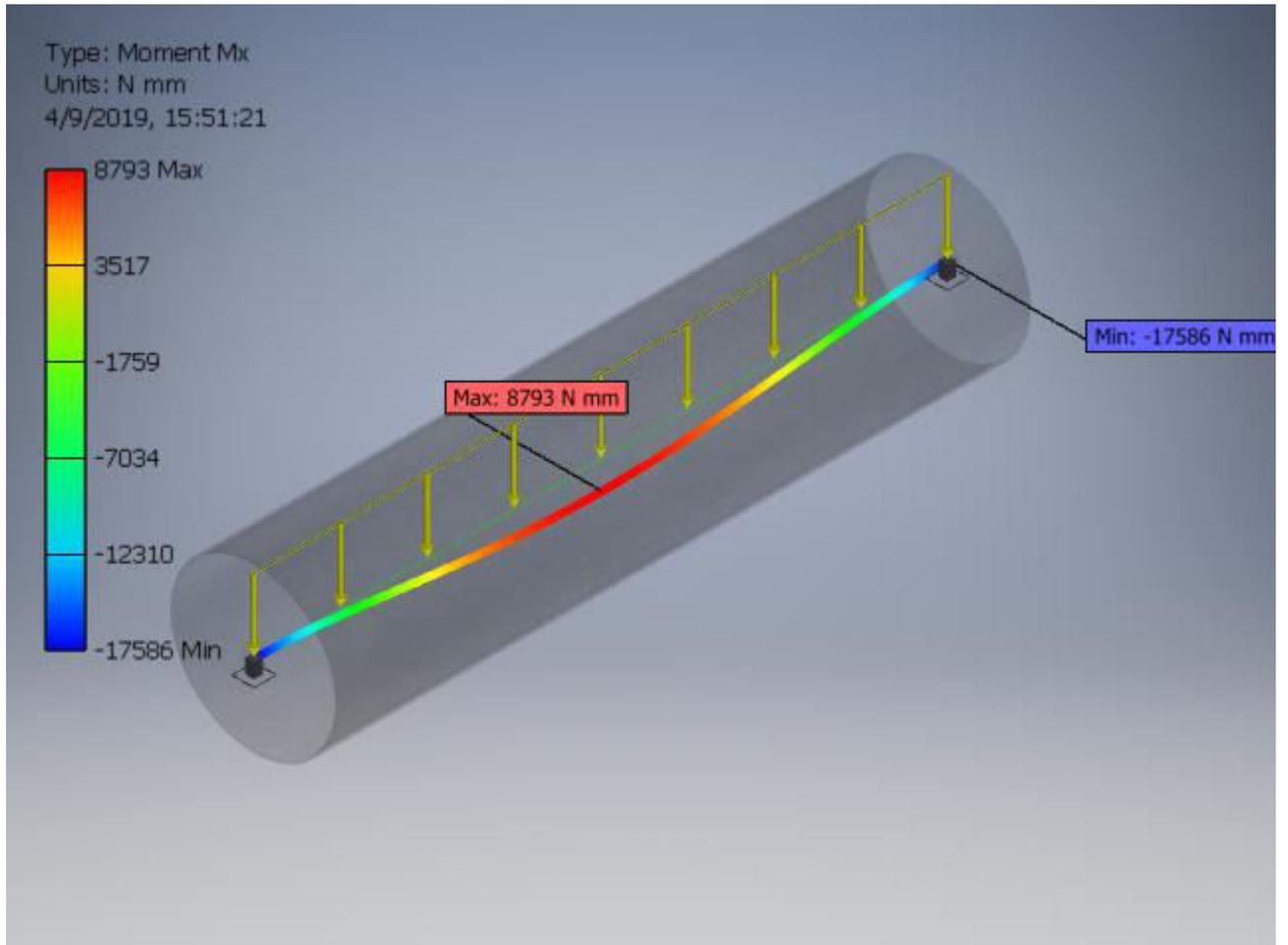
Fy



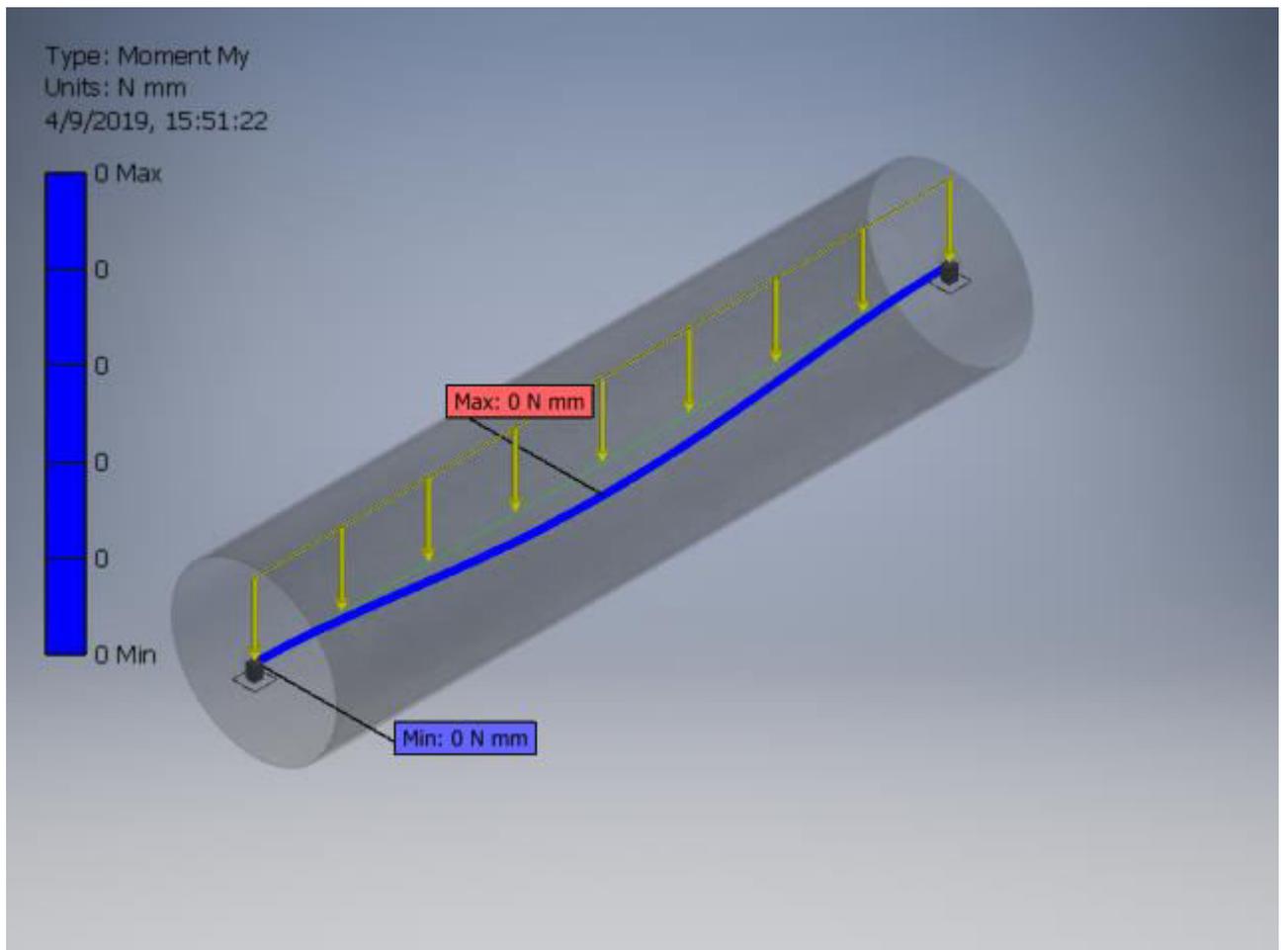
Fz



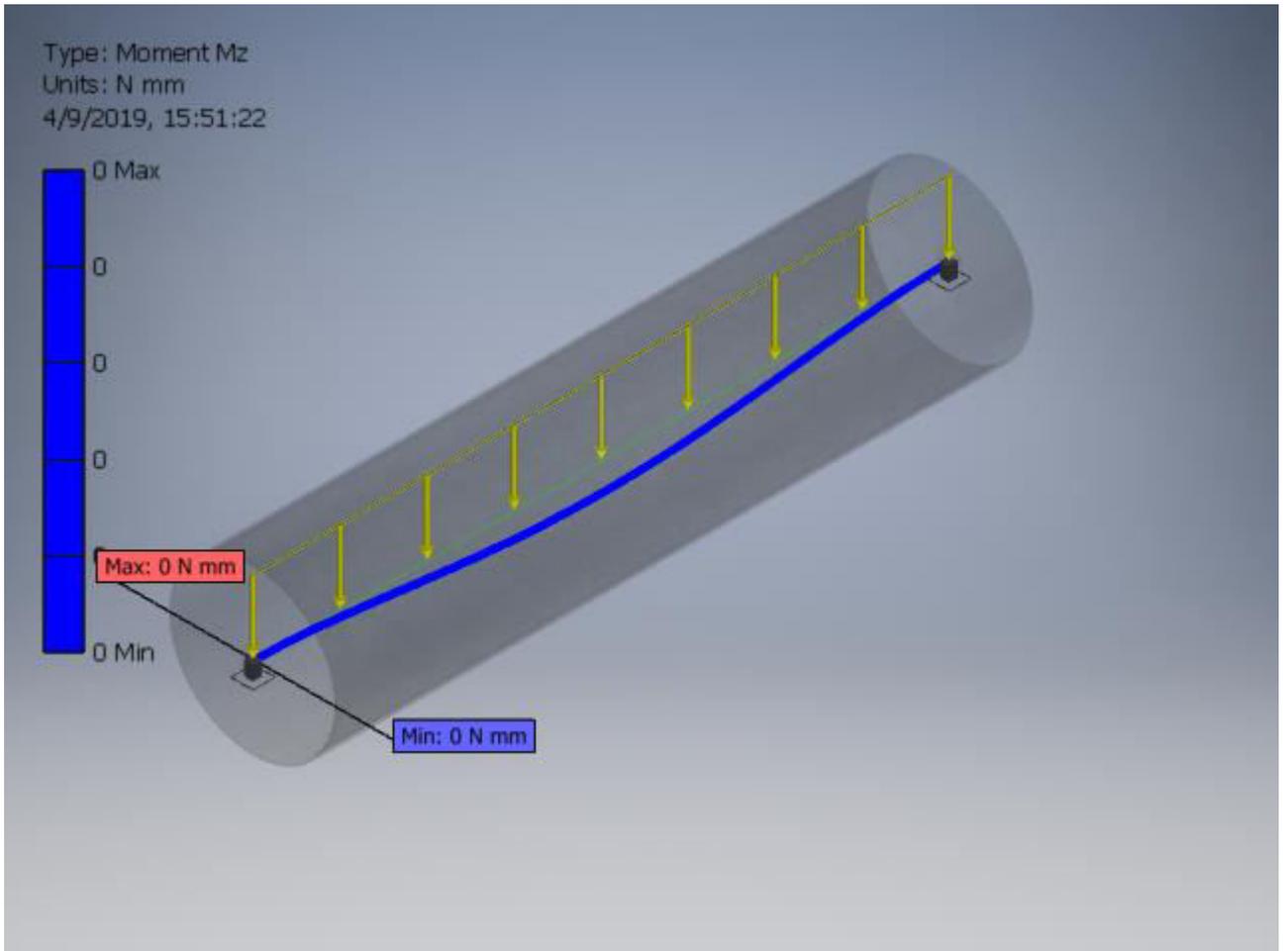
Mx



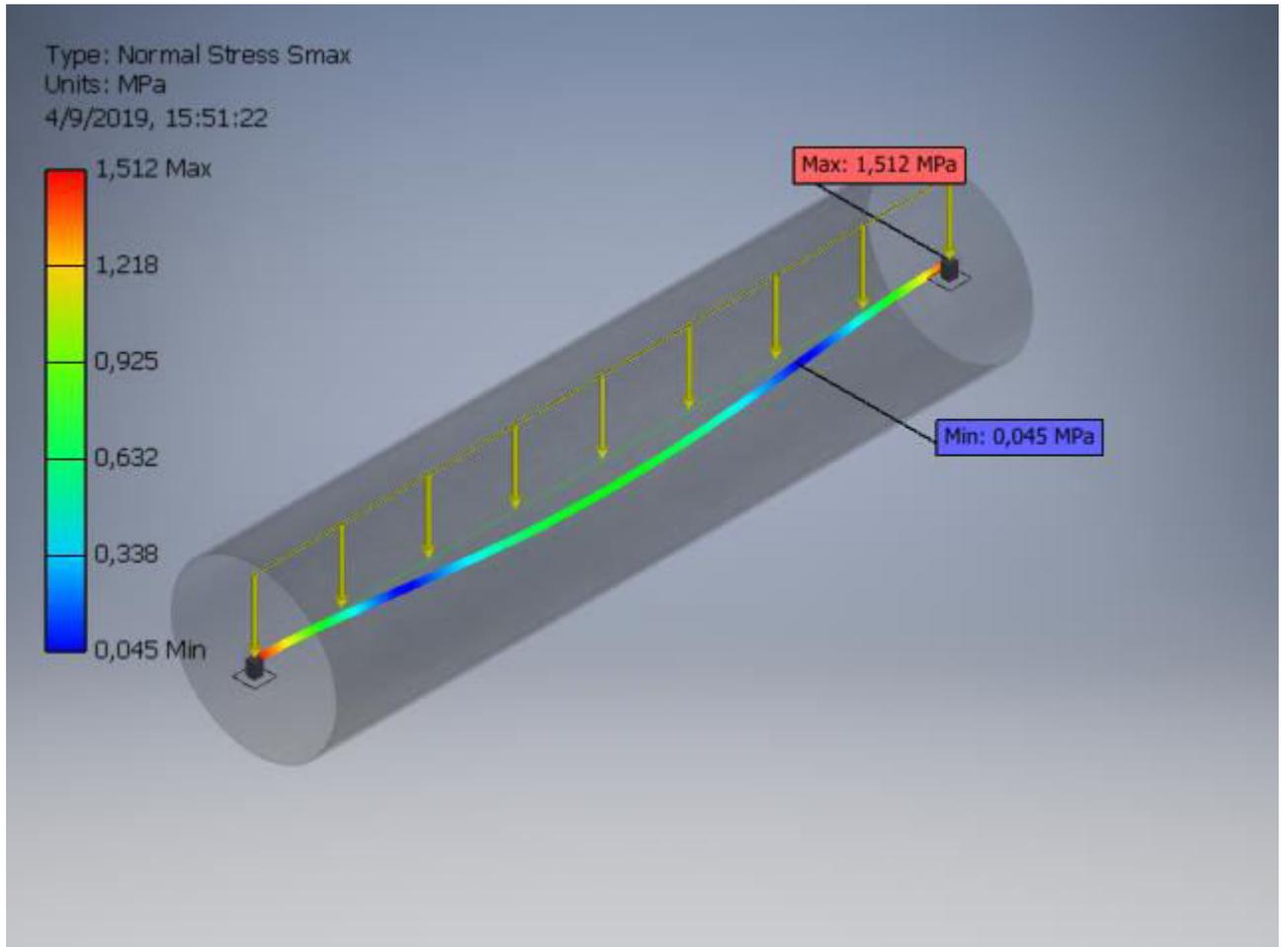
My



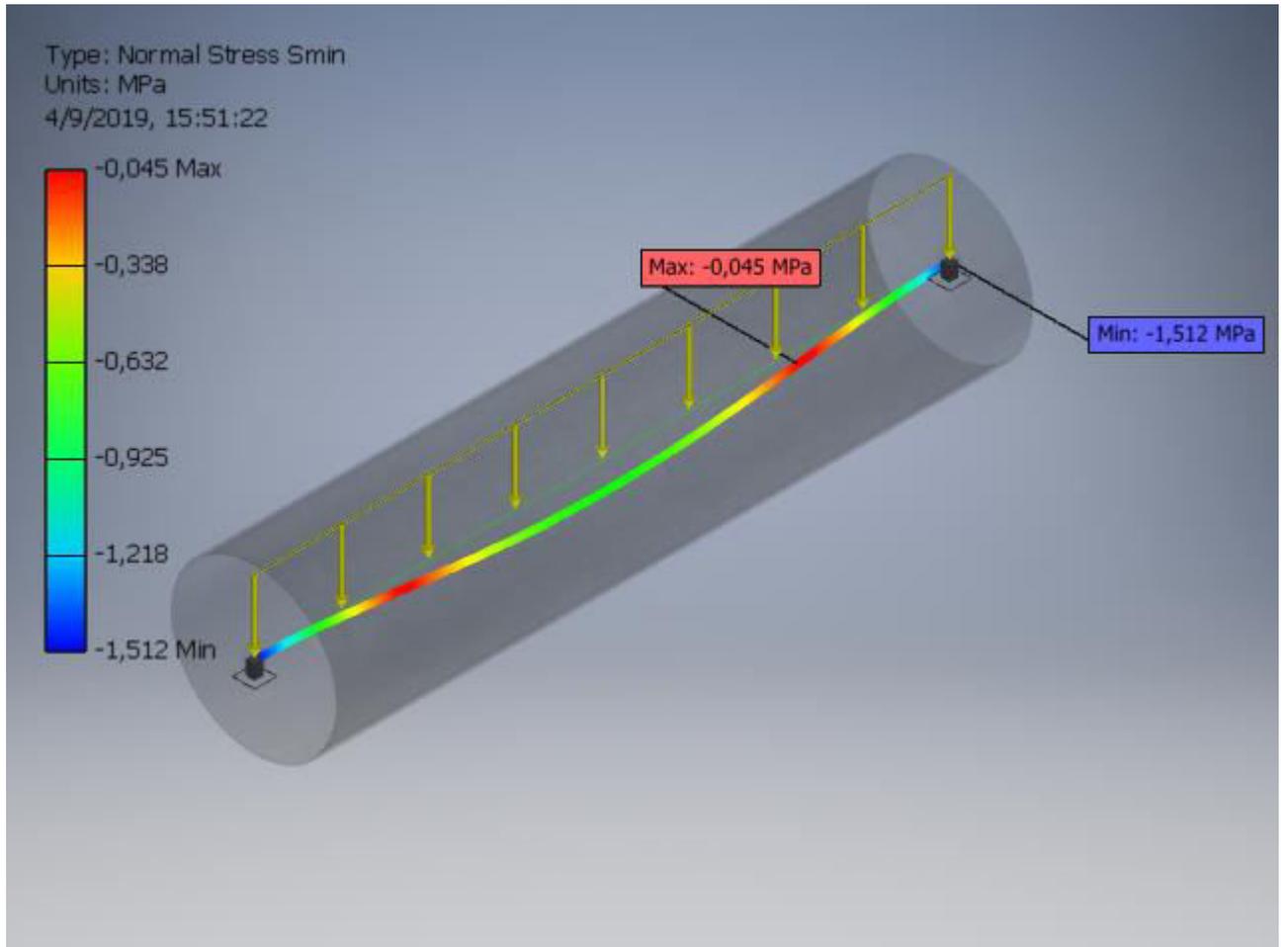
Mz



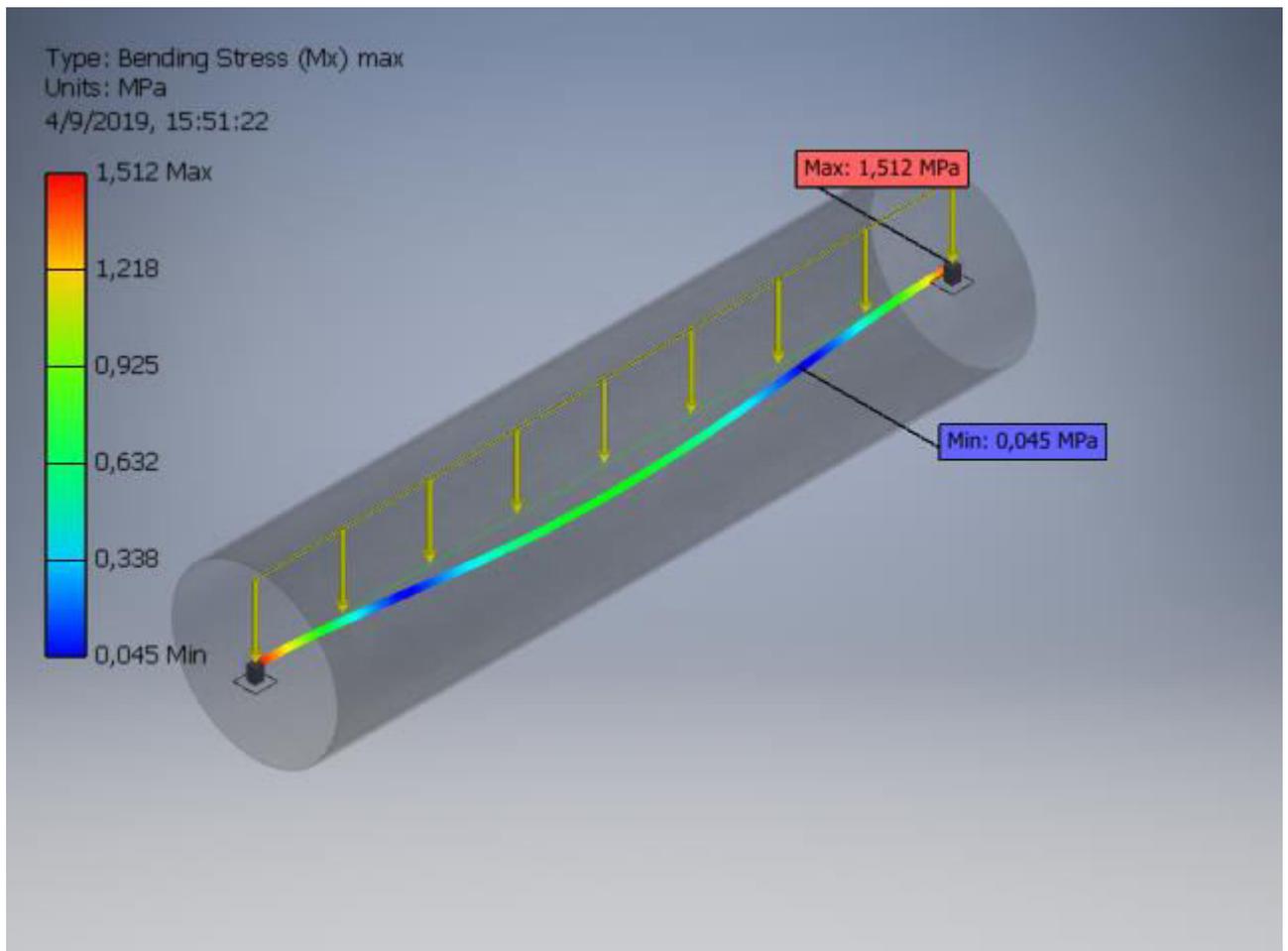
Smax



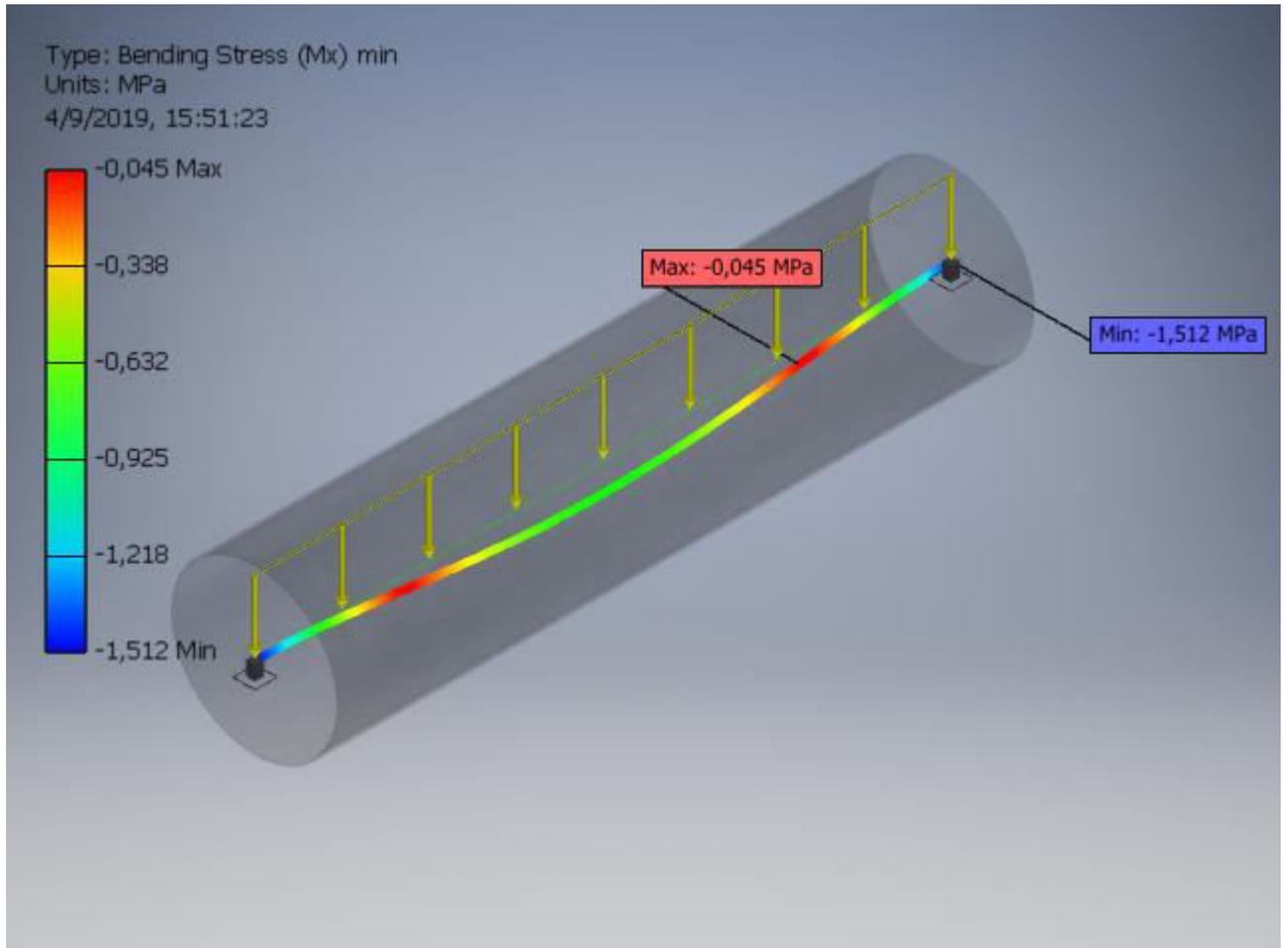
Smin



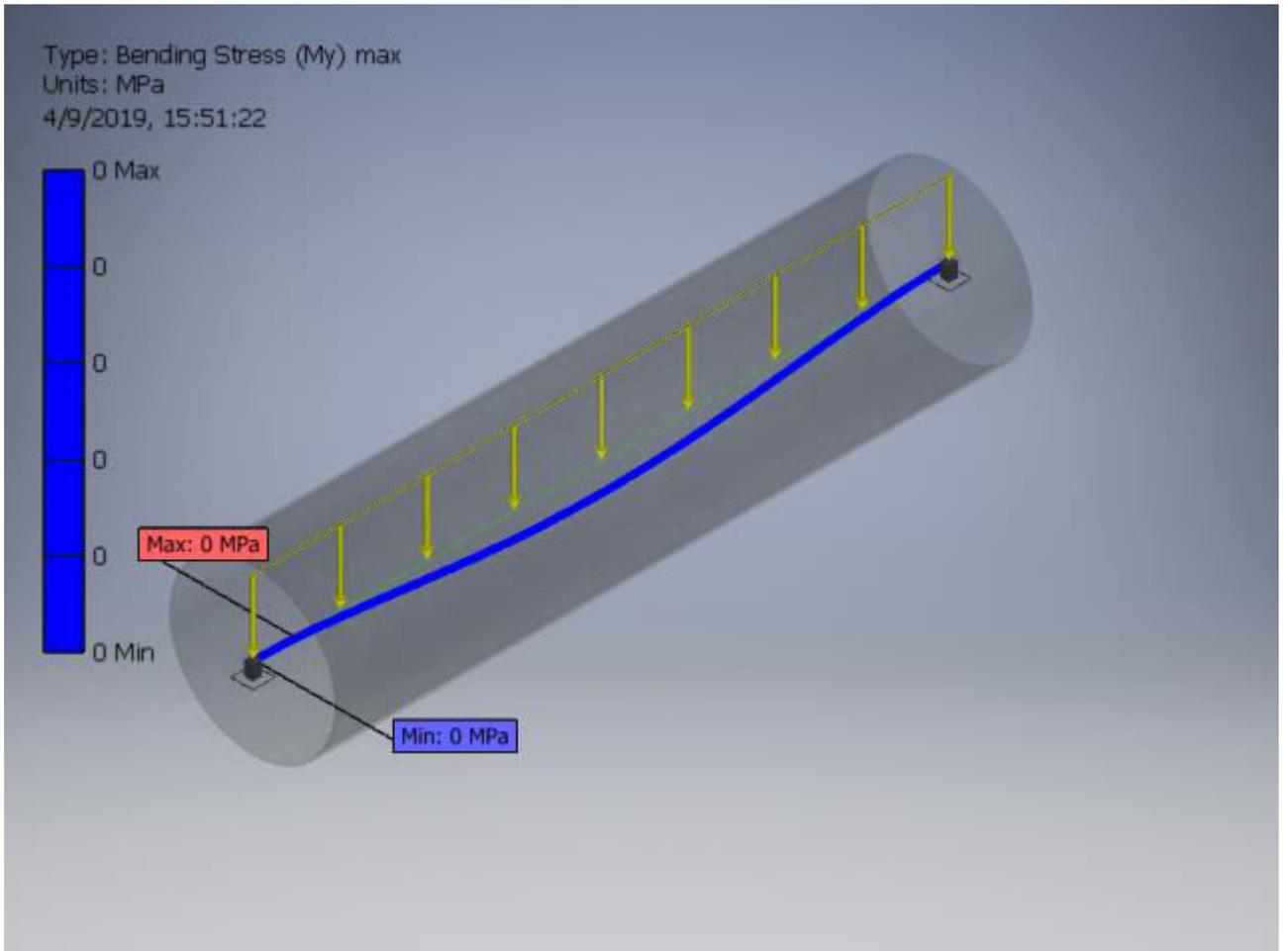
Smax(Mx)



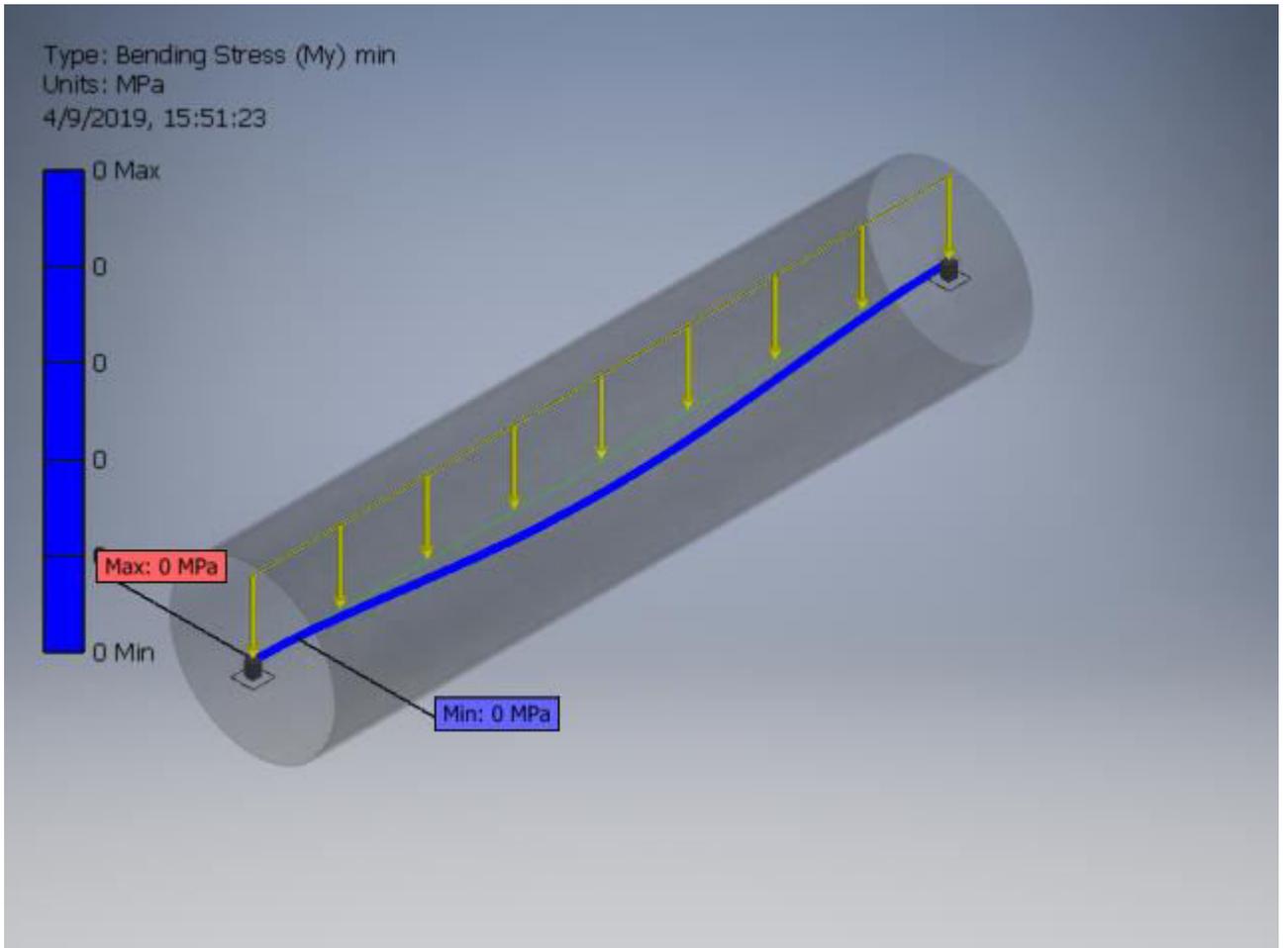
Smin(Mx)



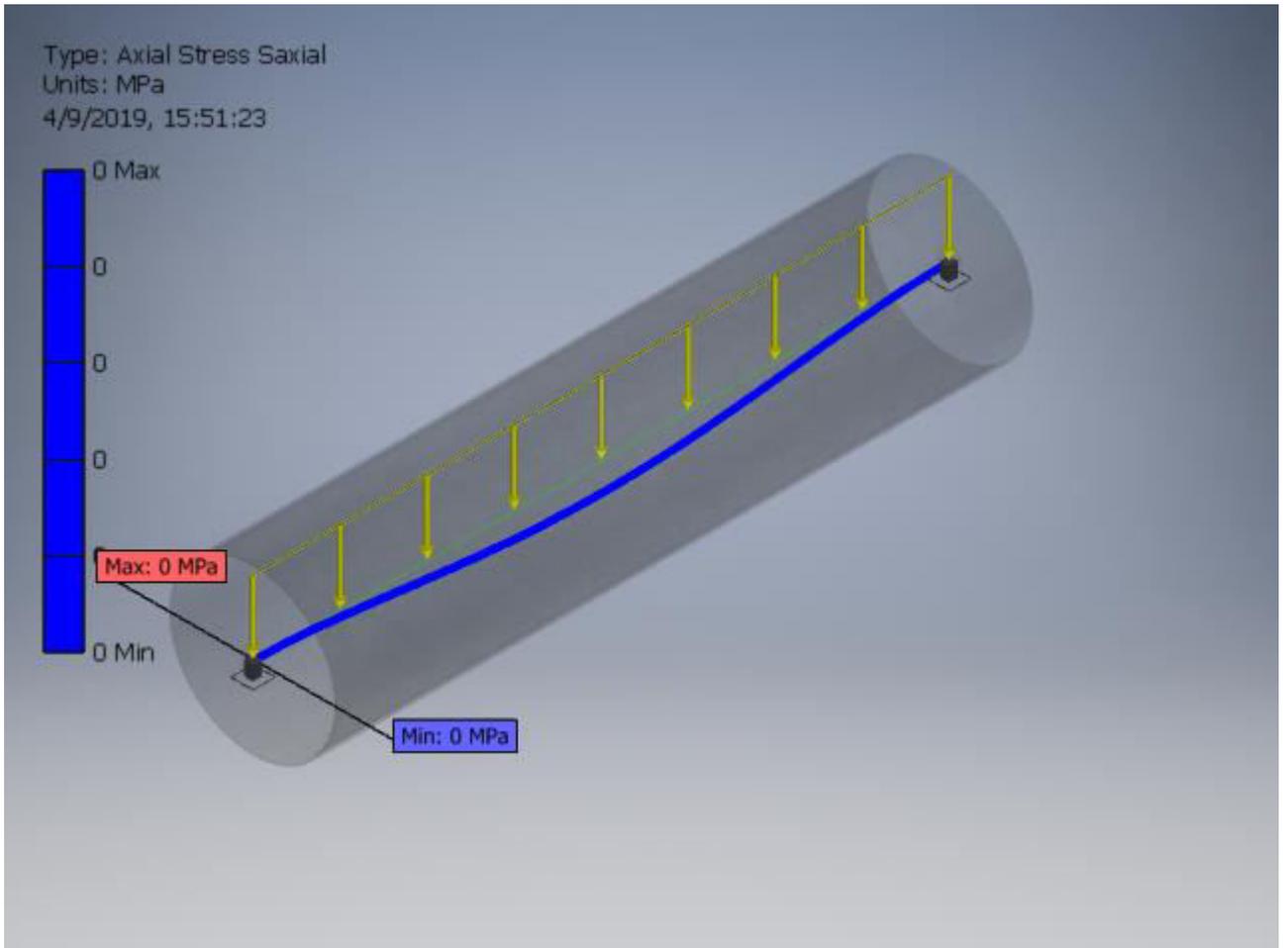
Smax(My)



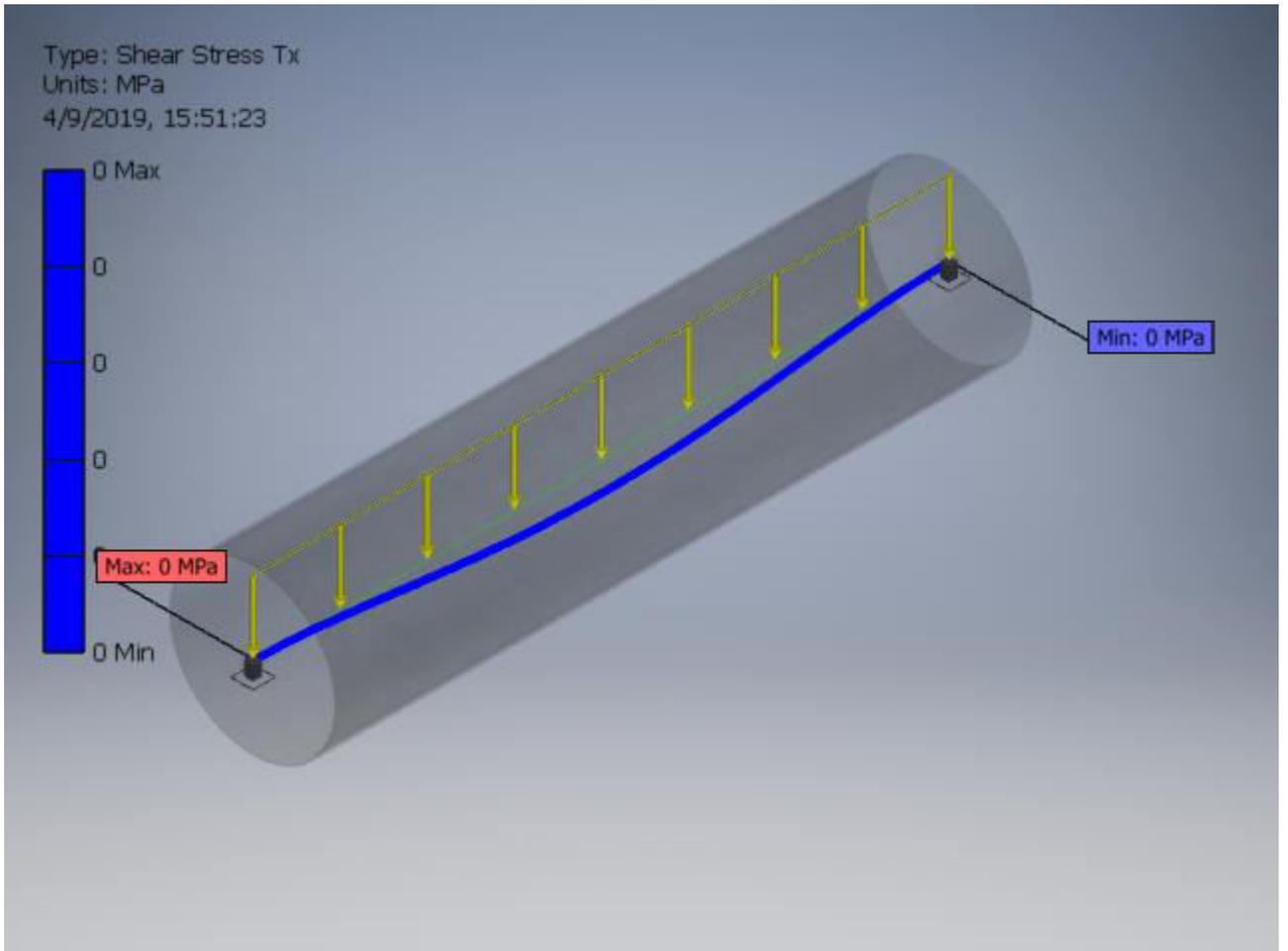
Smin(My)



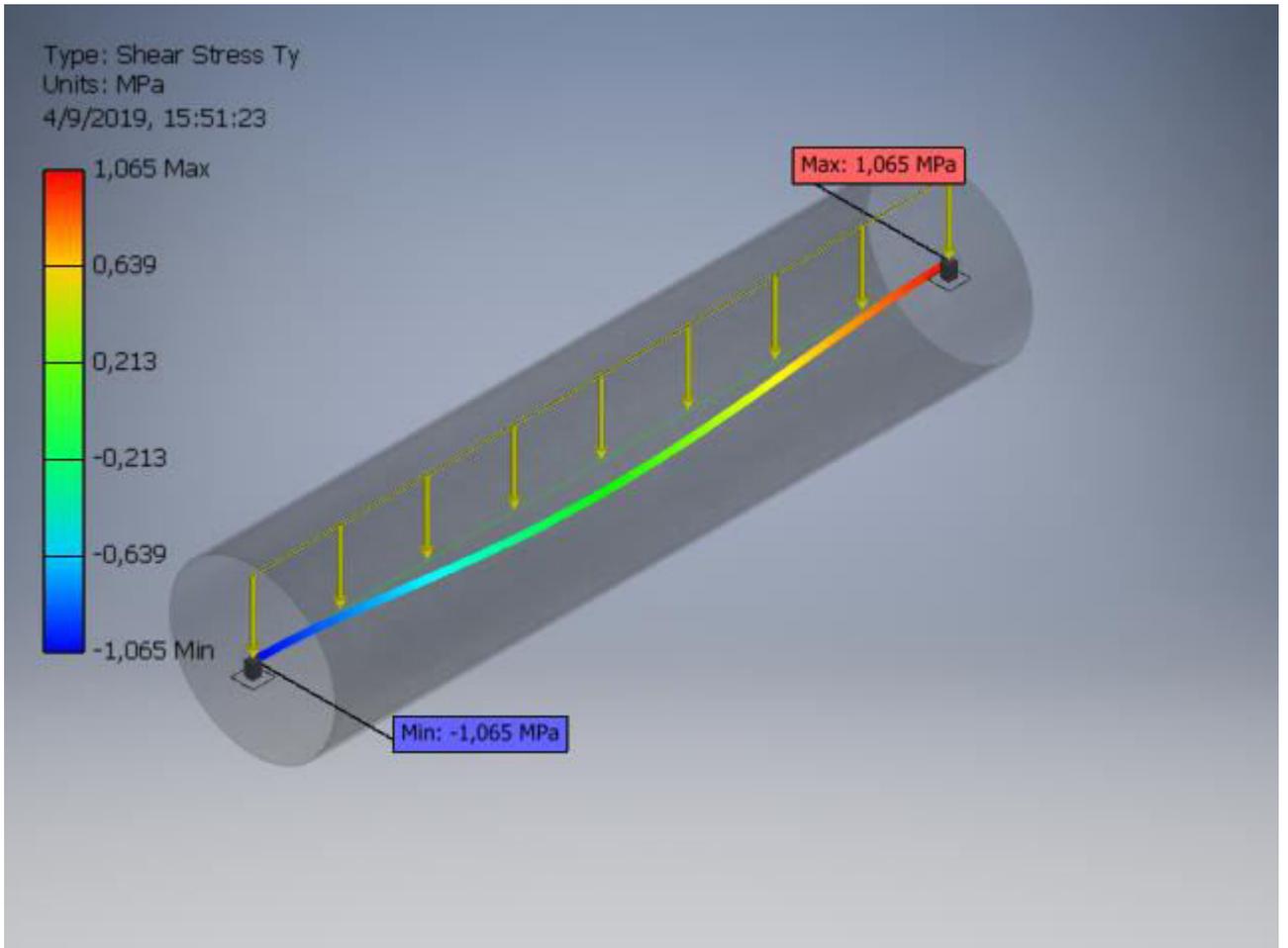
Saxial



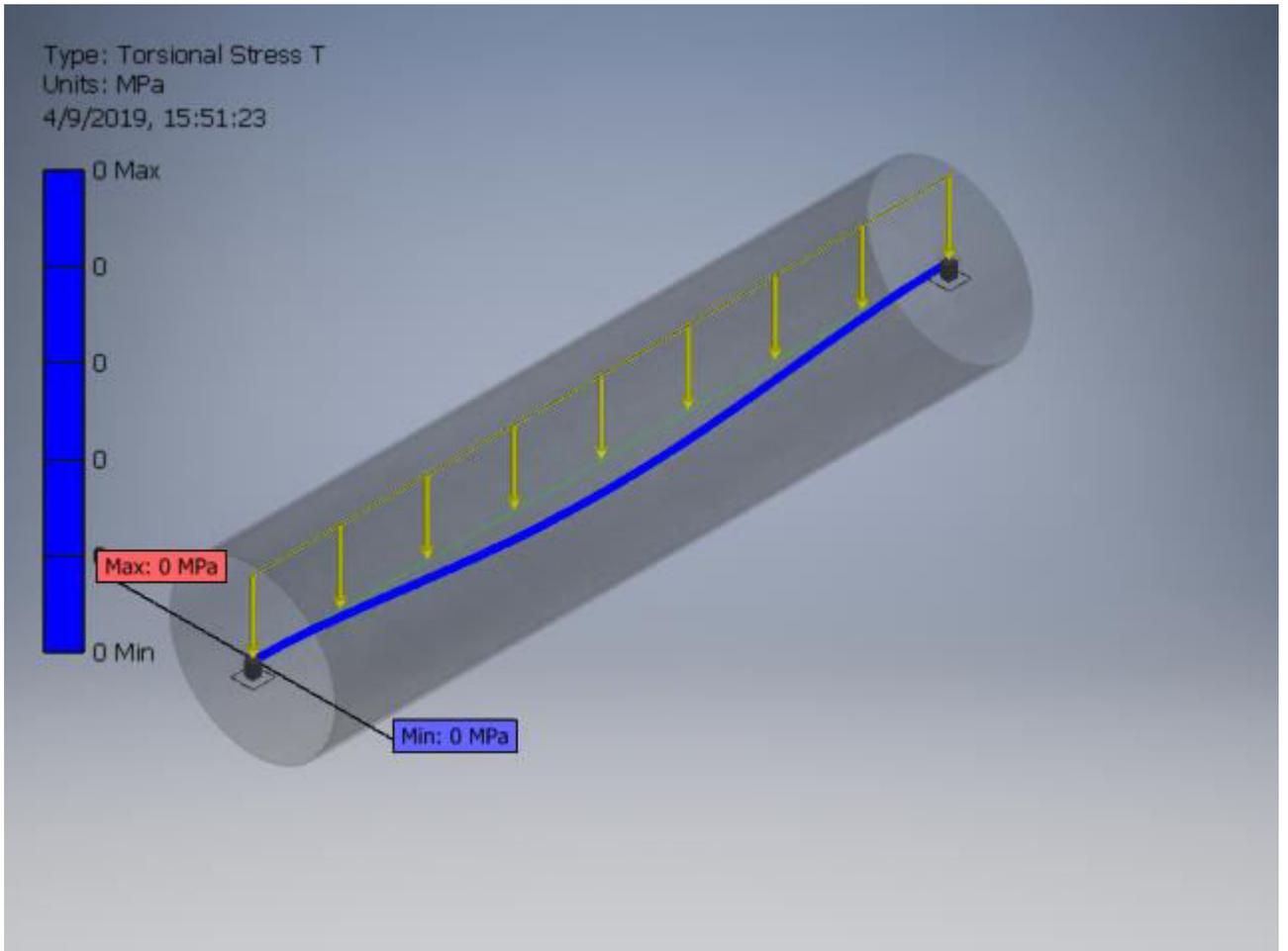
Tx



Ty



T



Anexo #4 - Cálculo del Eje

Shaft Component Generator (Version: 2019.1 (Build 231200000, 200))

Material

Material Cast steel
 Modulus of Elasticity E 200000 MPa
 Modulus of Rigidity G 80000 MPa
 Density ρ 7160 kg/m³

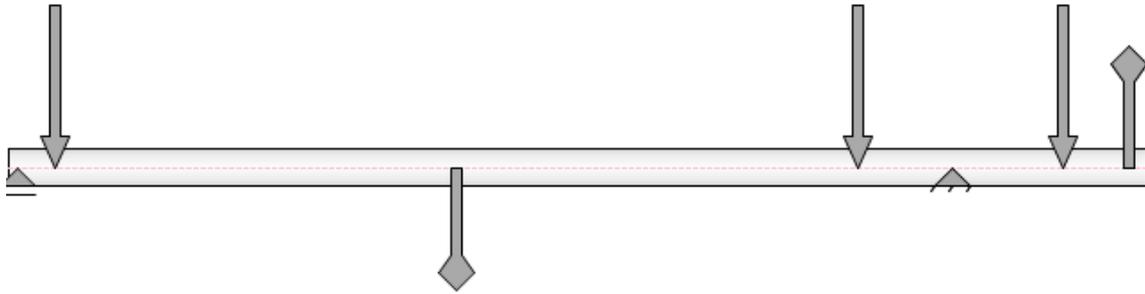
Calculation Properties

Include
 Yes Density ρ 7160 kg/m³
 Yes Shear Displacement Ratio β 1,188 ul
 Number of Divisions 1000 ul
 Mode of reduced stress HMH

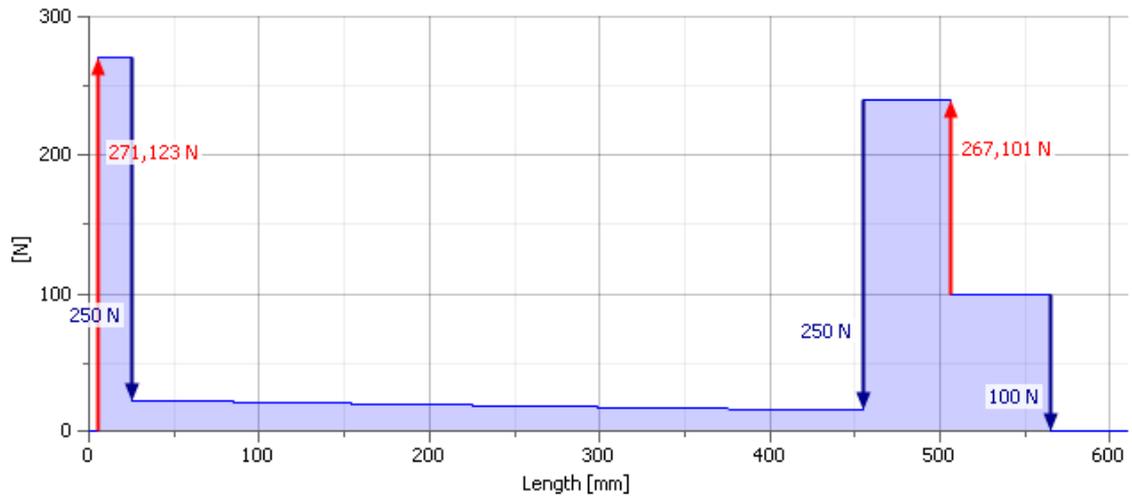
Loads

Index	Location	Radial Force				Bending Moment				Continuous Load				Axial Force	Torque	Deflection				Deflection Angle
		Y	X	Size	Direction	Y	X	Size	Direction	Y	X	Size	Direction			Length	Y	X	Size	
1	25 mm	250,000 N		250,000 N											-24,789 microm	6,263 microm	25,567 microm	165,82 deg	0,07 deg	
2	240 mm													-12,100 N m	-183,980 microm	57,487 microm	192,752 microm	162,65 deg	0,01 deg	
3	455 mm	250,000 N		250,000 N											-72,870 microm	27,271 microm	77,806 microm	159,48 deg	0,08 deg	
4	565 mm	0,000 N	100,000 N	100,000 N	90,00 deg										87,332	-41,678	96,768	334,49 deg	0,09 deg	

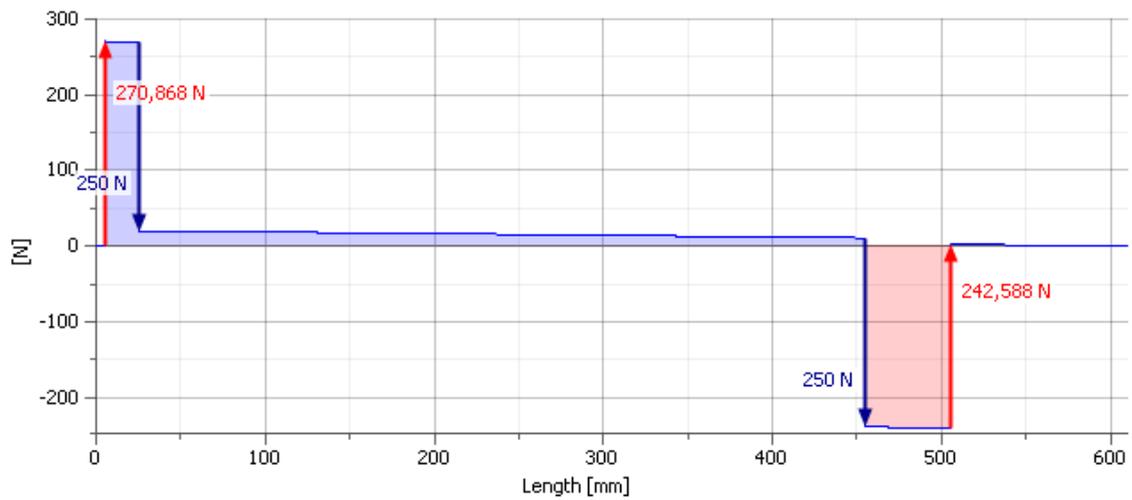
Preview



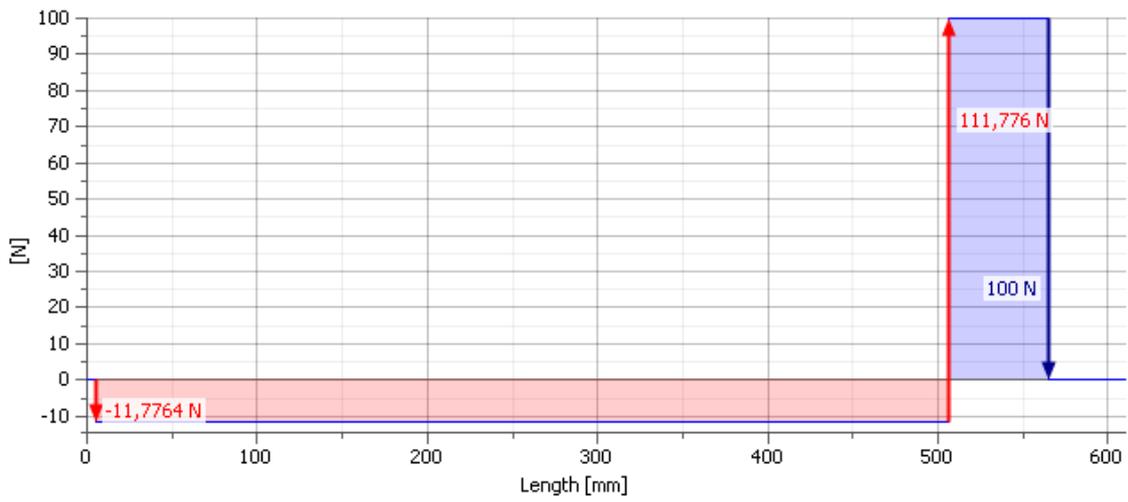
Shear Force



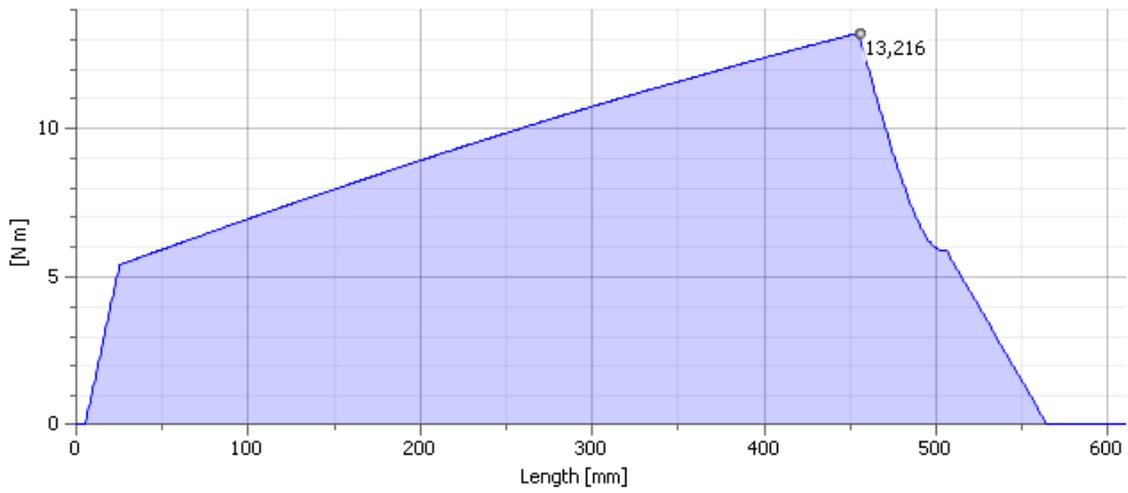
Shear Force, YZ Plane



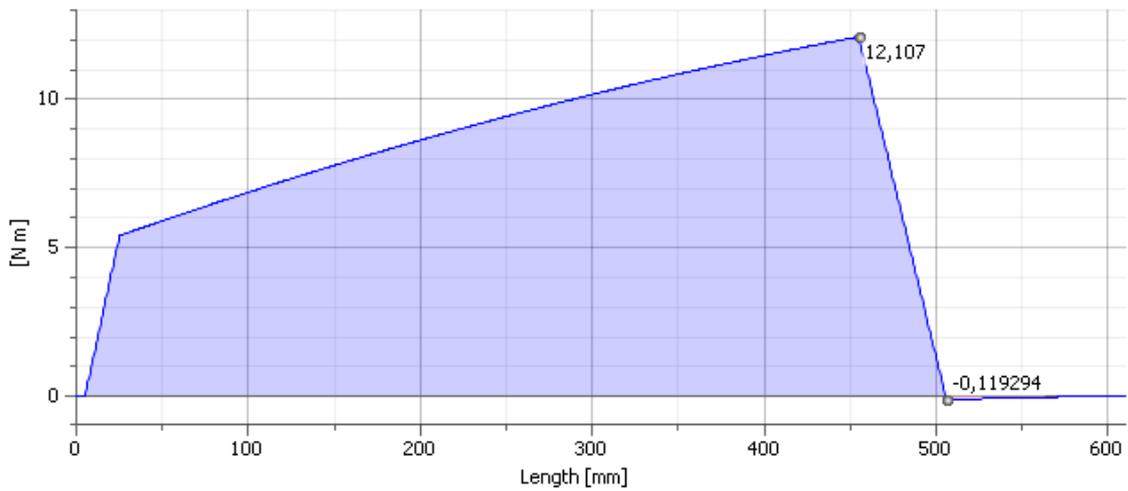
Shear Force, XZ Plane



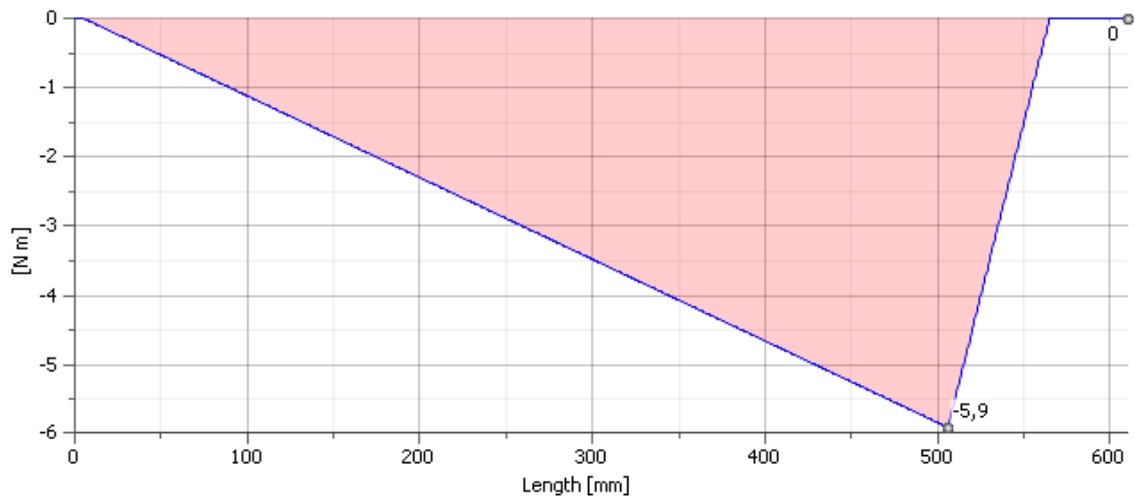
Bending Moment



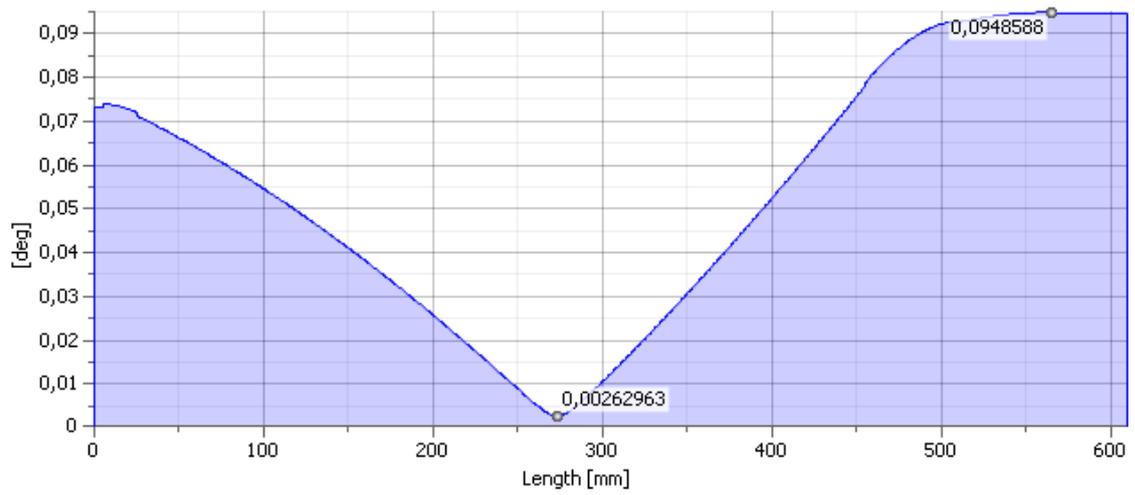
Bending Moment, YZ Plane



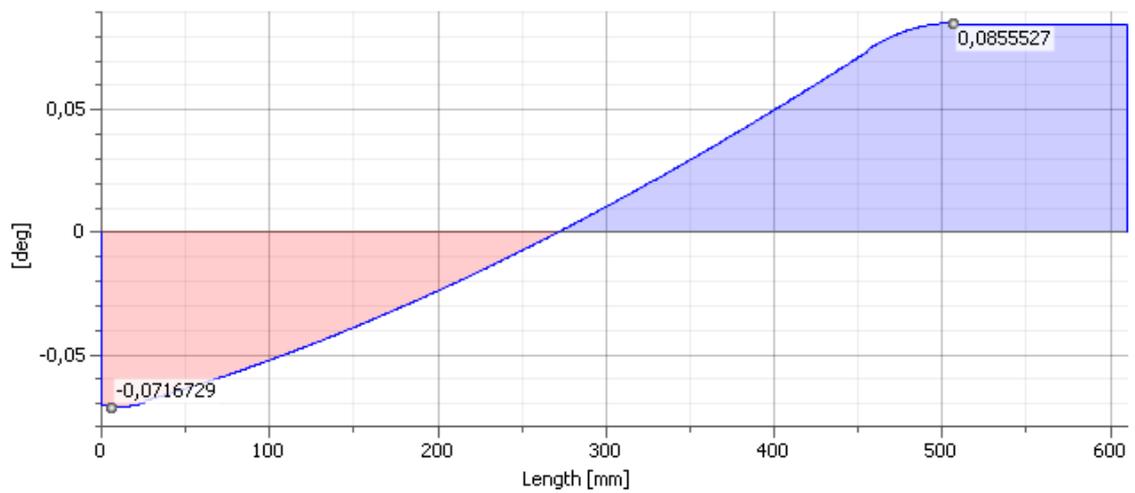
Bending Moment, XZ Plane



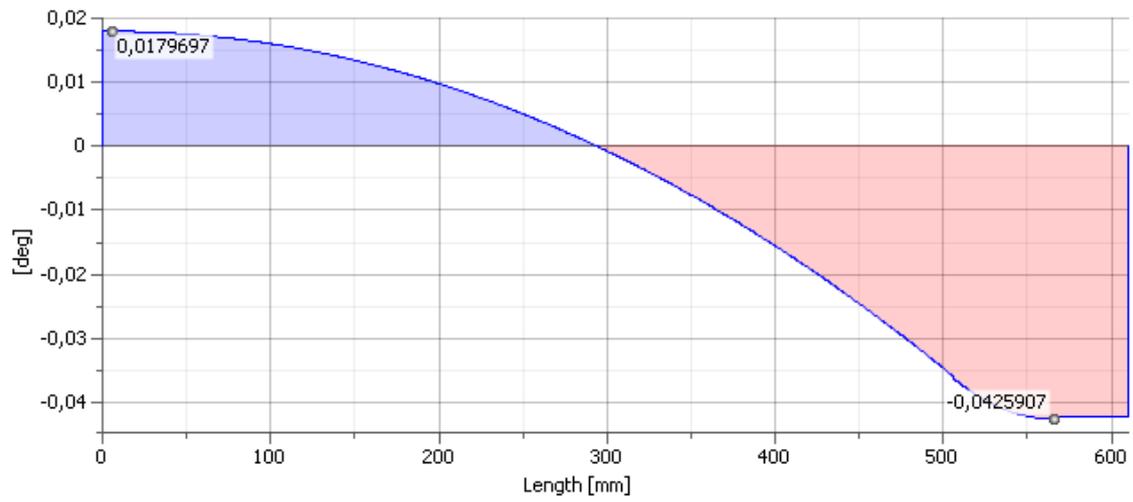
Deflection Angle



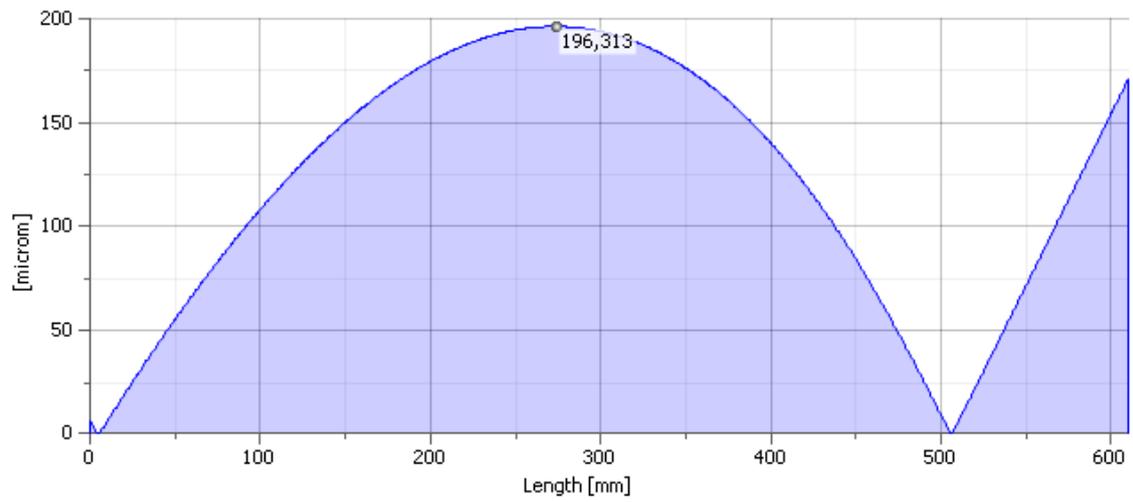
Deflection Angle, YZ Plane



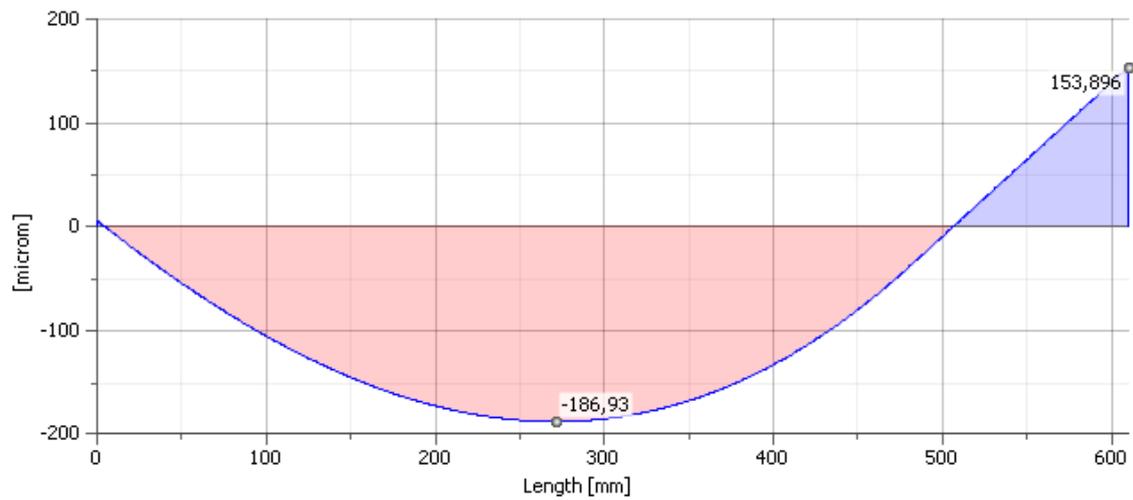
Deflection Angle, XZ Plane



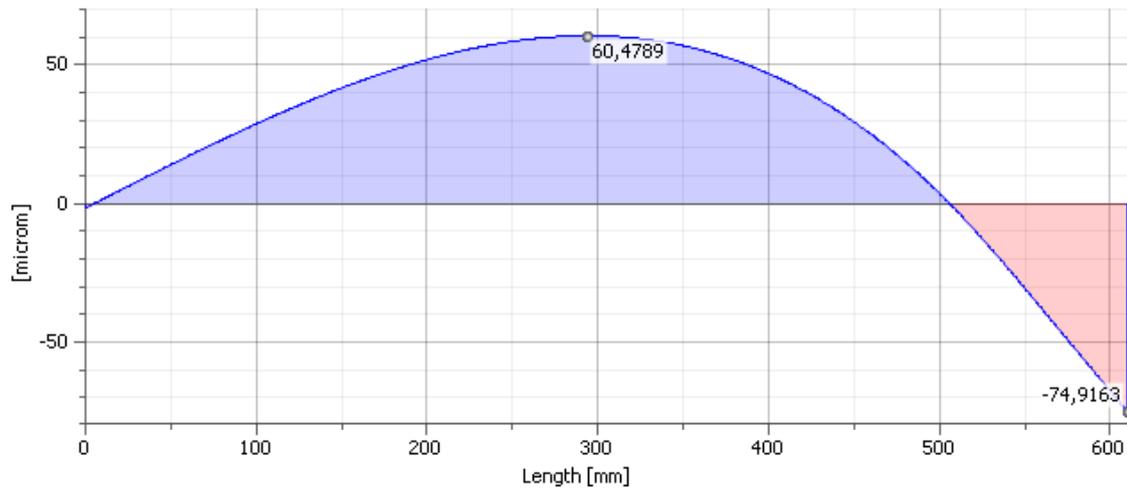
Deflection



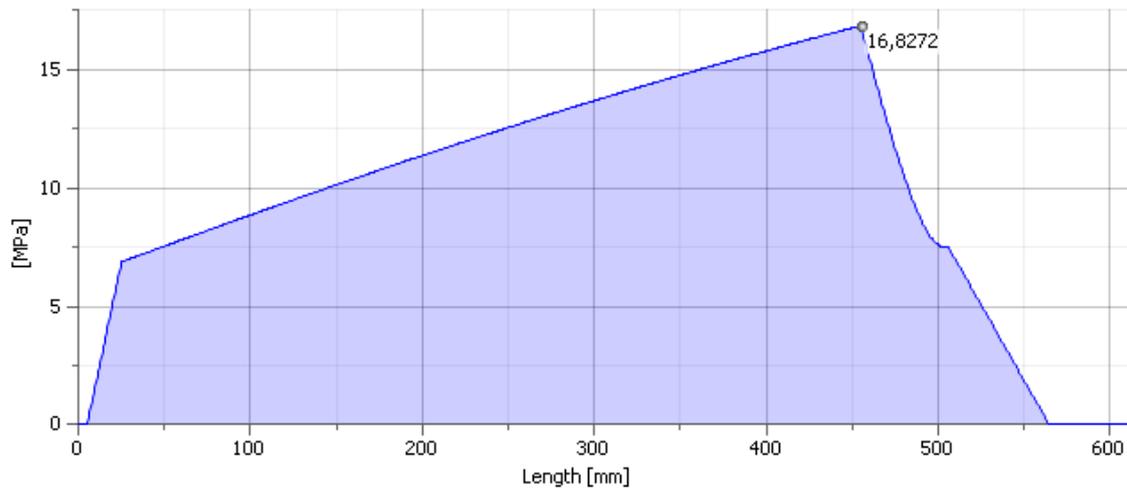
Deflection, YZ Plane



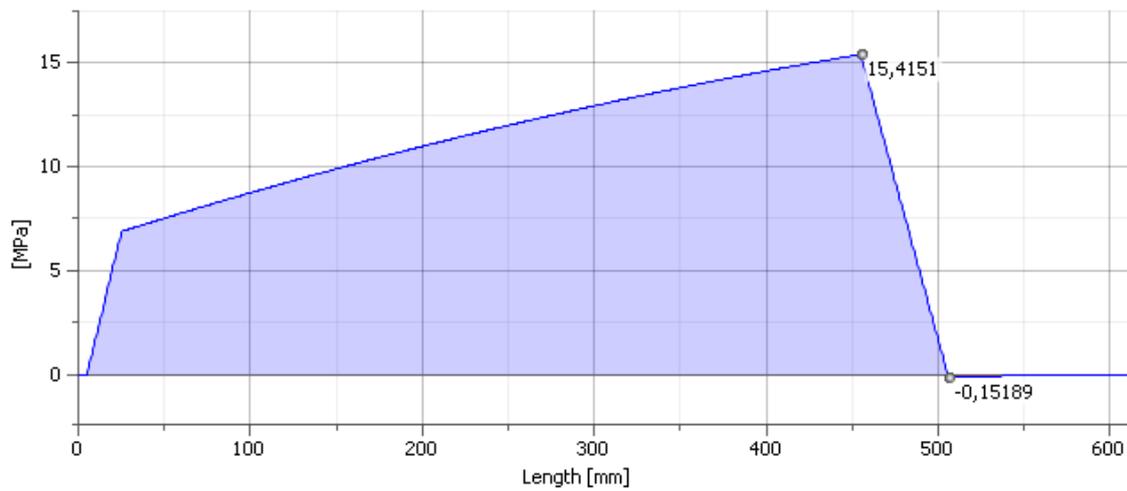
Deflection, XZ Plane



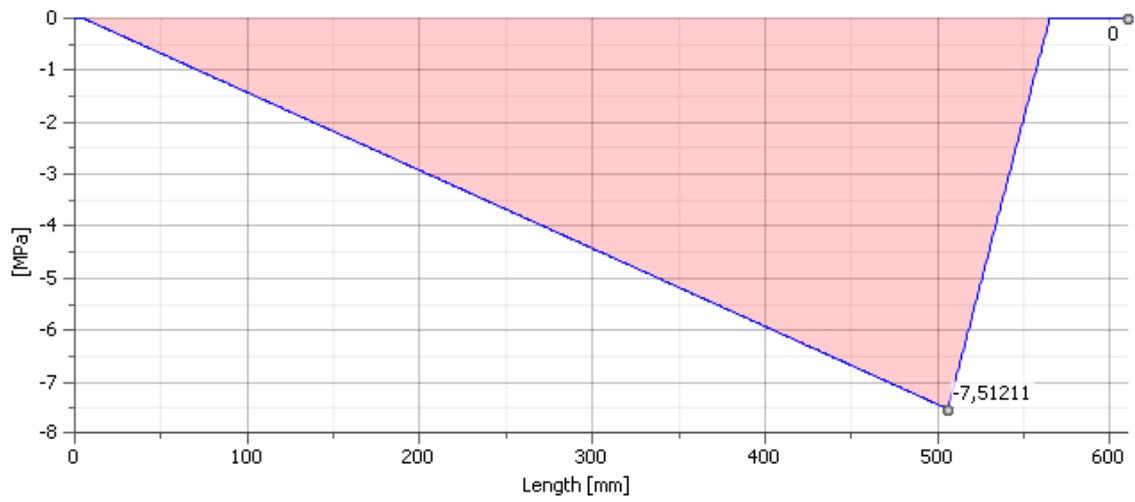
Bending Stress



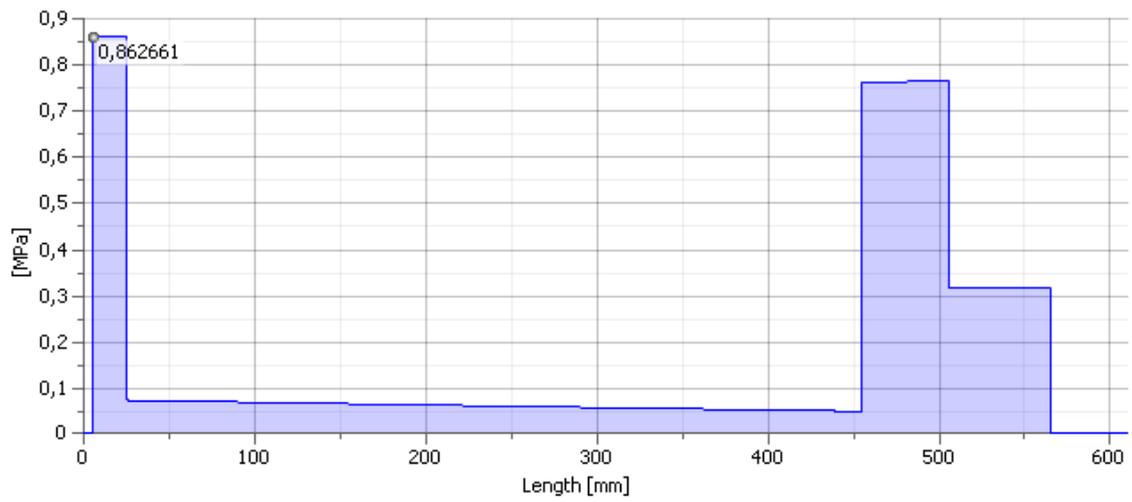
Bending Stress, YZ Plane



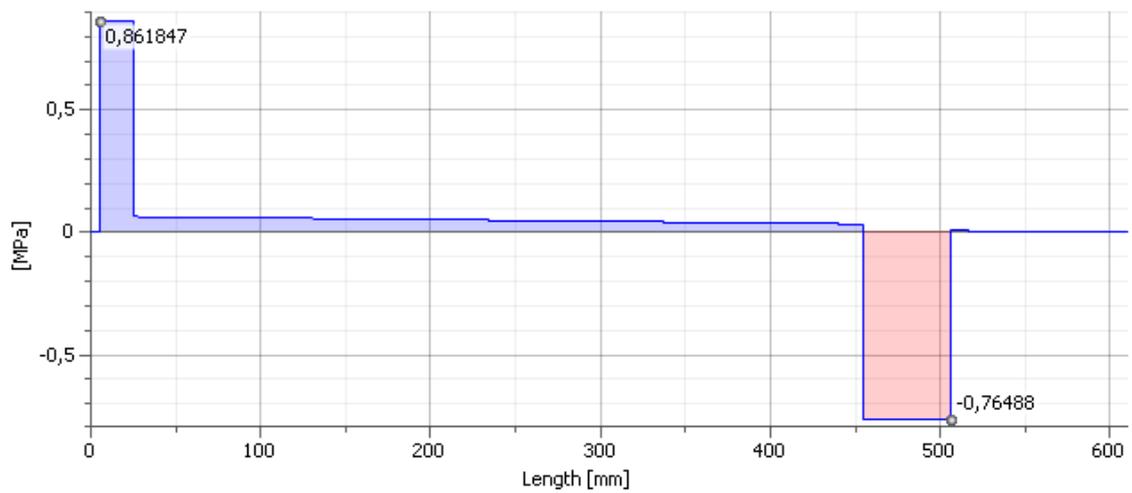
Bending Stress, XZ Plane



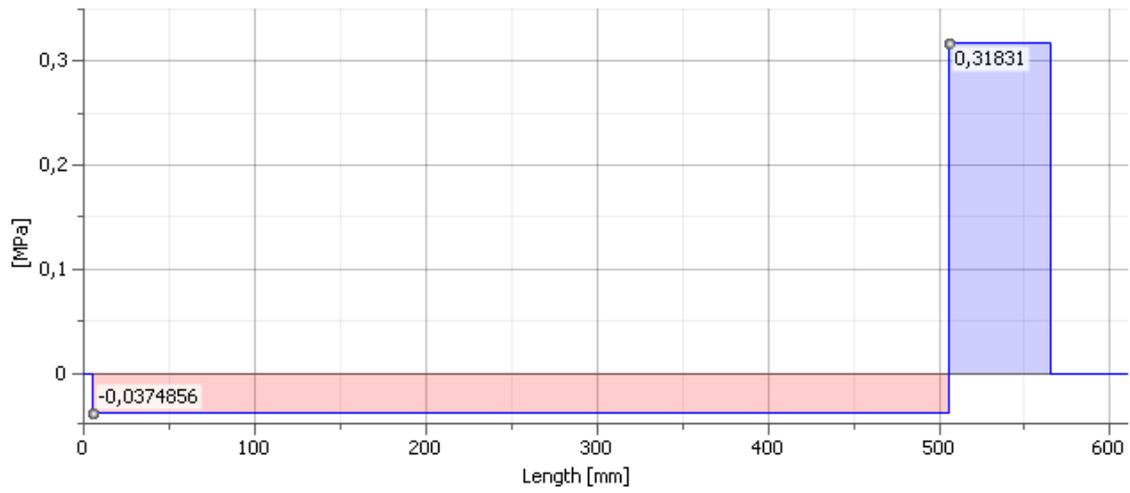
Shear Stress



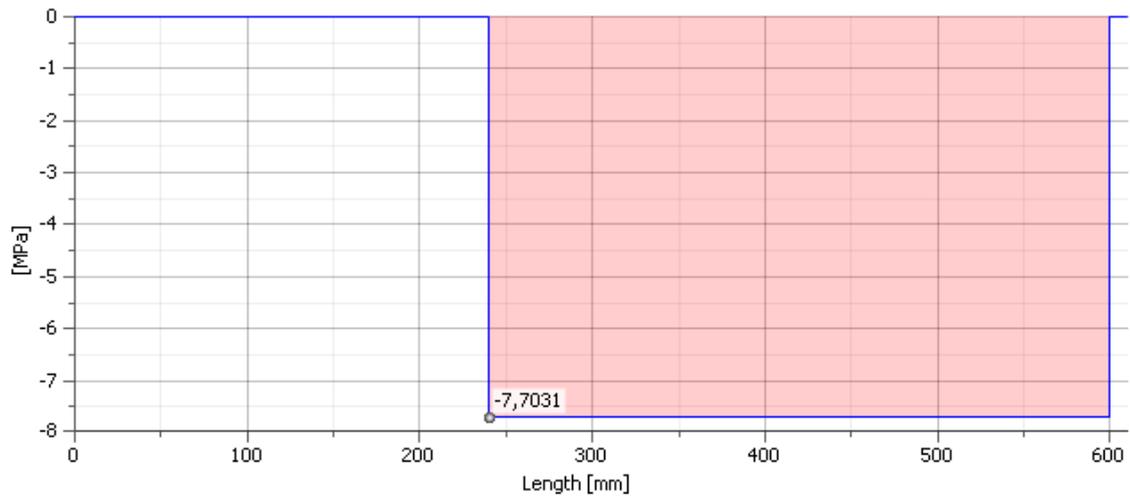
Shear Stress, YZ Plane



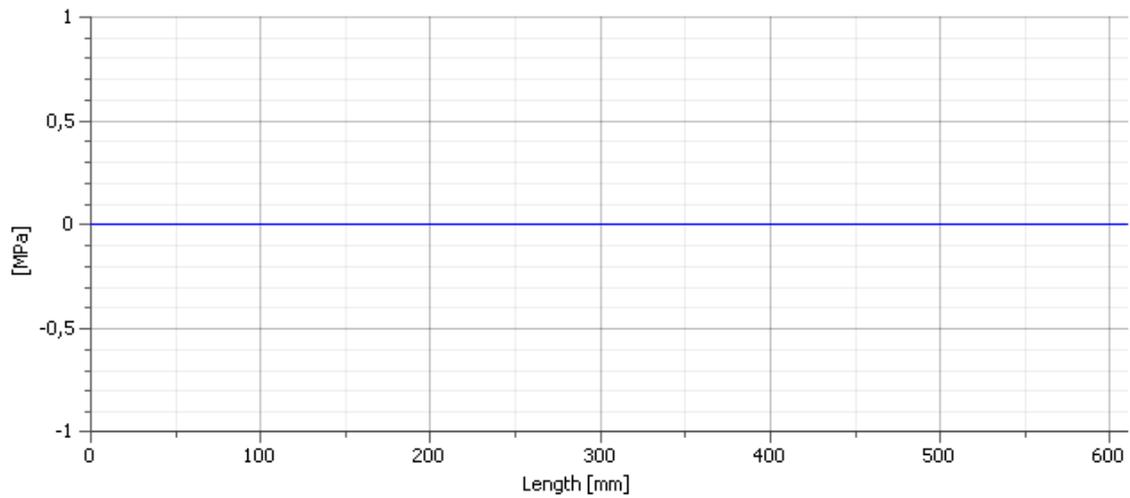
Shear Stress, XZ Plane



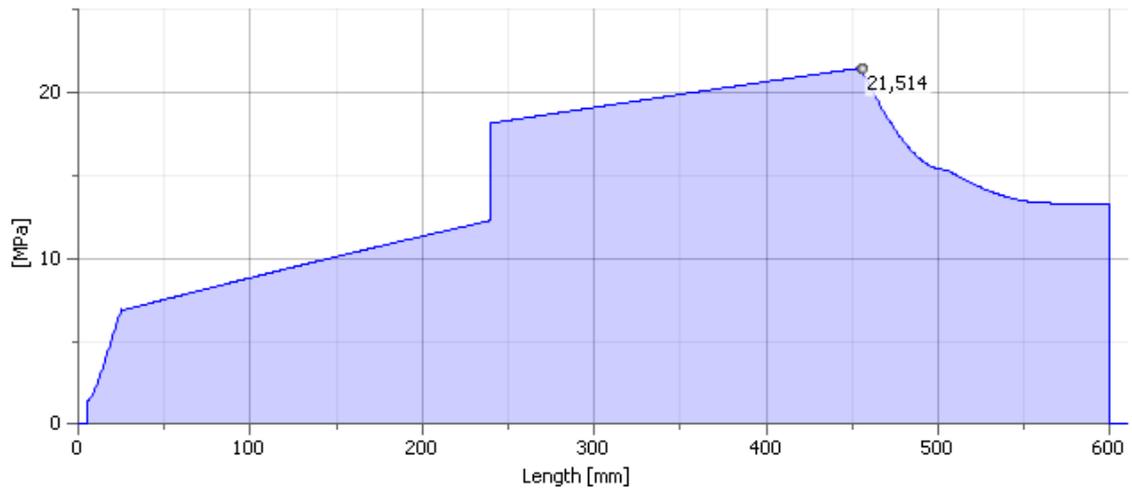
Torsional Stress



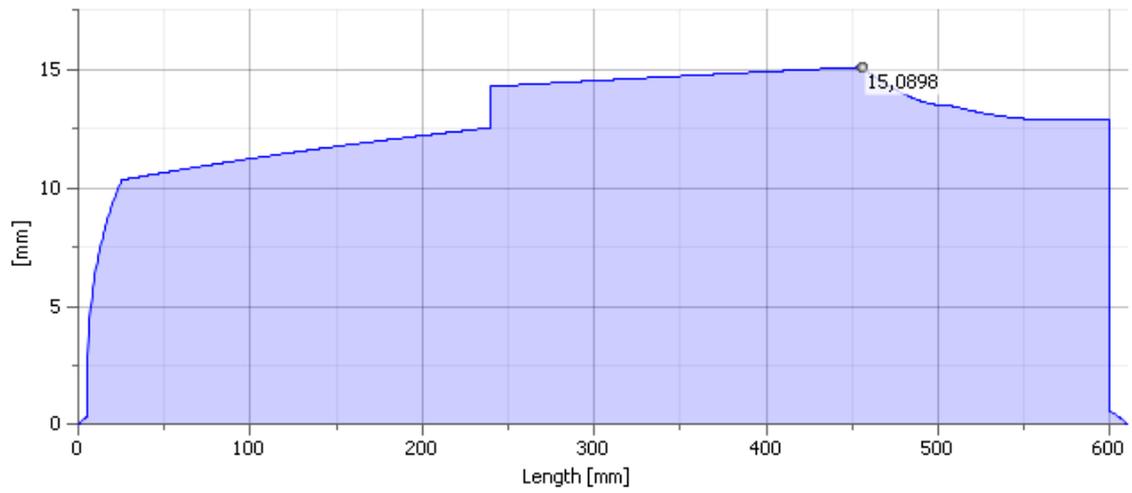
Tension Stress



Reduced Stress



Ideal Diameter



Anexo #5 - Cálculo cilindro de corte

El siguiente informe es el resultado de la simulación a través de un software de la empresa FESTO

Introducción - Parámetros del sistema



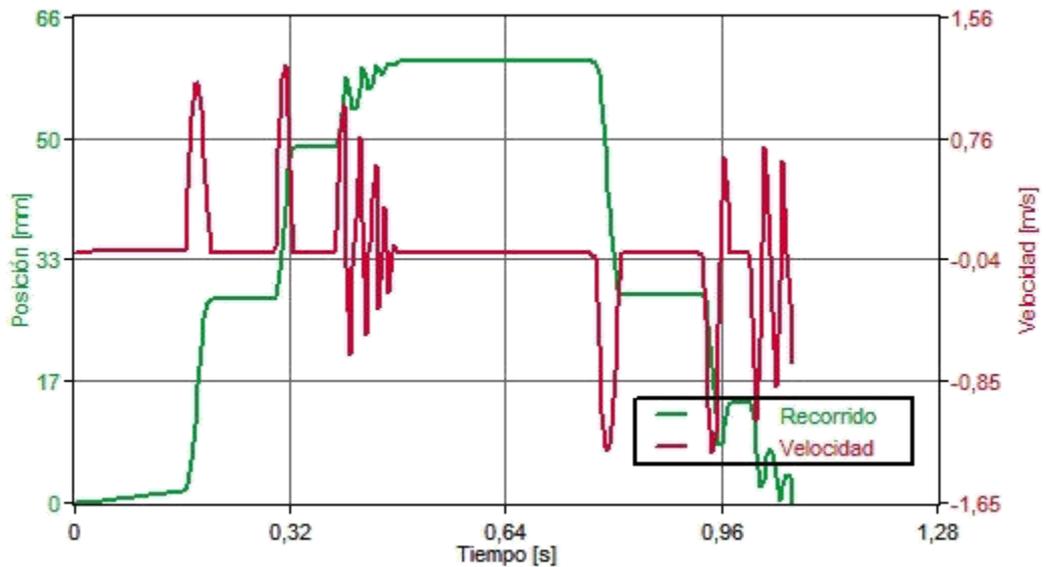
Longitud de carrera requerida	0.06 m	Dirección del movimiento	extender
Masa en movimiento	10 kg	Presión de funcionamiento	6 bar
fuerza de impacto adicional	0 N	fuerza de fricción adicional	1500 N
Ángulo de instalación	-90.0000000000002 deg		

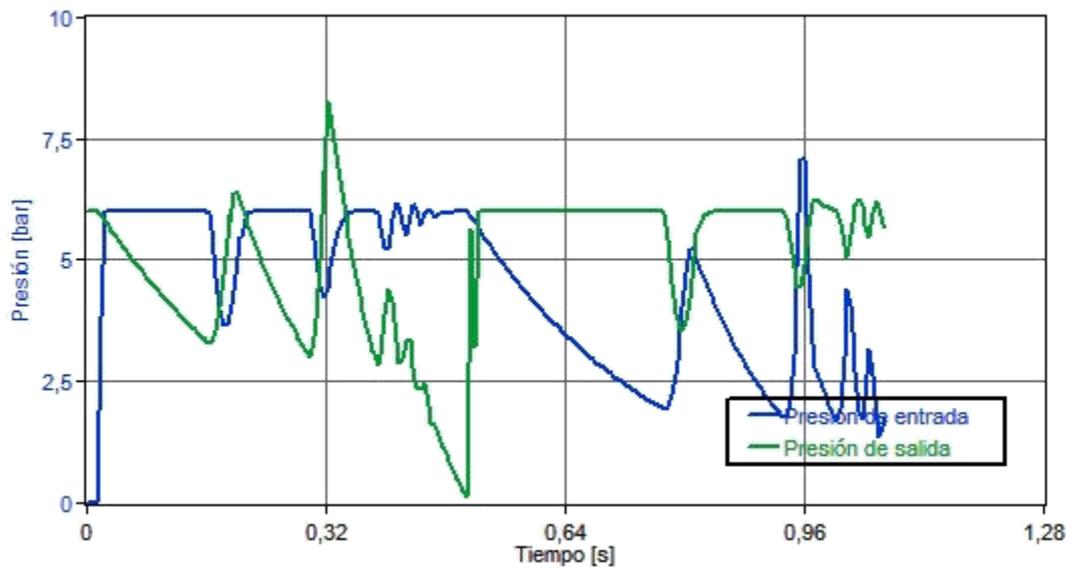
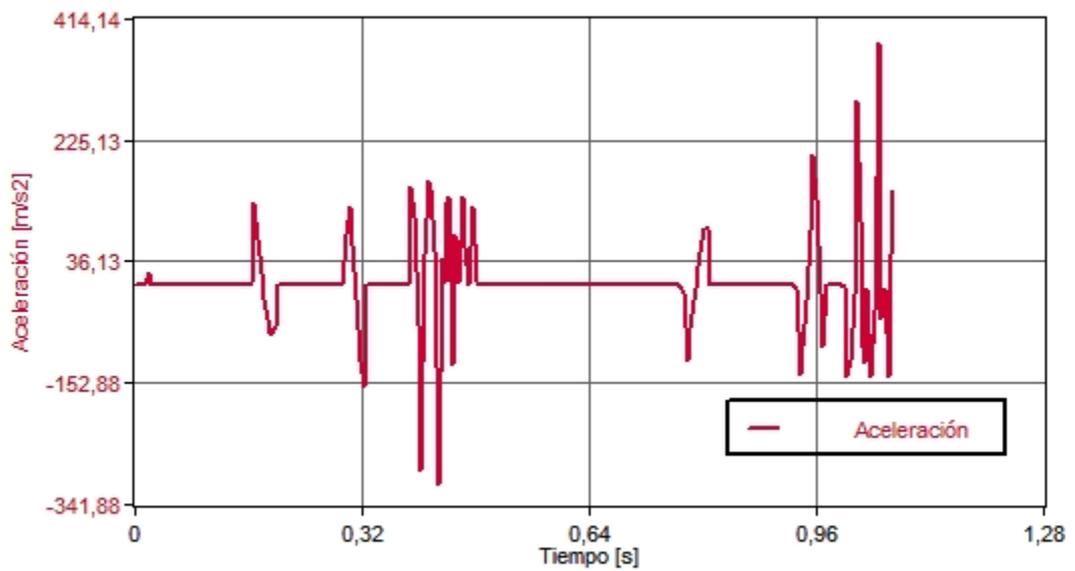
Lista de piezas

Accionamiento	DSBC-80-60-PPSA-N3	2126638		
Válvula de estrangulación de retención	GRLA-3/8-B	151178	Configuración:	Flujo3.6 Revoluciones abiertas
Válvula de vías	VUVS-L30-M52-MD-G38-1C1	575604		
Silenciador	U -3/8	2309		
Tubo flexible [Cil. > Válvula]	PAN-16x2-SI	152703	Largo del tubo flexible	1 m
Racor1	QS-3/8-16	164957		
Racor2	QS-3/8-16	164957		
Tubo flexible [Fuente > Válvula]	PAN-16x2-SI	152703	Largo del tubo flexible	1 m
Racor2	QS-3/8-16	164957		

Resultados calculados

Tiempo total de posicionamiento	1.066 s	Velocidad de impacto	-0.617 m/s
Velocidad promedio	0.060 m/s	Máx. velocidad	1.261 m/s
Consumo de aire por ciclo	5.724 l		
Energía dinámica de impacto	2.126 J		





Detalles de los resultados de la simulación

La energía residual en el cilindro 1 supera la máxima permitida! (tapa posterior). La vida útil del cilindro se reduce. Posición final del cilindro 1 inestable. Cilindro podría rebotar

Festo no asume ningún tipo de responsabilidad ante un fallo de cálculo del programa. Los resultados obtenidos con este programa están orientados a facilitar la selección del producto y no contempla las premisas técnicas legales descritas por la ley.

Anexo #6 - Cálculo cilindro del sistema tractor

El siguiente informe es el resultado de la simulación a través de un software de la empresa.

Introducción - Parámetros del sistema

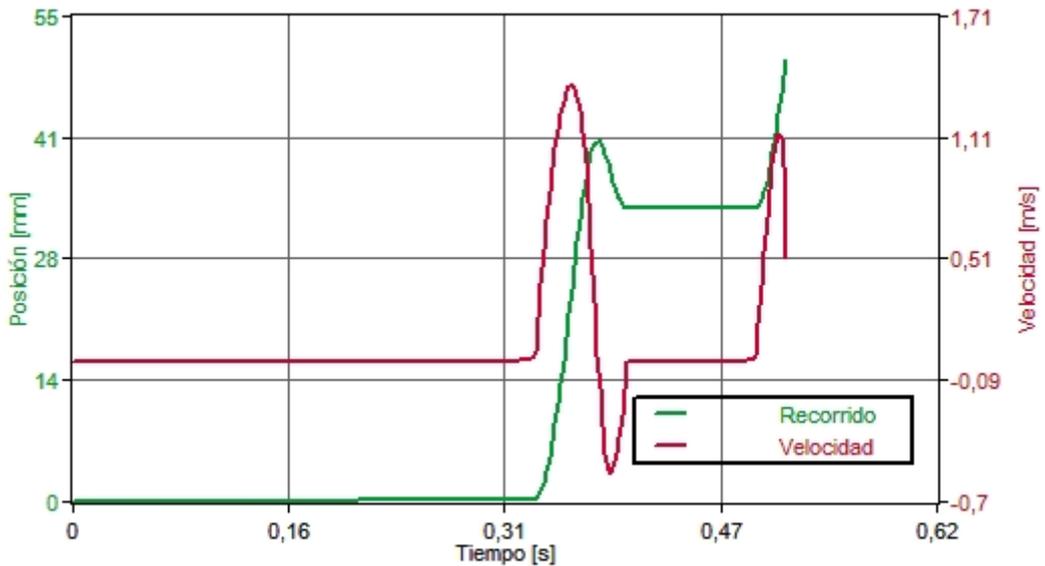
Longitud de carrera requerida	0.05 m	Dirección del movimiento	extender
Masa en movimiento	1 kg	Presión de funcionamiento	6 bar
fuerza de impacto adicional	0 N	fuerza de fricción adicional	87 N
Ángulo de instalación	0 deg		

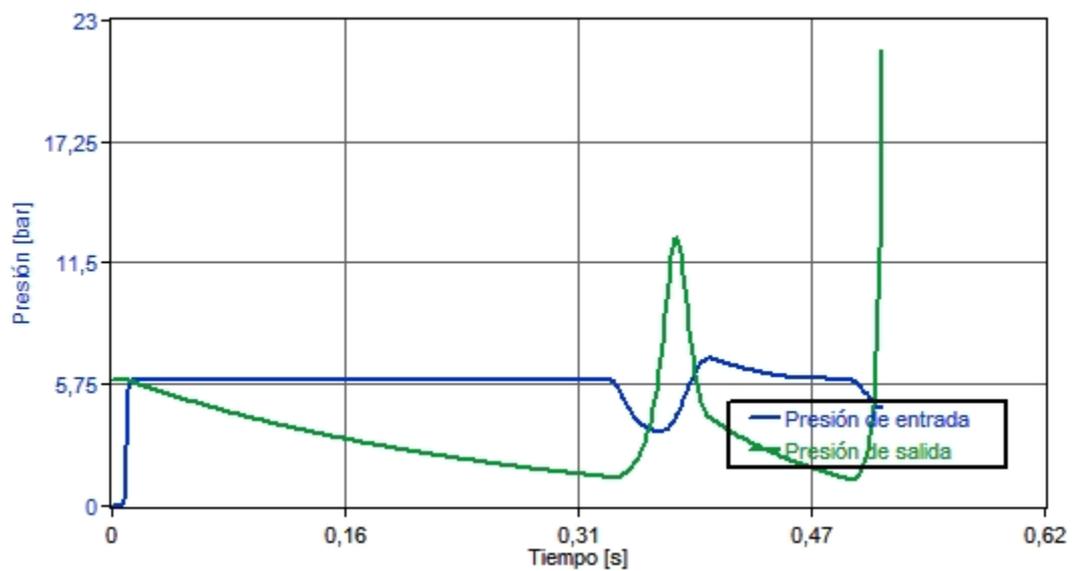
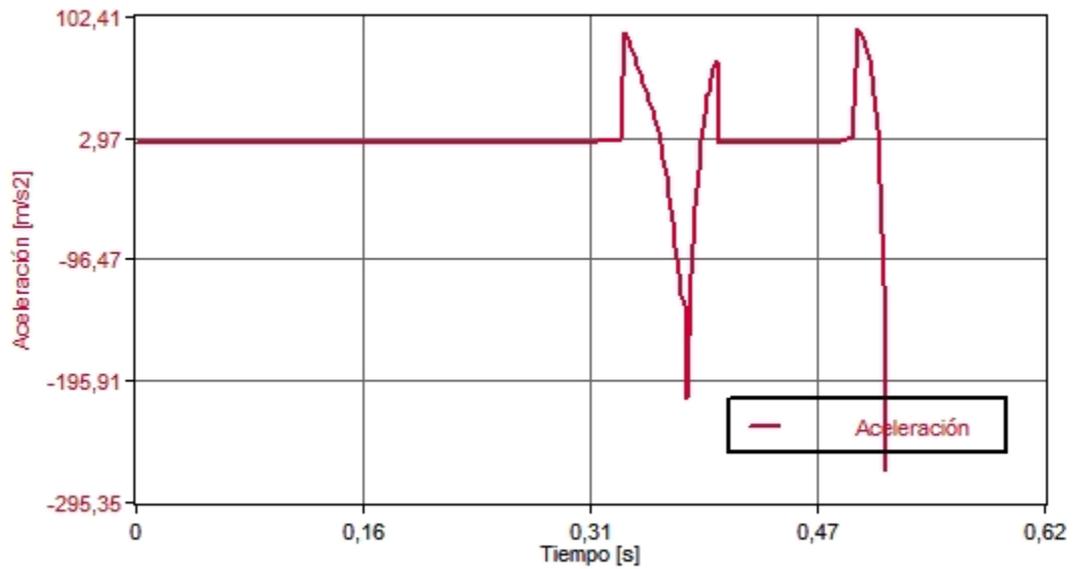
Lista de piezas

Accionamiento	DSNU-16-50-P-A	19201		
Válvula de estrangulación de retención	GRLA-M5-QS-4-D	193138	Configuración:	Flujo4
Válvula de vías	VUVG-L10-M52-RT-M5-1P3	566457		Revoluciones abiertas
Silenciador				
Tubo flexible [Cil. > Válvula]	PUN-H-4x0,75-BL	197383	Largo del tubo flexible	1 m
Racor1	CRQST-M5-4	164200		
Tubo flexible [Fuente > Válvula]	PUN-H-4x0,75-BL	197383	Largo del tubo flexible	1 m
Racor2	CRQST-M5-4	164200		

Resultados calculados

Tiempo total de posicionamiento	0.512 s	Velocidad de impacto	0.511 m/s
Velocidad promedio	0.100 m/s	Máx. velocidad	1.372 m/s
Consumo de aire por ciclo	0.202 l		
Energía dinámica de impacto	0.135 J		





Detalles de los resultados de la simulación

La energía residual en el cilindro 1 supera la máxima permitida! (tapa delantera). La vida útil del cilindro se reduce. Posición final del cilindro 1 inestable. Cilindro podría rebotar

Festo no asume ningún tipo de responsabilidad ante un fallo de cálculo del programa.

Los resultados obtenidos con este programa están orientados a facilitar la selección del producto y no contempla las premisas técnicas legales descritas por la ley.

DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

08/05/2019 – Reservado el derecho de modificación – Festo AG & Co. KG

2 / 2

Anexo #7 - Cálculo de Correas

Synchronous Belts Component Generator (Version: 2019.1 (Build 231200000, 200))

8/5/2019

Belt Properties

Display name		Synchronous Belt
Size		25T5 x 840
Circular pitch	p_b	5,000 mm
Number of teeth	z	168,000 ul
Pitch length	L	840,000 mm
Width	B	25,000 mm
Height	H	2,200 mm
Tooth width	S	2,650 mm
Tooth angle	β	20,00 deg
Tooth height	h_t	1,200 mm
Root fillet radius	r_r	0,400 mm
Tooth head fillet radius	r_a	0,400 mm
Minimum pulley pitch diameter	D_{min}	15,000 mm
Allowable maximum working tension T_a		875,000 N
Maximum flex frequency	f_{max}	60,000 Hz
Maximum belt speed	v_{max}	80,000 mps
Specific mass	m	0,060 kg/m

Synchronous Pulley 1 Properties

Display name		Synchronous pulley
Size		29T5 x 36
Type of pulley		DriveR
Number of teeth	z	36,000 ul
Number of teeth in contact z_c		18,000 ul

DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

Circular pitch	p_b 5,000 mm
Pitch Diameter	D_p 57,296 mm
Outside pulley diameter	D_o 56,296 mm
Pitch line offset	a 0,500 mm
Pulley width	b_f 29,000 mm
Fillet radius of teeth height	r_t 0,600 mm
Fillet radius of teeth root	r_b 0,400 mm
Groove width	b_w 1,800 mm
Tooth height	h_g 1,250 mm
Groove angle	ϕ 25,00 deg
X coordinate	x 0,000 mm
Y coordinate	y 0,000 mm
Span length	L_f 330,000 mm
Power ratio	P_x 1,000 ul
Power	P 0,327 kW
Torque	T 12,100 N m
Speed	n 258,000 rpm
Arc of contact	β 180,00 deg
Force on input	F_1 570,235 N
Force on output	F_2 147,865 N
Resultant axle load	F_r 718,100 N
Static tensioning force	F_v 718,100 N

Synchronous Pulley 2 Properties

Display name	Synchronous pulley
Size	26,5T5 x 36
Type of pulley	DriveN
Number of teeth	z 36,000 ul

DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

Number of teeth in contact z_c	18,000 ul
Circular pitch p_b	5,000 mm
Pitch Diameter D_p	57,296 mm
Outside pulley diameter D_o	56,296 mm
Pitch line offset a	0,500 mm
Pulley width b_f	26,500 mm
Fillet radius of teeth height r_t	0,600 mm
Fillet radius of teeth root r_b	0,400 mm
Groove width b_w	1,800 mm
Tooth height h_g	1,250 mm
Groove angle ϕ	25,00 deg
X coordinate x	329,974 mm
Y coordinate y	4,129 mm
Center distance C	330,000 mm
Span length L_f	330,000 mm
Power ratio P_x	1,000 ul
Power P	0,317 kW
Torque T	11,737 N m
Speed n	258,000 rpm
Transmission ratio i	1,000 ul
Arc of contact β	180,00 deg
Force on input F_1	147,865 N
Force on output F_2	570,235 N
Resultant axle load F_r	718,100 N
Static tensioning force F_v	718,100 N

Strength check

Power P	0,327 kW
-----------	----------

DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

Torque	T	12,100 N m
Speed	n	258,000 rpm
Efficiency	η	0,970 ul
Service factor	C_p	1,800 ul
Resultant service factor	C_{PR}	2,279 ul
Belt Speed	v	0,774 mps
Effective pull	F_p	422,370 N
Centrifugal force	F_c	0,036 N
Belt installation tension	F_t	359,050 N
Maximum tension in belt span	F_{tmax}	570,235 N
Teeth in mesh factor	k_z	1,000 ul
Tension factor	k_1	1,350 ul

Summary of Messages

11:14:48 Calculation: Calculation indicates design compliance!

Optibelt- Calculo de transmisión

	Remitente
Teléfono :	Teléfono :
Telefax :	Telefax :
e-mail :	e-mail :
internet :	internet :

Cálculo de transmisión**Accionamiento con dos poleas dentadas**

Núm. de cálculo	: C000000001	datos	: 10.05.2019	Nº de serie	:
Proyecto	: 0001	Nº de plano	: 0001	Transmisión	: 0001

Apreciados señores:

Según conversación telefónica, hemos realizado los cálculos partiendo de los datos técnicos que Uds. nos han facilitado.

La transmisión está dimensionada con:

- Optibelt ALPHA Power Correas dentadas 25 T5/840
- Optibelt-ZRS Polea dentada 36 T5/36-2
- Agujero cilíndrico
- Optibelt-ZRS Polea dentada 36 T5/36-2
- Agujero cilíndrico

En caso de tener alguna duda sobre nuestras recomendaciones rogamos contacte con nosotros en el nº de teléfono indicado.

Atentamente

Con relación a la responsabilidad sobre el cálculo, nos remitimos a nuestras condiciones generales de venta.

-1-

Release 6.031 29.09.2017 Pricelist 06/2012

Cálculo de transmisión**Accionamiento con dos poleas dentadas**

Núm. de calculo	: C000000001	datos	: 10.05.2019	Nº de serie	:
					:

Proyecto : 0001

Nº de plano : 0001

Transmisión : 0001

La transmisión está dimensionada con:

- Optibelt ALPHA Power Correas dentadas 25 T5/840
- Optibelt-ZRS Polea dentada 36 T5/36-2
- Agujero cilíndrico
- Optibelt-ZRS Polea dentada 36 T5/36-2
- Agujero cilíndrico

Polea motriz

: Motor Diesel

Polea conducida

: molino de impacto

Datos de la correa dentada

Observaciones

Paso	t	:	5.000	mm	
Ancho	b	:	25.00	mm	
Desarrollo primitivo calculado	Lwth	:	840.00	mm	
Desarrollo primitivo estándar	Lw	:	840.00	mm	--- mm
Número de dientes	zr	:	168		
Velocidad	v	:	0.77	m/s	

Datos de las poleas dentadas

Polea 1 (fuerza motriz) Polea 2 (accionada)

Número de deintes	z	:	36		36
Diámetro de desarrollo	dw	:	57.30	mm	57.30 mm
Anchura de la polea dentada	b1	:	30.00	mm	30.00 mm
Nº de giros	n	:	258.0	1/min	258.0 1/min
Número de dientes engranados	ze	:	18		18
Momento de giro	M	:	12	Nm	12 Nm
Ejecución estándar		:	6F		6F
Nº de poleas		:	2		2
Material de trabajo		:	Al		Al
alineación de los ejes		:	horizontal		

Datos de la transmisión realizados

Observaciones

DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

Potencia calculada	PB	:	0.59	kW		
Potencia de máquina motriz	P	:	0.33	kW		
Potencia nominal corregida	PÜ	:	0.65	KW		
Factor de carga real	c2	:	2.00			
Relación de transmisión efectiva	i	:	1.00		---	%
Entre eje real	a	:	330.00	mm *	---	mm
Recorrido libre para montaje	y	:	≧	17.00		mm
Recorrido para tensado/montaje	x	:	≧	1.32		mm
Fuerza tangencial efectiva	Sn3	:	422	N		
Fuerza estática sobre eje	Sa	:	465	N		
Tensión estática en el ramal	T	:	232	N		
Longitud del ramal	L	:	330.00	mm		

* Indicación: ¡Distancia entre ejes no recomendable!

Recomendaciones de pretensado

Flecha en el ramal	Ea	:	6.60	mm	Fuerza de ensayo: 21.12
Optibelt TT3 - medición de frecuencia	f	:	100.79	1/s	

Con relación a la responsabilidad sobre el cálculo, nos remitimos a nuestras condiciones generales de venta.

-2-

Release 6.031 29.09.2017 Pricelist 06/2012

Anexo #8 - Cálculo de bulón

Bolted Connection Component Generator (Version: 2019.1 (Build 231200000, 200))

10/5/2019

☐ **Static Calculation**☐ **Guide**

Type of Strength Calculation - Bolt Diameter Design

☐ **Loads**Tightness Factor k 1,50 ulMaximum axial Force F_a 2050 NForce Input Factor n 1,00 ulMaximum tangent Force F_t 0 NJoint Friction Factor f 0,80 ul☐ **Bolt**Bolt Number z 1 ulThread Diameter d 12,000 mmThread Pitch p 1,750 mmMean Bolt Diameter d_s 10,863 mmMinimum Bolt Diameter d_{min} 9,853 mm

Material User material

Yield Strength S_y 800 MPaRequired Safety Factor k_s 3,00 ulAllowable Thread Pressure p_a 40 MPaModulus of Elasticity E 640000 MPaThread Friction Factor f_1 0,17 ulHead Friction Factor f_2 0,80 ul☐ **Material**Joint Functional Width L 46,450 mm

DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

Modulus of Elasticity E 640000 MPa

☐ Results

Prestress Force		F_v	2638,581 N
Working Force		F_{max}	3075,000 N
Required Tightening Moment		M_u	21,354 N m
Tensile Stress		σ_t	34,606 MPa
Torsional Stress		τ_k	113,695 MPa
Reduced Stress		σ_{red}	199,944 MPa
Stress from Maximum Force		σ_{max}	40,329 MPa
Thread Pressure		p_c	17,043 MPa
Strength Check			Positive

☐ Fatigue Calculation

☐ Loads

Cycle Upper Loading

Maximum Normal Force F_{nh} 765,000 N

Cycle Lower Loading

Minimum Normal Force F_{nn} 0,000 N

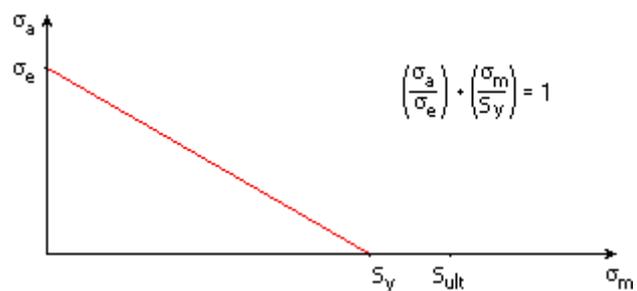
☐ Calculation Parameters

Soderberg Method

Required Dynamic Stroke Factor η 1,250 ul

Life of Joint in Thousandths of Deflections N 1000,000 ul

Required Safety Degree n_f 2,500 ul



☐ Endurance Limit Determination

DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

Basic Endurance Limit σ_e 224,000 MPa

Modifying Factor for Stress Concentration k_e 1,000 ul

Miscellaneous-effects Factor k_f 1,000 ul

☐ Results

Corrected Endurance Limit σ_e 224,000 MPa

Mean Fatigue Strength of the Joint σ_M 175,000 MPa

Amplitude of Joint Fatigue Joint Strength σ_A 175,000 MPa

Mean Cycle Stress of the Joint σ_m 4,643 MPa

Cycle Stress Amplitude σ_a 4,643 MPa

Calculated Safety Degree n_c 37,694 ul

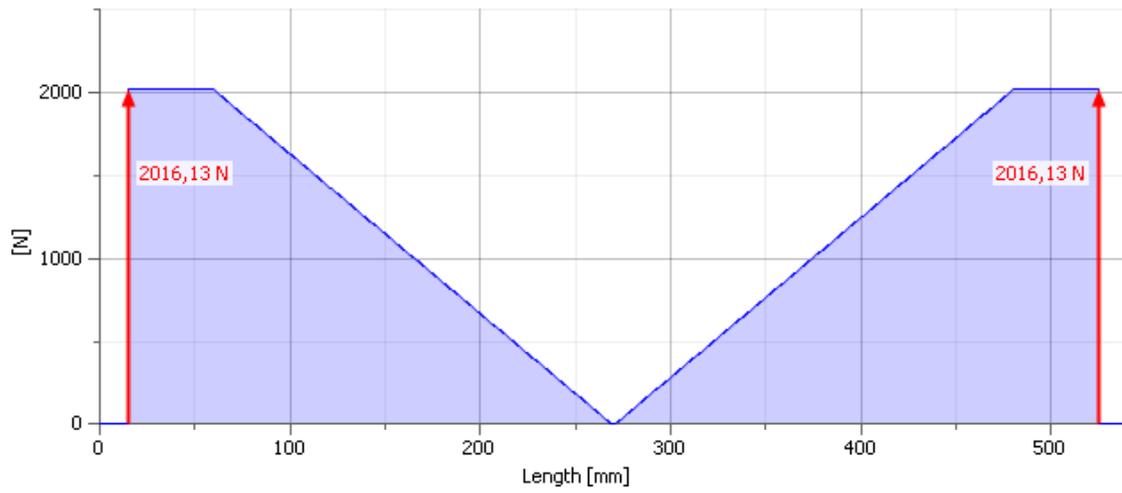
☐ Summary of Messages

10:02:51 Calculation: Calculation indicates design compliance!

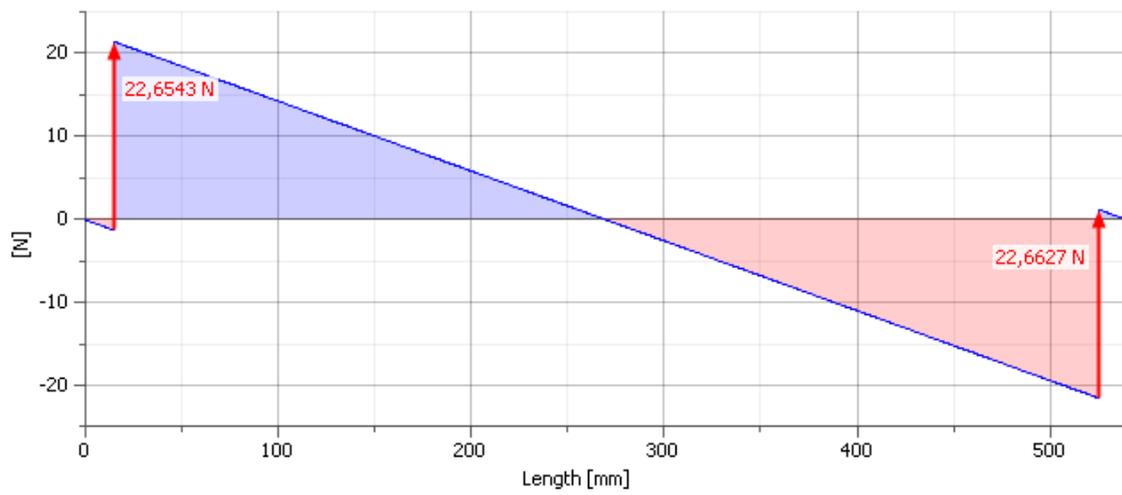
10:02:51 Fatigue Calculation: Calculation indicates design compliance!

DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

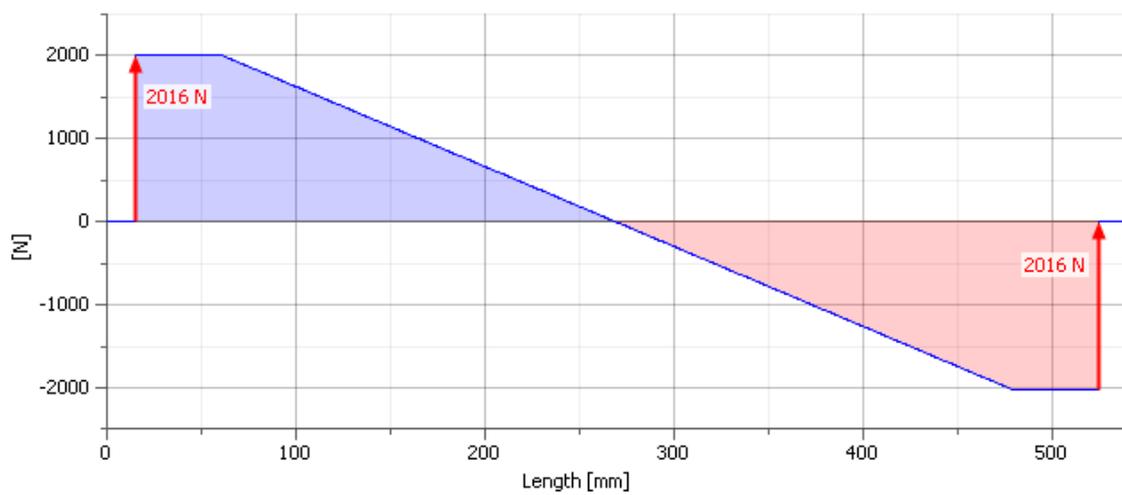
Shear Force



Shear Force, YZ Plane

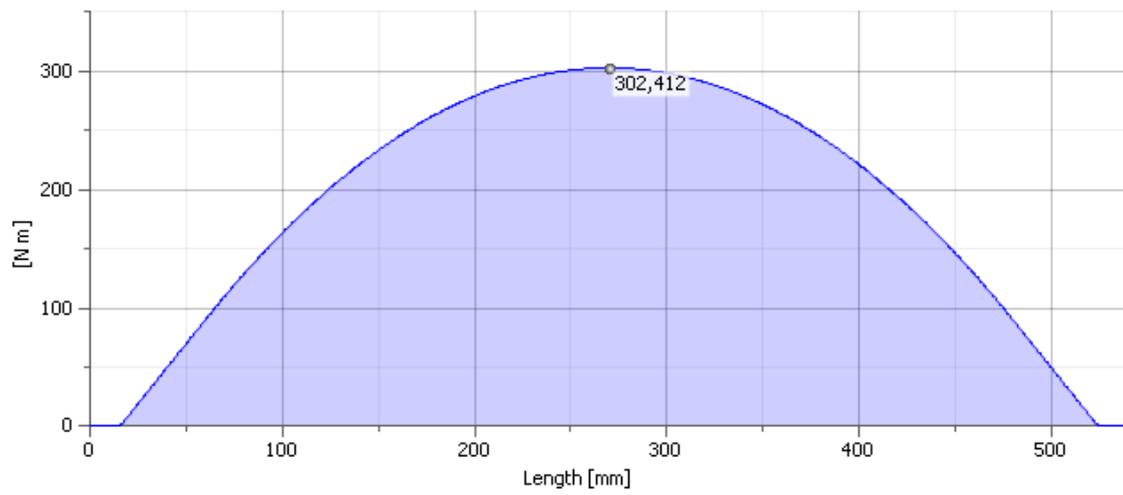


Shear Force, XZ Plane

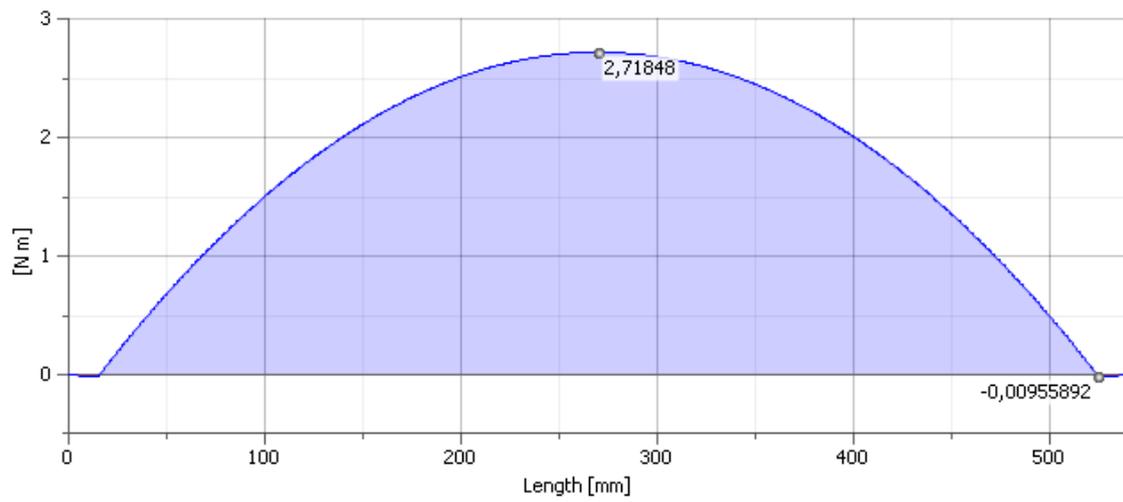


DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

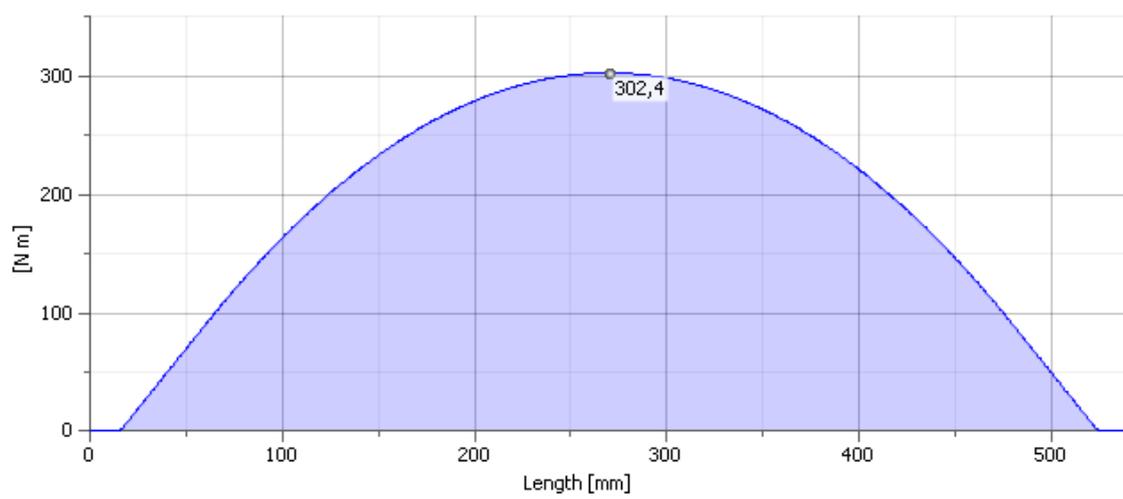
Bending Moment



Bending Moment, YZ Plane

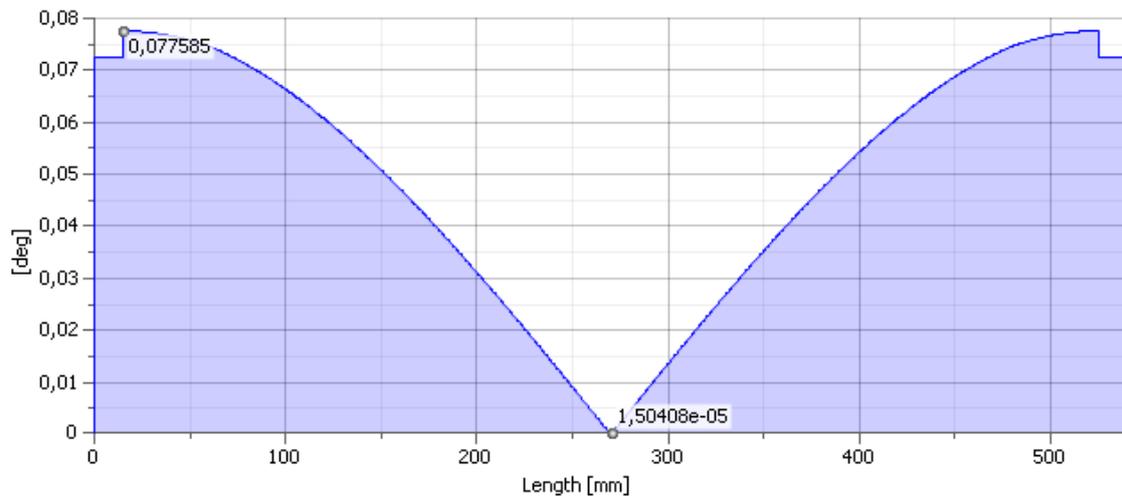


Bending Moment, XZ Plane

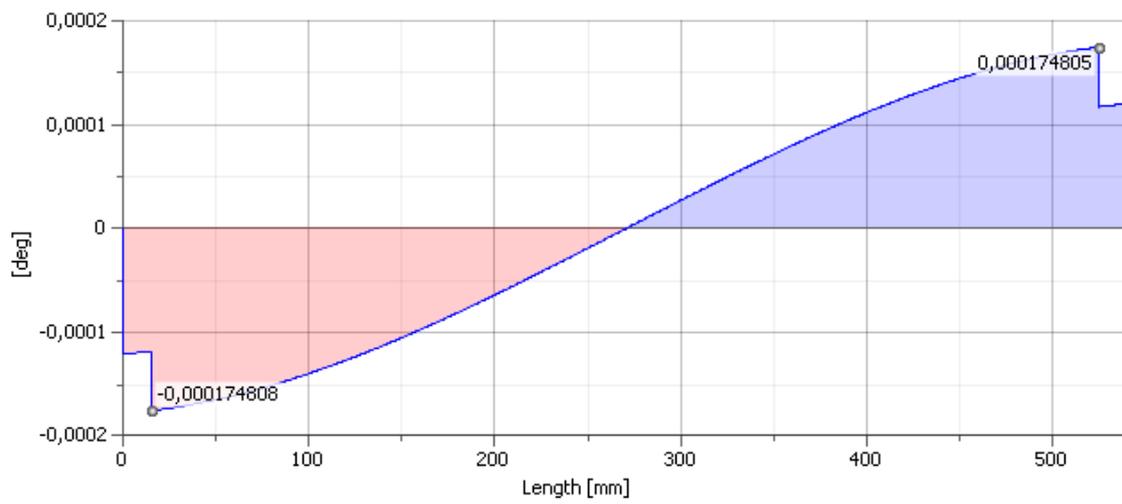


DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

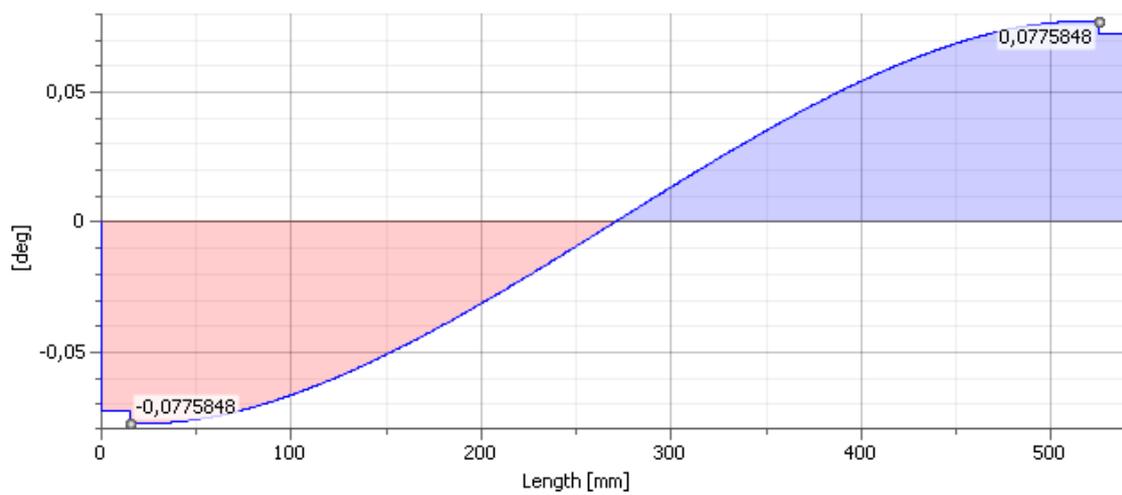
Deflection Angle



Deflection Angle, YZ Plane

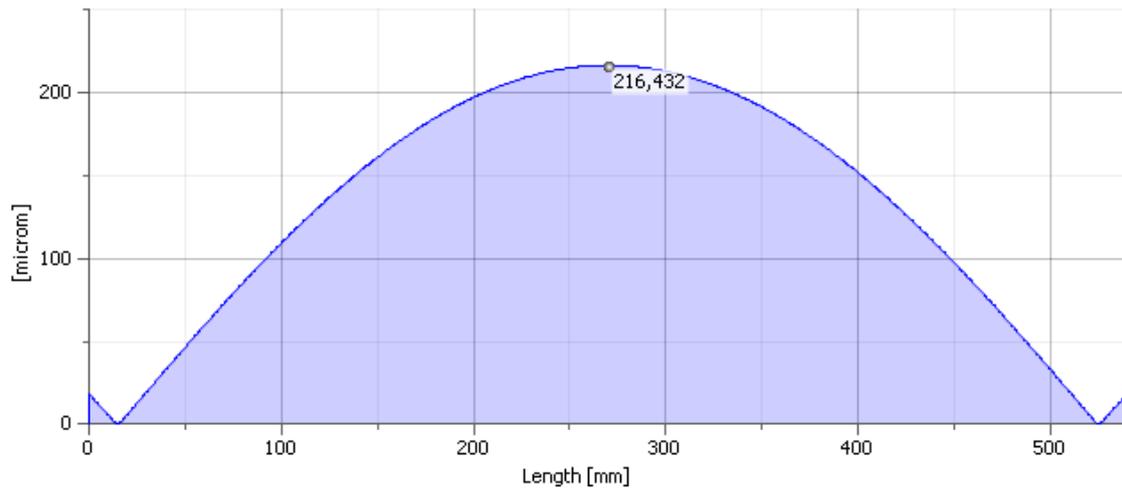


Deflection Angle, XZ Plane

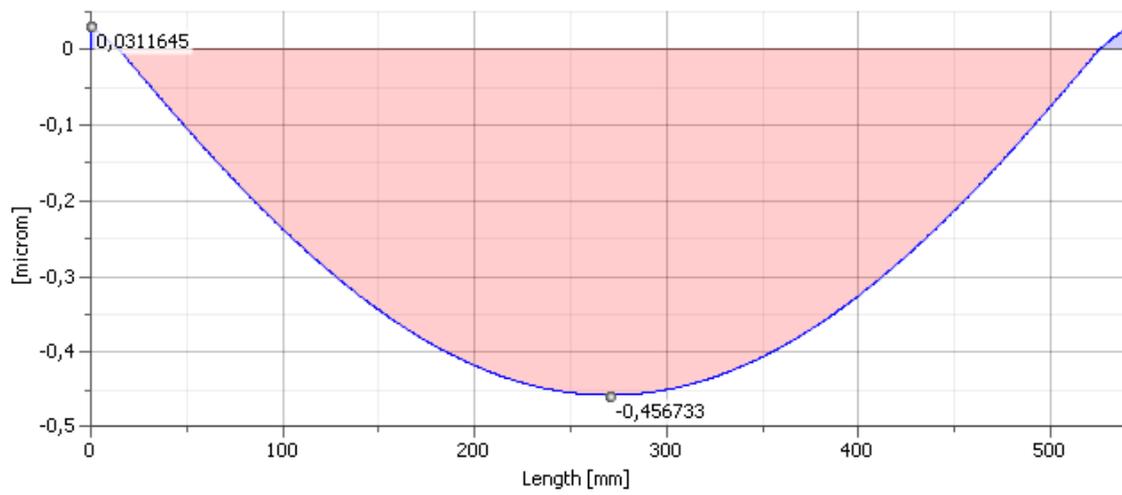


DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

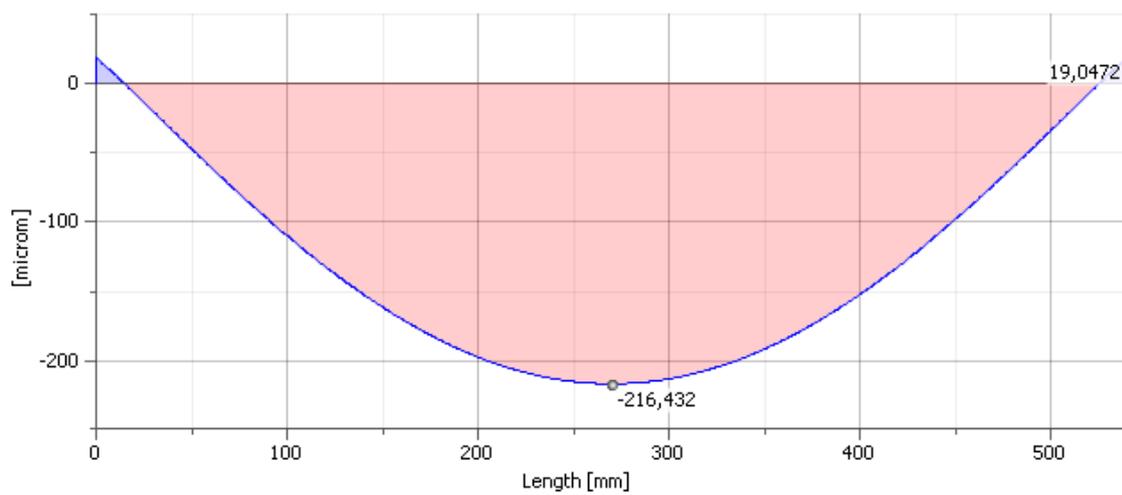
Deflection



Deflection, YZ Plane

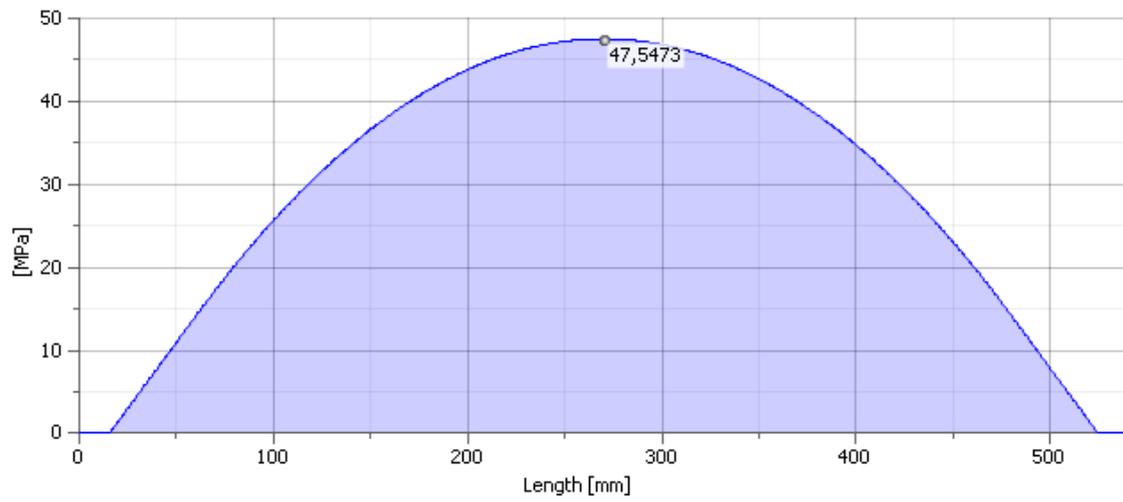


Deflection, XZ Plane

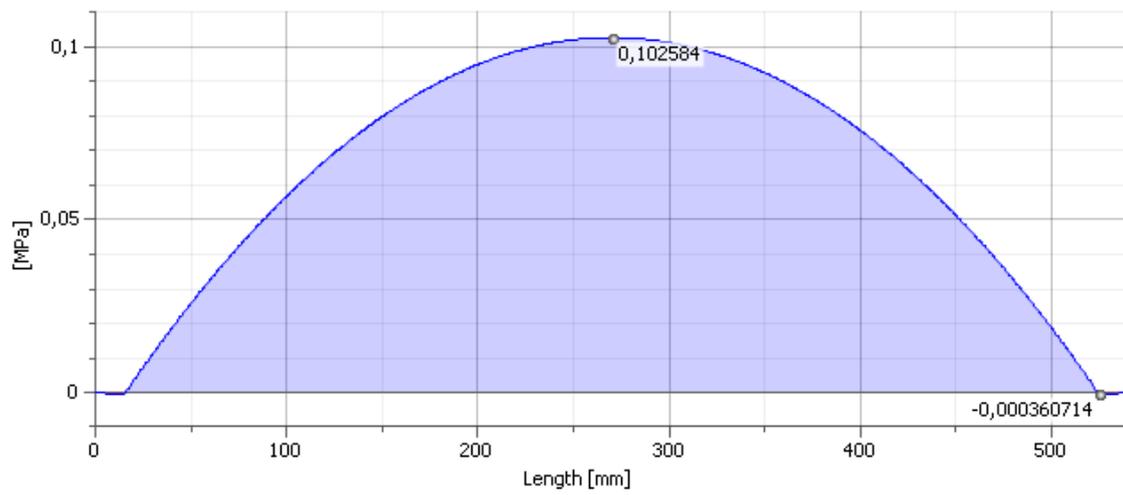


DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

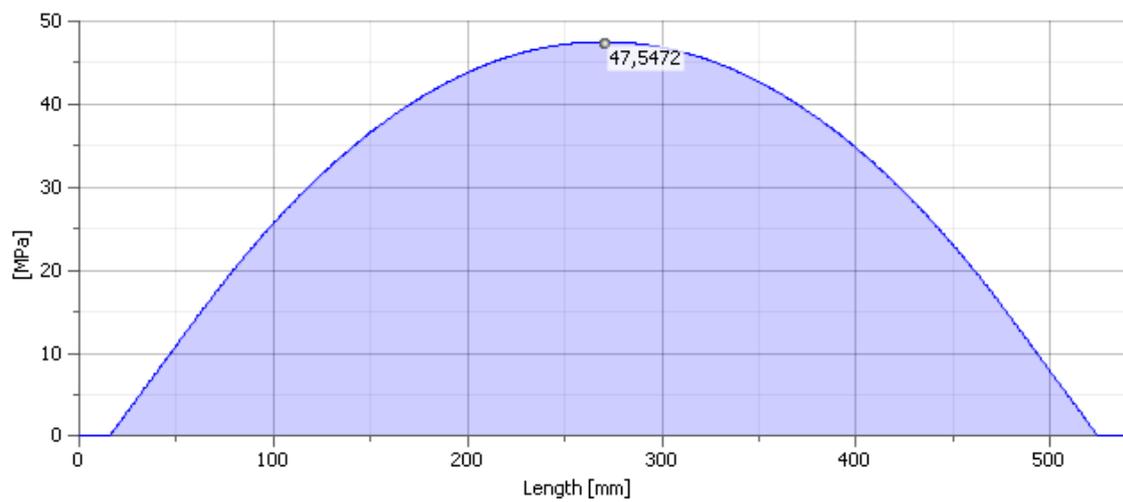
Bending Stress



Bending Stress, YZ Plane

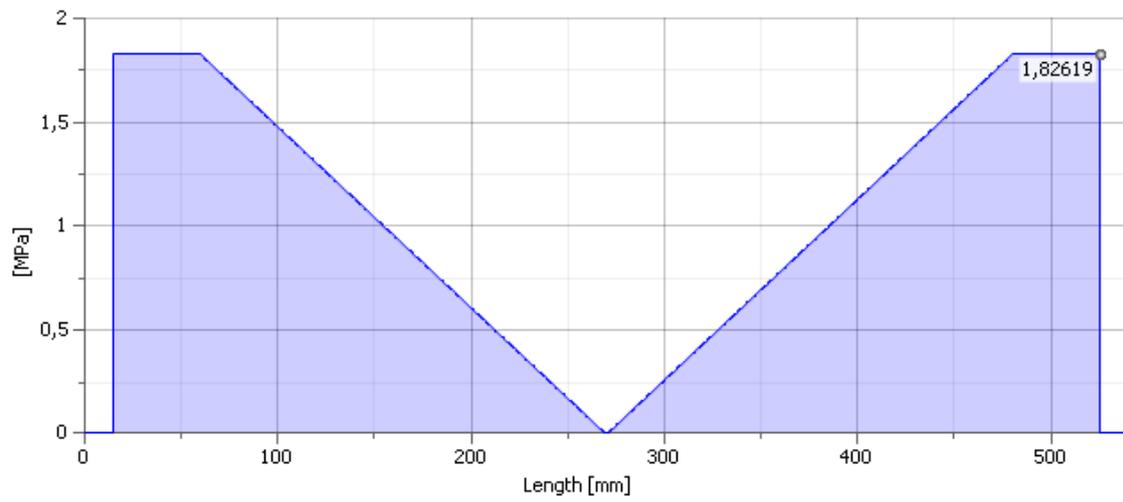


Bending Stress, XZ Plane

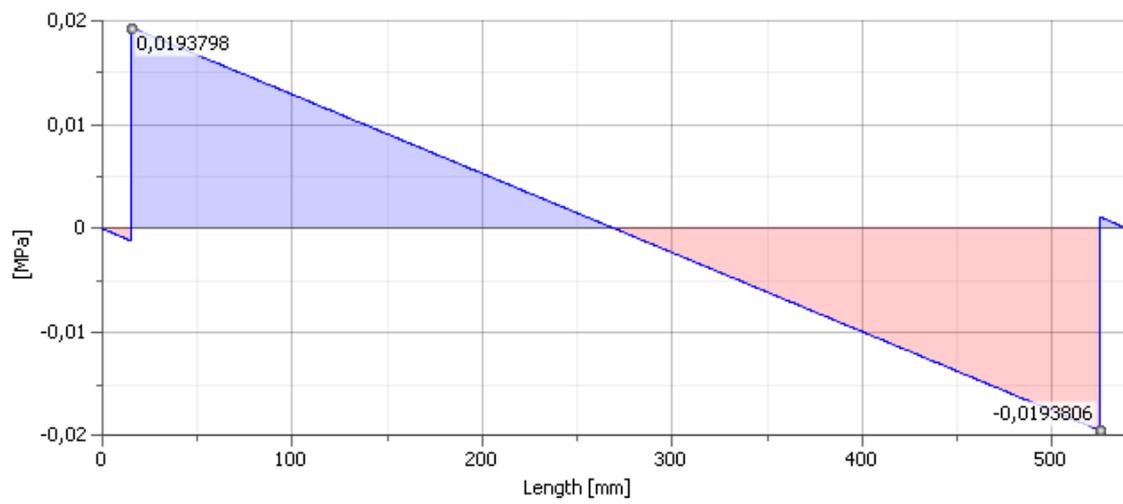


DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

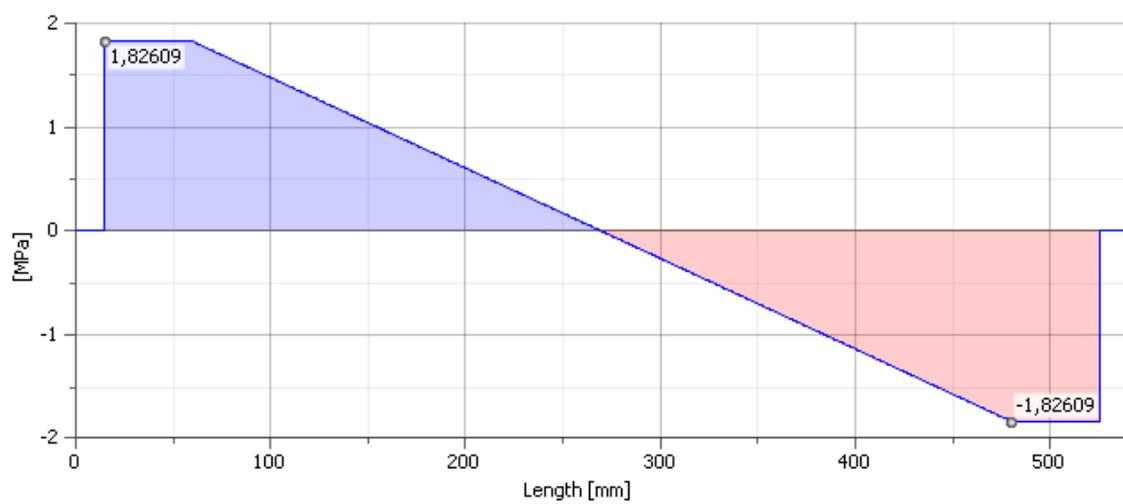
Shear Stress



Shear Stress, YZ Plane

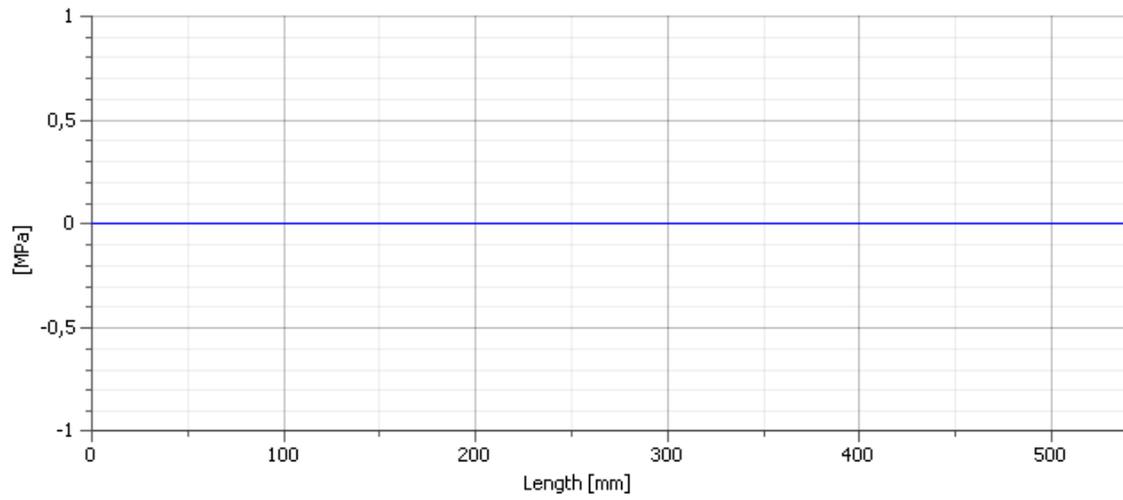


Shear Stress, XZ Plane

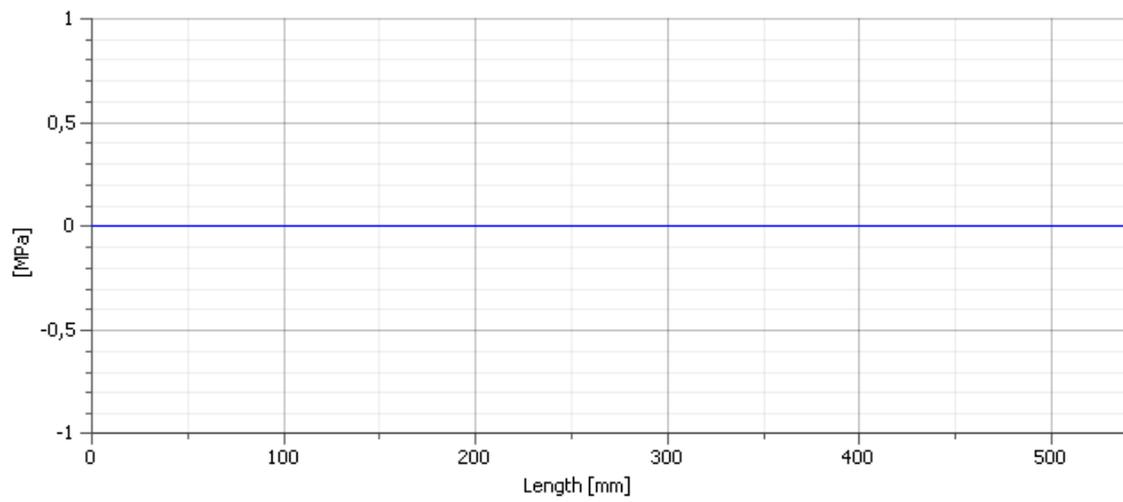


DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

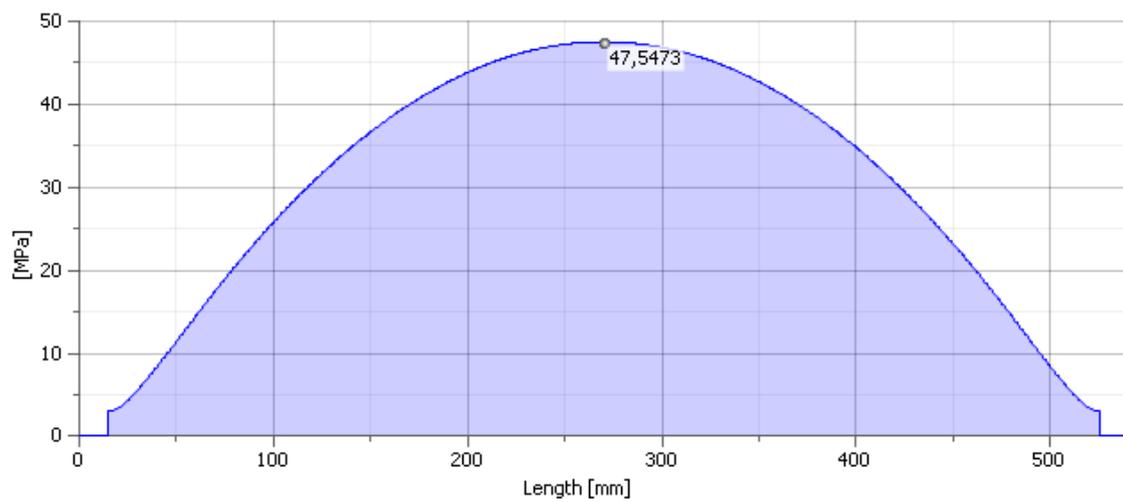
Torsional Stress



Tension Stress

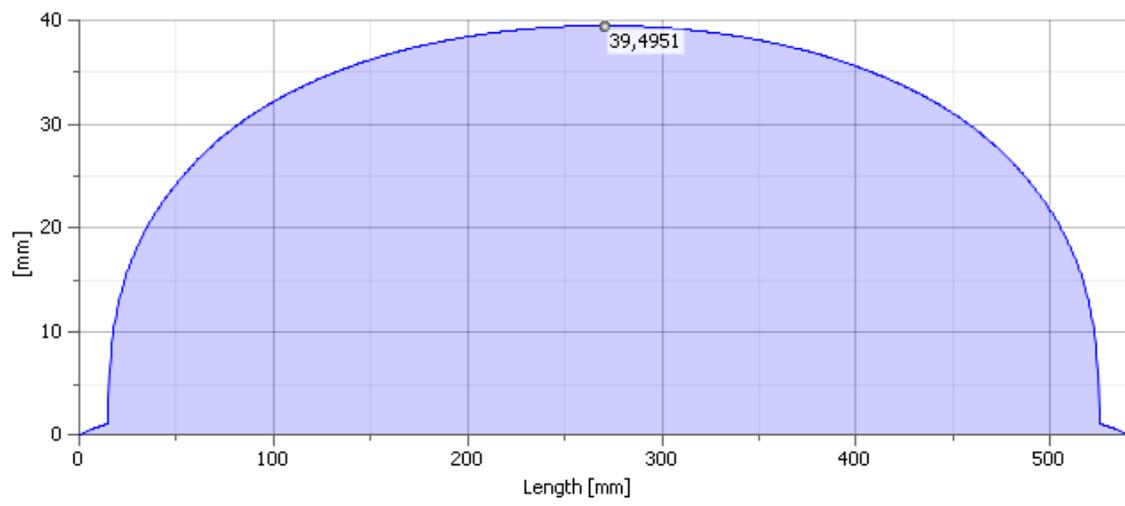


Reduced Stress



DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

☐ Ideal Diameter



Anexo #10 - Rodamientos

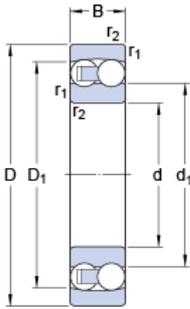
SKF



1205 ETN9

Producto popular

Dimensiones

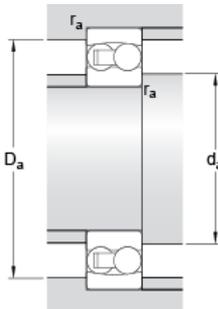


d	25	mm
D	52	mm
B	15	mm
d₁	≈ 33.3	mm
D₁	≈ 44.6	mm

Dimensions

r_{1,2}	min. 1	mm
------------------------	---------------	-----------

Dimensiones de los resaltes



d_a	min. 30.6	mm
D_a	max. 46.4	mm
r_a	max. 1	mm

Datos del cálculo

Capacidad de carga dinámica básica	C	14.3	kN
Capacidad de carga estática básica	C₀	4	kN
Carga límite de fatiga	P_u	0.21	kN
Velocidad de referencia		28000	r/min
Velocidad límite		18000	r/min
Factor de cálculo	k_r	0.04	
Factor de cálculo	e	0.28	
Factor de cálculo	Y₀	2.5	
Factor de cálculo	Y₁	2.2	
Factor de cálculo	Y₂	3.5	

Calculation data

DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

Permissible angular misalignment	α	2.5	°
---	----------------------------	------------	----------

Masa

Rodamiento de masa	0.14	kg
---------------------------	-------------	-----------

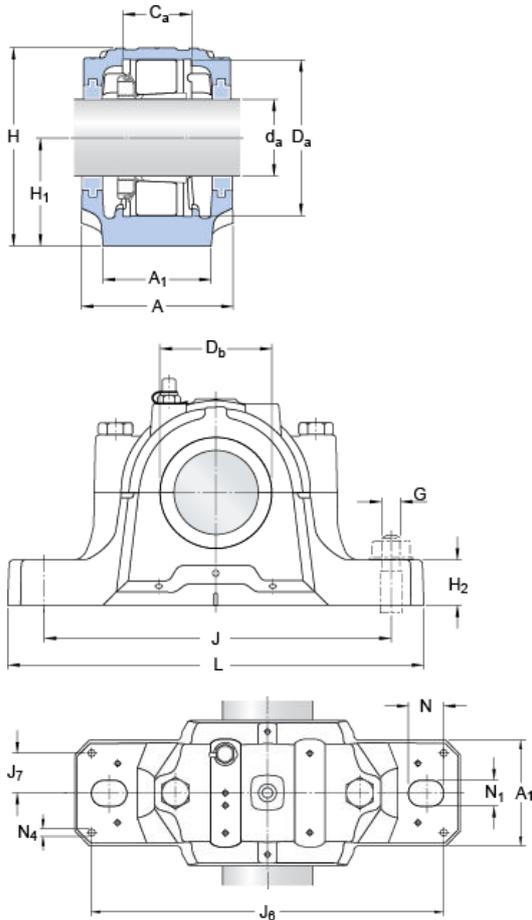


SNL 505

Productos adecuados

Rodamiento (designación básica)	1205 K
Manguito de fijación	H 205
Anillo de fijación	2 x FRB 5/52

Dimensiones



d_a	20	mm
C_a	25	mm
D_a	52	mm
D_b	31.5	mm
A	67	mm
A_1	46	mm
H	74	mm
H_1	40	mm
H_2	19	mm
J	130	mm
L	165	mm
N	20	mm
N_1	15	mm
Fijas de situación		
J_6	152	mm
J_7	16	mm
N_4	max. 5	mm

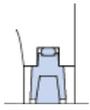
Dimensions

Seal dimensions

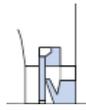
A_{2L}	80	mm
----------	----	----

Sellos y tapa lateral adecuados

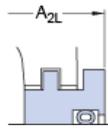
DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS



TSN 505 C



TSN 505 A

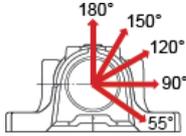


2 x TSN 505 S



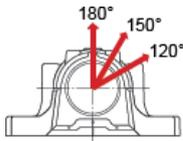
ASNH 505

Cargas de rotura, soporte



P_{0°}	100	kN
P_{55°}	155	kN
P_{90°}	95	kN
P_{120°}	70	kN
P_{150°}	60	kN
P_{180°}	80	kN
P_a	52	kN

Límite de elasticidad, pernos de tapa



Q_{120°}	150	kN
Q_{150°}	85	kN
Q_{180°}	75	kN

Masa

Soporte de masa	1.45	kg
------------------------	-------------	-----------

Información de montaje

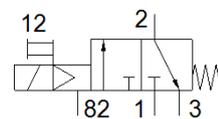
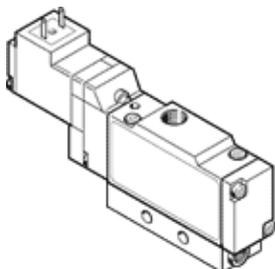
Perno de tapa, tamaño	M 10x40	
Par de apriete recomendado para el perno de tapa	50	N·m
Tamaño de tornillos de fijación adecuados	G 12	mm
Tornillo de fijación adecuado, par de apriete recomendado	80	N·m
Llenado inicial de grasa, 20%	15	g
Llenado inicial de grasa, 40%	25	g

Anexo #11 - Datos Técnicos Válvulas

electroválvula MEH-3/2-1/8-B

Número de artículo: 173124

Midineumática, con bobina y accionamiento auxiliar manual, sin conector



Hoja de datos

Característica	Valor
Función de las válvulas	3/2 cerrada monoestable
Tipo de accionamiento	eléctrico
Ancho	17,8 mm
Caudal nominal normal	600 l/min
Presión de funcionamiento	2 ... 8 bar
Construcción	Corredera
Tipo de reposición	muelle mecánico
Tipo de protección	IP65
Homologación	c UL us - Recognized (OL)
Diámetro nominal	5 mm
Patrón	18 mm
Función de escape	Estrangulable
Principio de hermetización	blando
Posición de montaje	indistinto
Accionamiento manual auxiliar	con accesorios enclavables
Tipo de control	prepiloto
Alimentación del aire de control	interno

DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

Sentido del flujo	no reversible
Superposición	Superposición positiva
Valor B	0,36
Valor C	2,55 l/sbar
Tiempo de conmutación a la desconexión	28 ms
Tiempo de conmutación a la conexión	10 ms
Factor de utilización	100%
Valores característicos de las bobinas	24 V DC: 1,5 W
Fluido	Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Indicación sobre los fluidos de funcionamiento y de mando	Opción de funcionamiento con lubricación (necesaria en otro modo de funcionamiento)
Resistencia a los impactos	Comprobación de suplemento de transporte con grado de nitidez 1 según FN 942017-4 y EN 60068-2-6
Resistencia a los golpes	Control de golpes con grado de severidad 2, según FN 942017-5 y EN 60068-2-27
Clase de resistencia a la corrosión KBK	2 - riesgo de corrosión moderado
Temperatura de almacenamiento	-20 ... 40 °C
Temperatura del medio	-5 ... 50 °C
Nivel de ruido	75 dB(A)
Fluido de control	Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Temperatura ambiente	-5 ... 50 °C
Peso del producto	105 g
Conexión eléctrica	Conector Forma rectangular Esquema de conexiones forma C, según estándar industrial de 9,4 mm
Tipo de fijación	con taladro pasante
Conexión del aire de escape de pilotaje 82/84	M5

Característica	Valor
Conexión neumática 1	G1/8
Conexión neumática 2	G1/8
Conexión neumática 3	G1/8
Indicación sobre el material	Conforme con RoHS
Material de las juntas	HNBR NBR
Material de la carcasa	Fundición inyectada de aluminio

24/05/2019 – Reservado el derecho de modificación – Festo AG & Co. KG 2 / 2

unidad de mantenimiento combinada



MSB4

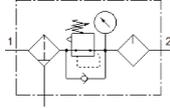
Número de artículo: 531029

☆ Gama básica

Para montaje en batería, con rosca G.



Representación a modo de ejemplo



Hoja de datos

Ficha de datos técnicos completa: los valores parciales dependen de su configuración.

Característica	Valor
Tamaño	4
Serie	MS
Tipo de accionamiento	eléctrico manual neumático
Asegurar el accionamiento	Botón giratorio con cerrojo integrado
Posición de montaje	indistinto vertical +/- 5°
Grado de filtración	0,01 ... 40 µm
Purga del condensado	completamente automático giro manual semiautomático
Construcción	Módulo de derivación Filtro de carbón activo Válvula reguladora de presión, con manómetro Válvula de arranque progresivo Válvula de arranque progresivo Filtro de fibras Filtro regulador con manómetro Filtro regulador sin manómetro Secador de membrana Lubricador proporcional estándar

DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

	Filtro de material sinterizado con separador por centrifugación con función antirretorno
Función del regulador	Presión inicial con compensación de la presión primaria con escape secundario con flujo inverso
Funda de protección	funda de protección de material sintético
Inicador de la presión diferencial	indicación óptica con sensor de presión
Indicación de la presión	con sensor de presión con manómetro
Presión de funcionamiento	1,5 ... 14 bar
Margen de regulación de la presión	1 ... 12 bar
Caudal nominal normal	800 ... 1.400 l/min
Valores característicos de las bobinas	110 V AC: 50/60 Hz, potencia de arranque de 3 VA, potencia de retención de 2,4 VA 230 V AC: 50/60 Hz, potencia de arranque de 3 VA, potencia de retención de 2,4 VA 24 V DC: 1,5 W 24 V DC: 1,8 W

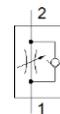
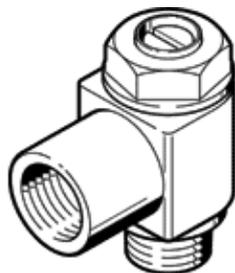
24/05/2019 – Reservado el derecho de modificación – Festo AG & Co. KG 1 / 2

Característica	Valor
Categoría ATEX para gas	II 2G II 3G
Categoría ATEX para polvo	II 2D II 3D
Indicación sobre los fluidos de funcionamiento y de mando	Opción de funcionamiento con lubricación (necesaria en otro modo de funcionamiento)
Marca CE (ver declaración de conformidad)	según la normativa UE sobre EMC según la normativa UE sobre protección contra explosión (ATEX) según la normativa UE de baja tensión

Clase de resistencia a la corrosión KBK	2 - riesgo de corrosión moderado
Temperatura de almacenamiento	-10 ... 60 °C
Apto para el contacto con alimentos	Información detallada sobre el material
Temperatura del medio	-10 ... 60 °C
Temperatura ambiente	-10 ... 60 °C
Homologación	c UL us - Recognized (OL)
Tipo de fijación	con accesorios
Conexión neumática 1	G1/8 G1/4
Conexión neumática 2	G1/8 G1/4
Conexión neumática 3	G1/4
Material de la carcasa	Fundición inyectada de aluminio
Material de la funda	PC

válvula de estrangulación y antirretorno GRLA-3/8-B

Número de artículo: 151178

FESTO**Hoja de datos**

Característica	Valor
Función de las válvulas	Válvula reguladora de caudal, antirretorno del escape
Conexión neumática 1	G3/8
Conexión neumática 2	G3/8
Elemento de ajuste	Tornillo con cabeza ranurada
Tipo de fijación	atornillable
Caudal nominal normal en sentido de la estrangulación	1.450 l/min
Caudal nominal normal en el sentido del antirretorno	970 ... 1600 l/min
Temperatura ambiente	-10 ... 60 °C
Homologación	Germanischer Lloyd
Posición de montaje	indistinto
Presión de funcionamiento en todo el margen de temperatura	0,3 ... 10 bar
Caudal estándar en sentido de regulación del flujo: 6 - > 0 bar	2.300 l/min
Caudal estándar en sentido de bloqueo: 6 -> 0 bar	1540 ... 2540 l/min
Fluido	Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Indicación sobre los fluidos de funcionamiento y de mando	Opción de funcionamiento con lubricación (necesaria en otro modo de funcionamiento)
Temperatura del medio	-10 ... 60 °C
Par de apriete máximo	20 Nm

DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

Peso del producto	97 g
Indicación sobre el material	Conforme con RoHS
Material de las juntas	NBR
Material del tornillo hueco	Aleación forjable de aluminio
Material del tornillo de regulación	latón
Material de las tuercas	Aleación forjable de aluminio
Material de la conexión orientable	Fundición inyectada de cinc

24/05/2019 – Reservado el derecho de modificación – Festo AG & Co. KG 1 / 1

Anexo #12 - Cálculo de bastidor

Frame Analysis Report

Project Info (iProperties)

Physical

Mass	24,490 kg
Area	13291,647 mm ²
Volume	3119,718 mm ³
Center of Gravity	x=-60,561 mm y=19,960 mm z=200,986 mm

Simulation:1

General objective and settings:

Simulation Type	Static Analysis
-----------------	-----------------

Material(s)

Name	Steel, Mild	
General	Mass Density	7,850 g/cm ³
	Yield Strength	207,000 MPa
	Ultimate Tensile Strength	345,000 MPa
Stress	Young's Modulus	220,000 GPa
	Poisson's Ratio	0,275 ul
Part Name(s)	ANSI L 2 x 2 x 3_16 00000001.ipt ANSI L 2 x 2 x 3_16 00000002.ipt ANSI L 2 x 2 x 3_16 00000003.ipt ANSI L 2 x 2 x 3_16 00000004.ipt ANSI L 2 x 2 x 3_16 00000005.ipt ANSI L 2 x 2 x 3_16 00000006.ipt ANSI L 2 x 2 x 3_16 00000007.ipt ANSI L 2 x 2 x 3_16 00000008.ipt	

Cross Section(s)

Geometry Properties	Section Area (A)	467,024 mm ²
	Section Width	50,800 mm
	Section Height	50,800 mm
	Section Centroid (x)	14,200 mm
	Section Centroid (y)	14,200 mm
Mechanical Properties	Moment of Inertia (I _x)	111470,528 mm ⁴
	Moment of Inertia (I _y)	111470,528 mm ⁴
	Torsional Rigidity Modulus (J)	3836,922 mm ⁴
	Section Modulus (W _x)	3045,652 mm ³
	Section Modulus (W _y)	3045,652 mm ³
	Torsional Section Modulus (W _z)	518,860 mm ³
	Reduced Shear Area (A _x)	170,248 mm ²
	Reduced Shear Area (A _y)	170,248 mm ²
Part Name(s)	ANSI L 2 x 2 x 3_16 00000001.ipt ANSI L 2 x 2 x 3_16 00000002.ipt ANSI L 2 x 2 x 3_16 00000003.ipt ANSI L 2 x 2 x 3_16 00000004.ipt ANSI L 2 x 2 x 3_16 00000005.ipt ANSI L 2 x 2 x 3_16 00000006.ipt ANSI L 2 x 2 x 3_16 00000007.ipt ANSI L 2 x 2 x 3_16 00000008.ipt	

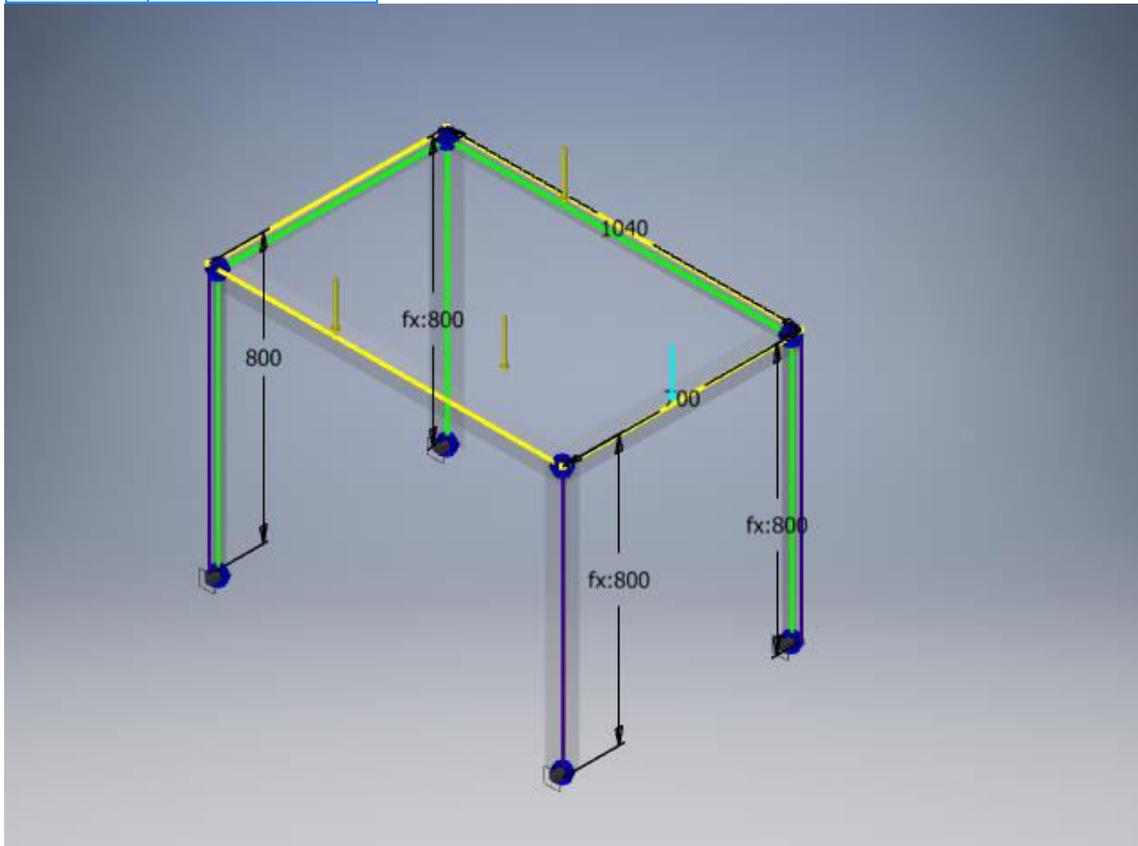
Beam Model

Nodes	16
Beams	8
- Angles	8

Operating conditions

Gravity

Load Type	Gravity
Magnitude	9810,000 mm/s ²
Direction	Z-



Force:1

Load Type	Force
Magnitude	142,000 N
Beam Coordinate System	No
Angle of Plane	270,00 deg
Angle in Plane	180,00 deg
Fx	0,000 N
Fy	-0,000 N
Fz	-142,000 N

DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

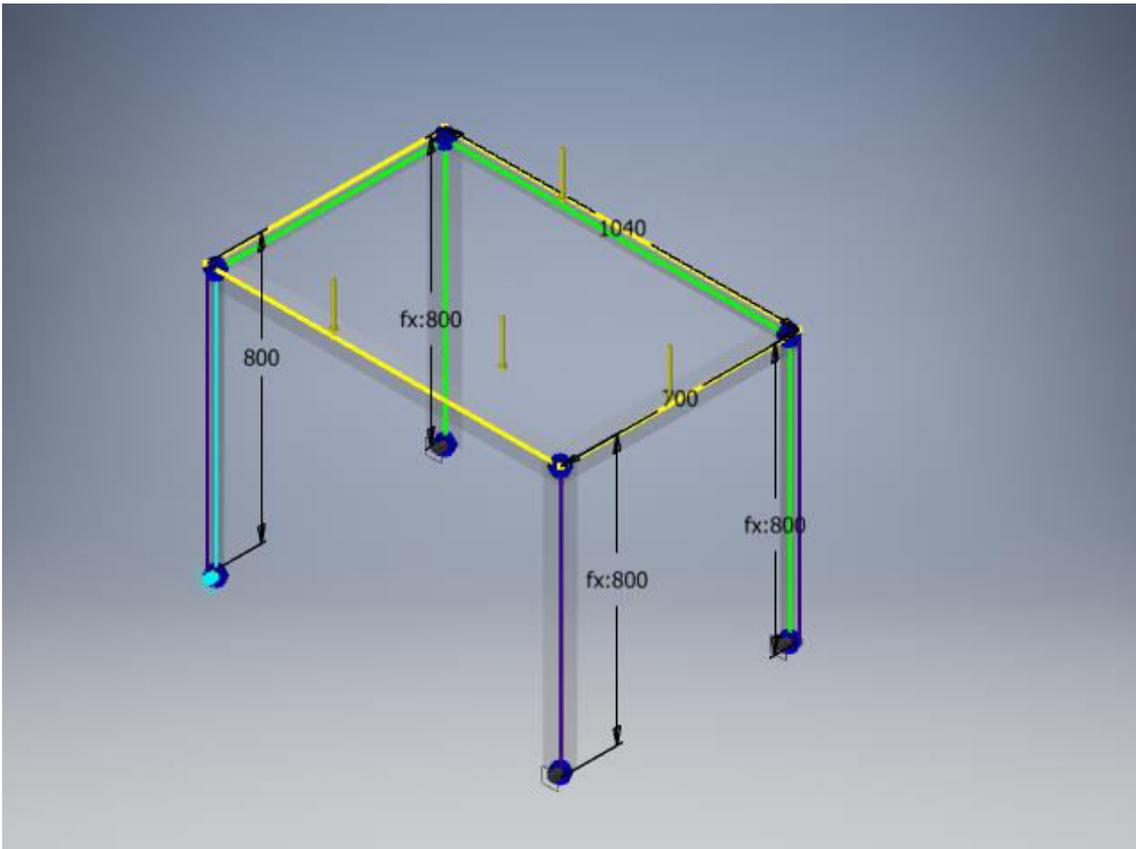
Offset	350,000 mm
--------	------------

Force:3

Load Type	Force
Magnitude	300,000 N
Beam Coordinate System	No
Angle of Plane	0,00 deg
Angle in Plane	180,00 deg
Fx	0,000 N
Fy	0,000 N
Fz	-300,000 N
Offset	346,667 mm

Force:4

Load Type	Force
Magnitude	300,000 N
Beam Coordinate System	No
Angle of Plane	0,00 deg
Angle in Plane	180,00 deg
Fx	0,000 N
Fy	0,000 N
Fz	-300,000 N
Offset	346,667 mm



Fixed Constraint:1

Constraint Type	Fixed
Offset	0,000 mm

Fixed Constraint:2

Constraint Type	Fixed
Offset	1,00000 ul

Fixed Constraint:3

Constraint Type	Fixed
Offset	1,00000 ul

Fixed Constraint:4

Constraint Type	Fixed
-----------------	-------

Offset	0,000 mm
--------	----------

Results

Reaction Force and Moment on Constraints

Constraint Name	Reaction Force		Reaction Moment	
	Magnitude	Components (Fx,Fy,Fz)	Magnitude	Components (Mx,My,Mz)
Fixed Constraint:1	264,386 N	51,089 N	11465,130 N mm	-416,570 N mm
		1,616 N		11457,560 N mm
		259,398 N		-0,216 N mm
Fixed Constraint:3	231,606 N	-51,089 N	15815,862 N mm	4211,103 N mm
		-15,885 N		-15244,937 N mm
		225,342 N		-0,190 N mm
Fixed Constraint:2	237,963 N	-51,191 N	15838,315 N mm	-4119,933 N mm
		15,953 N		-15293,083 N mm
		231,843 N		-0,216 N mm
Fixed Constraint:4	264,539 N	51,191 N	11514,382 N mm	446,922 N mm
		-1,684 N		11505,706 N mm
		259,533 N		-0,190 N mm

Static Result Summary

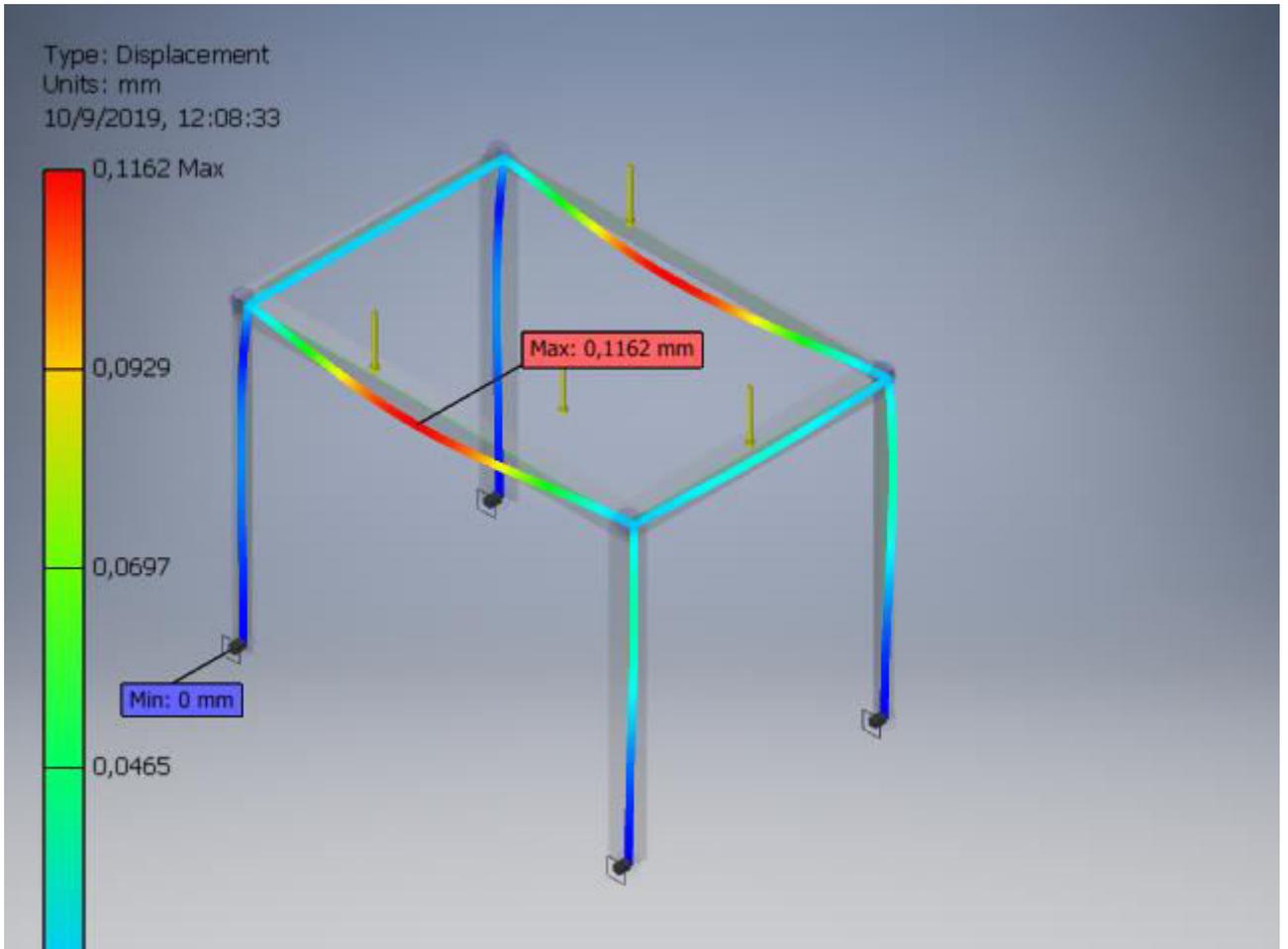
Name		Minimum	Maximum
Displacement		0,000 mm	0,116 mm
Forces	Fx	-219,097 N	117,285 N
	Fy	-219,158 N	117,224 N
	Fz	1,654 N	259,533 N
Moments	Mx	-44530,962 N mm	28720,111 N mm

DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

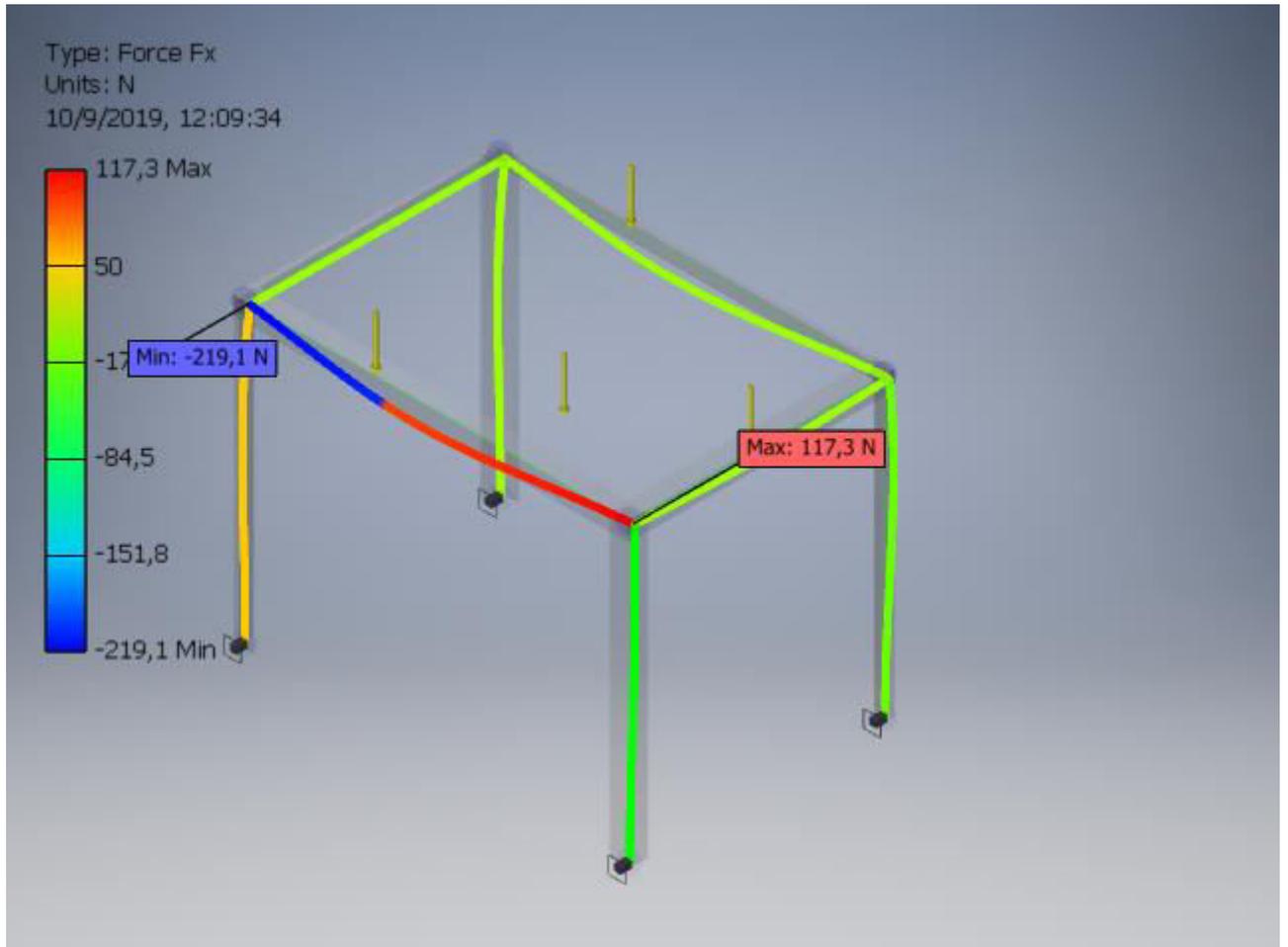
	My	-28688,665 N mm	44540,983 N mm
	Mz	-19,034 N mm	20,233 N mm
Normal Stresses	Smax	-0,451 MPa	14,516 MPa
	Smin	-11,385 MPa	-0,005 MPa
	Smax(Mx)	0,000 MPa	14,621 MPa
	Smin(Mx)	-9,430 MPa	-0,000 MPa
	Smax(My)	0,000 MPa	14,624 MPa
	Smin(My)	-9,420 MPa	-0,000 MPa
	Saxial	-0,556 MPa	-0,004 MPa
Shear Stresses	Tx	-0,689 MPa	1,287 MPa
	Ty	-0,689 MPa	1,287 MPa
Torsional Stresses	T	-0,039 MPa	0,037 MPa

Figures

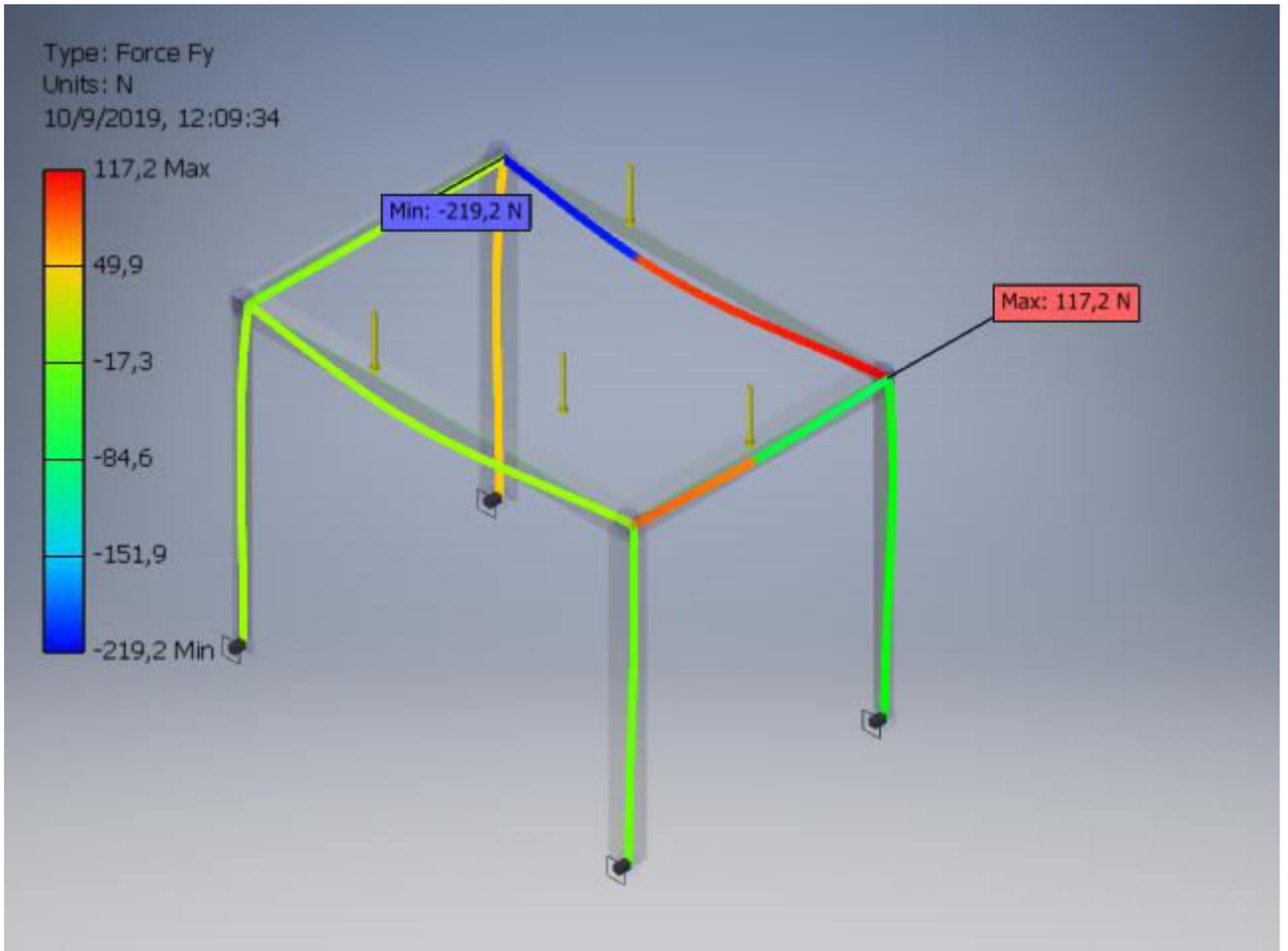
Displacement



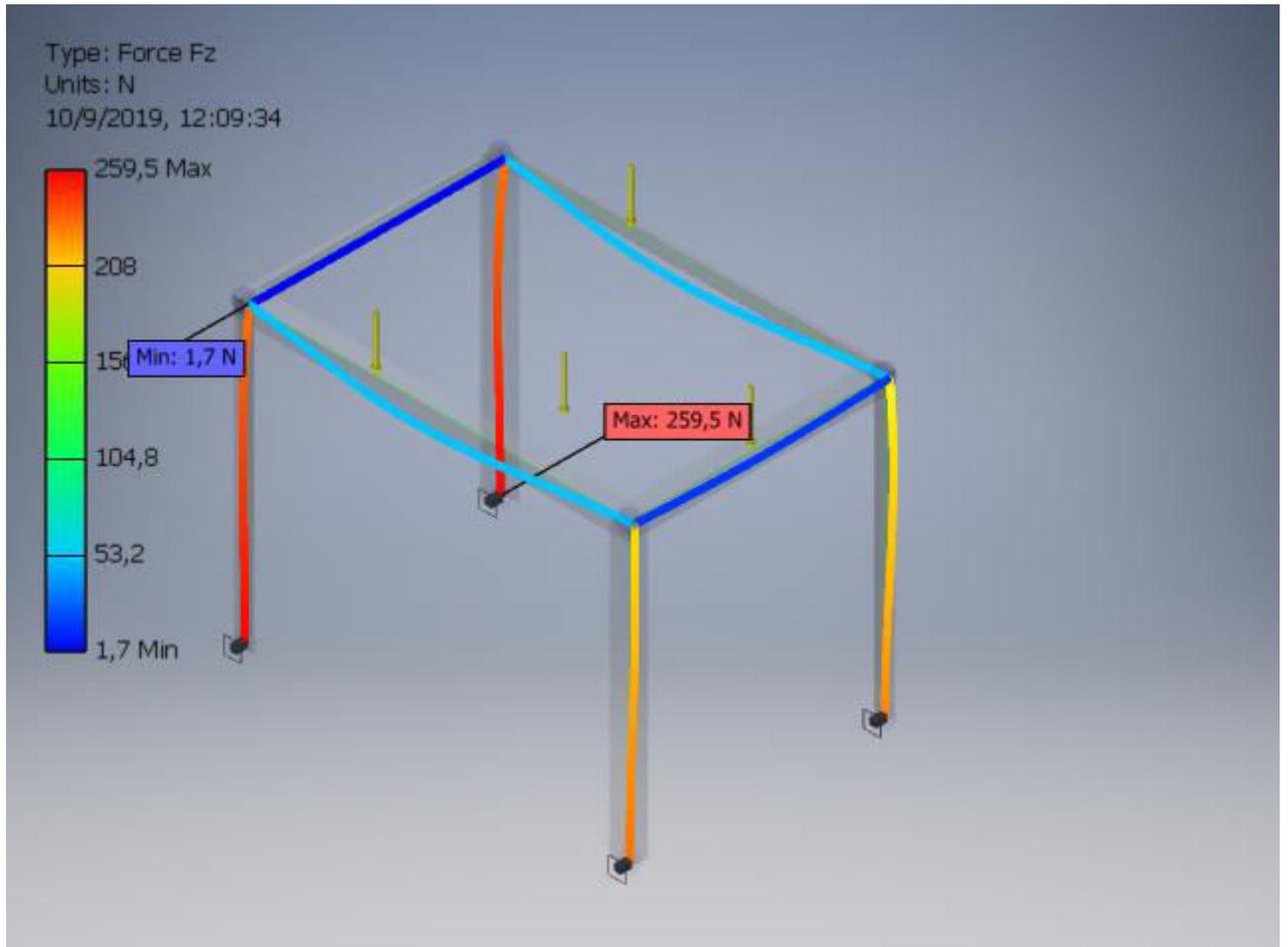
Fx



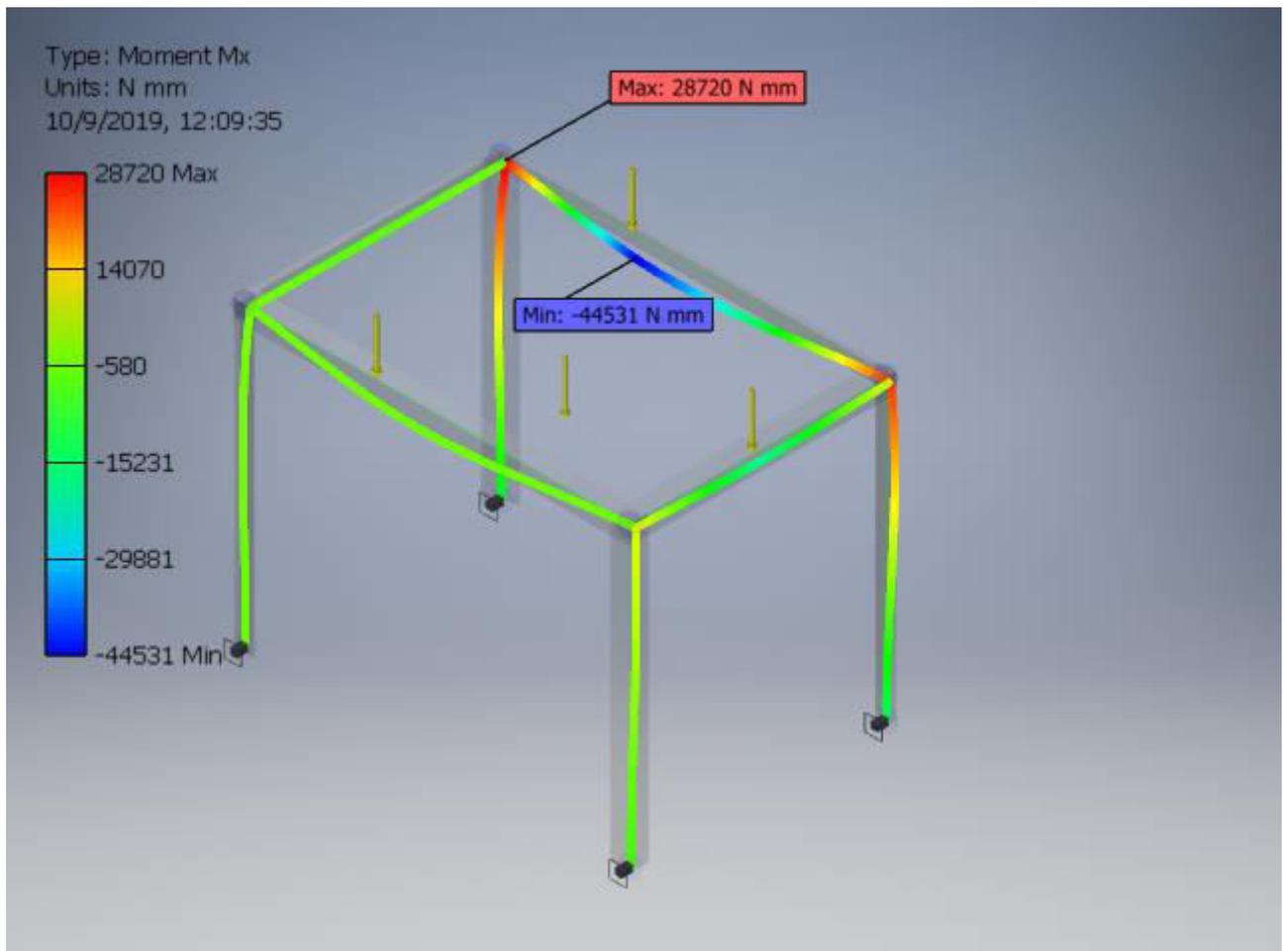
Fy



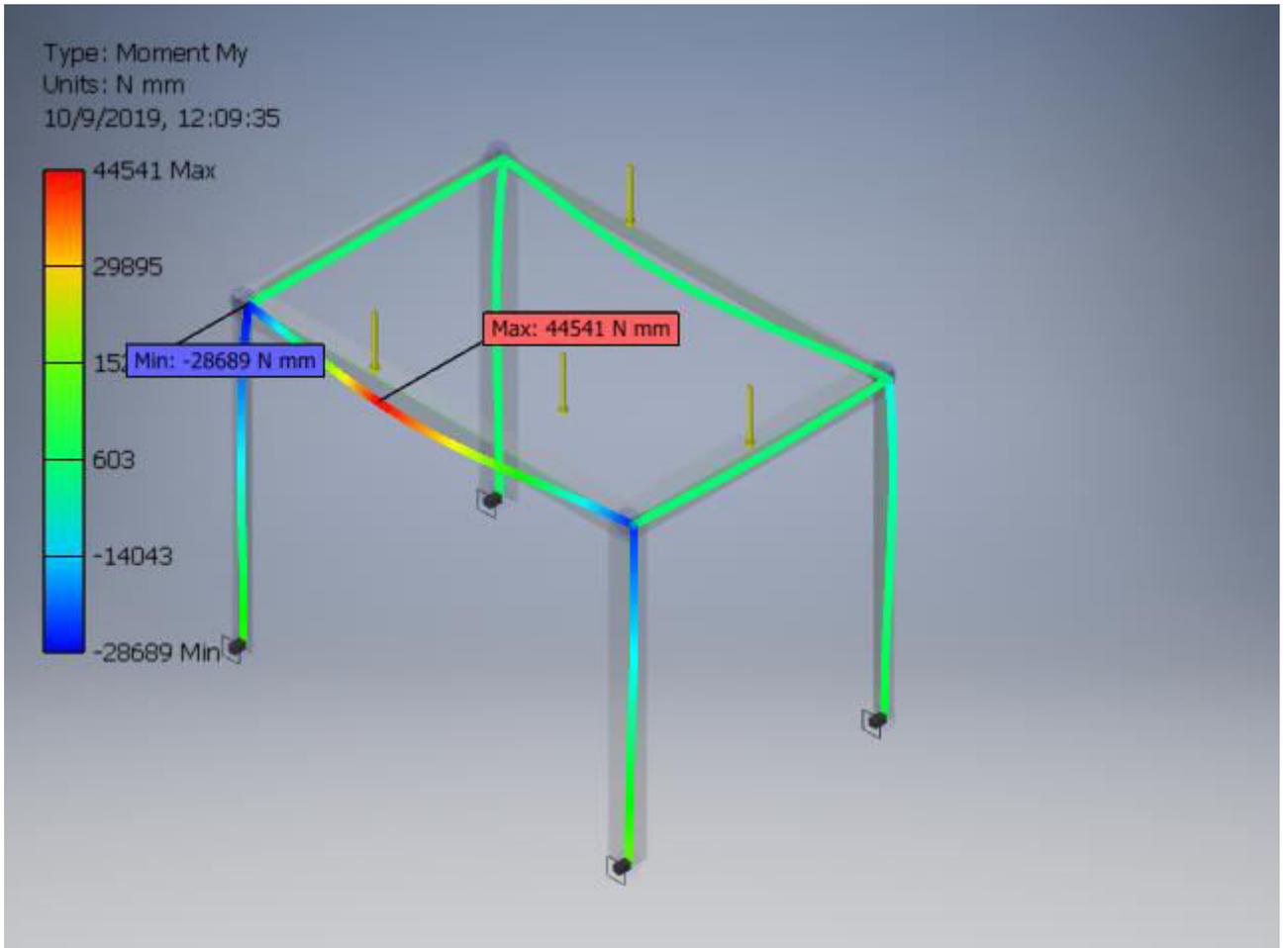
Fz



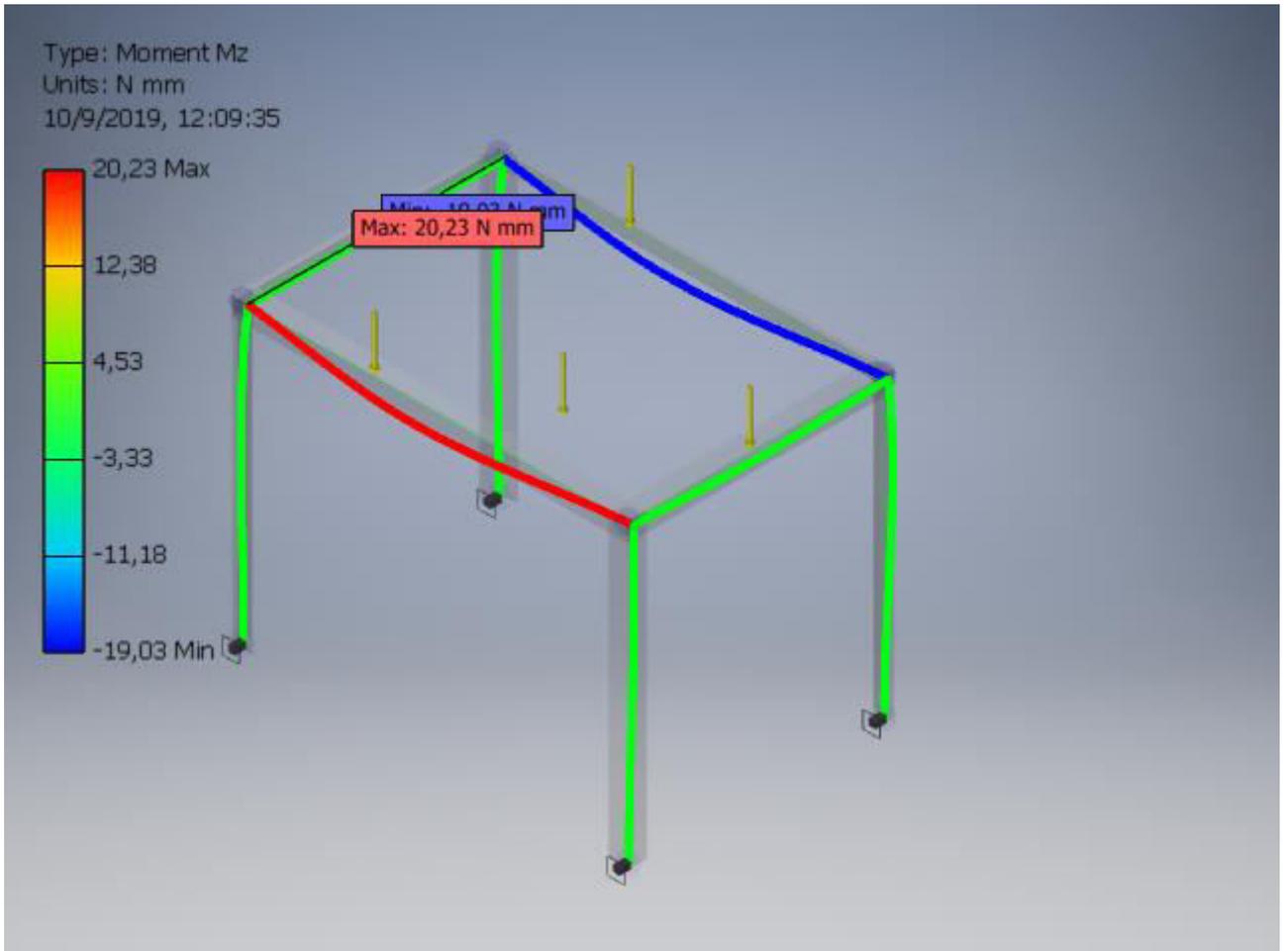
Mx



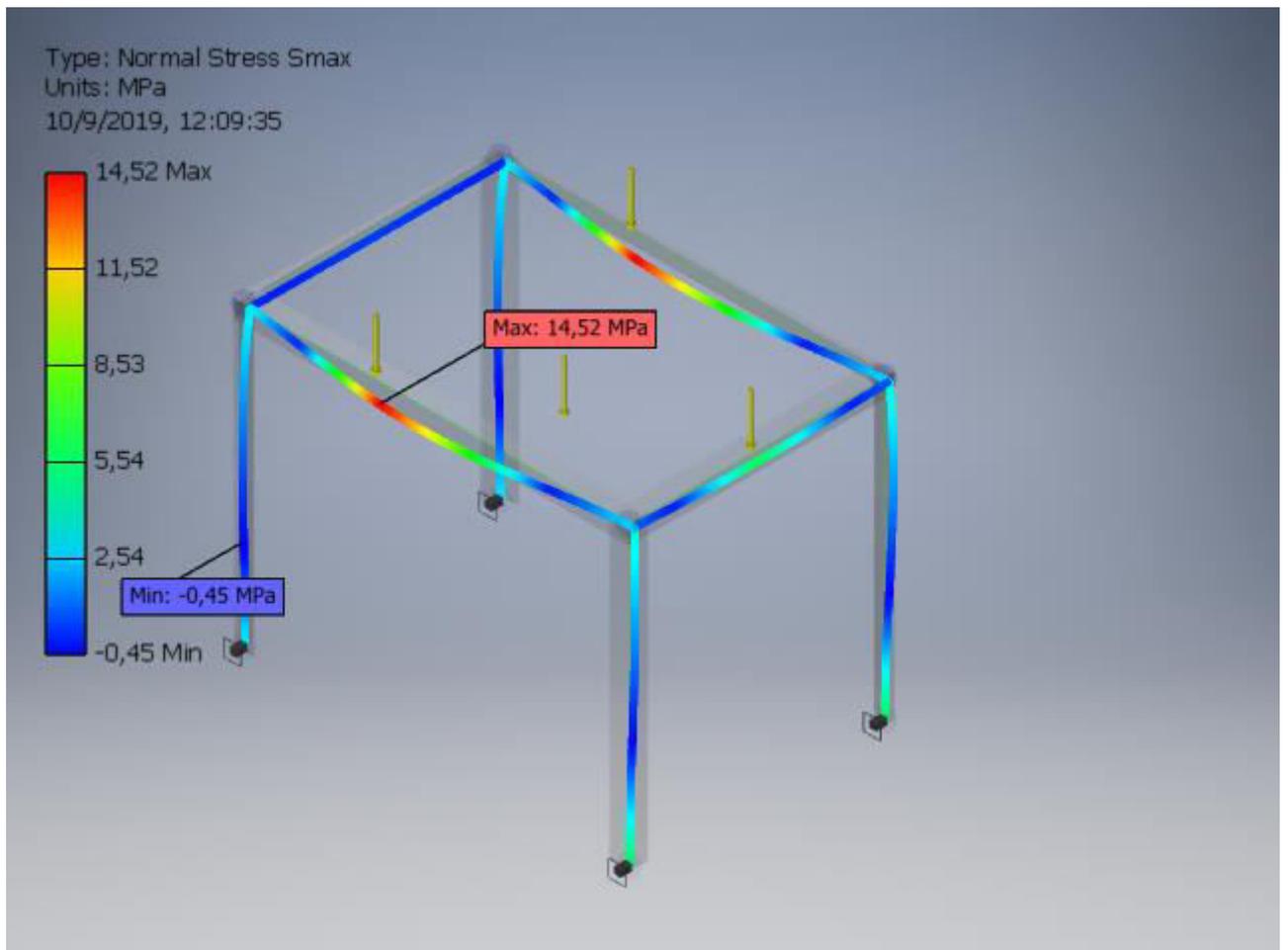
My



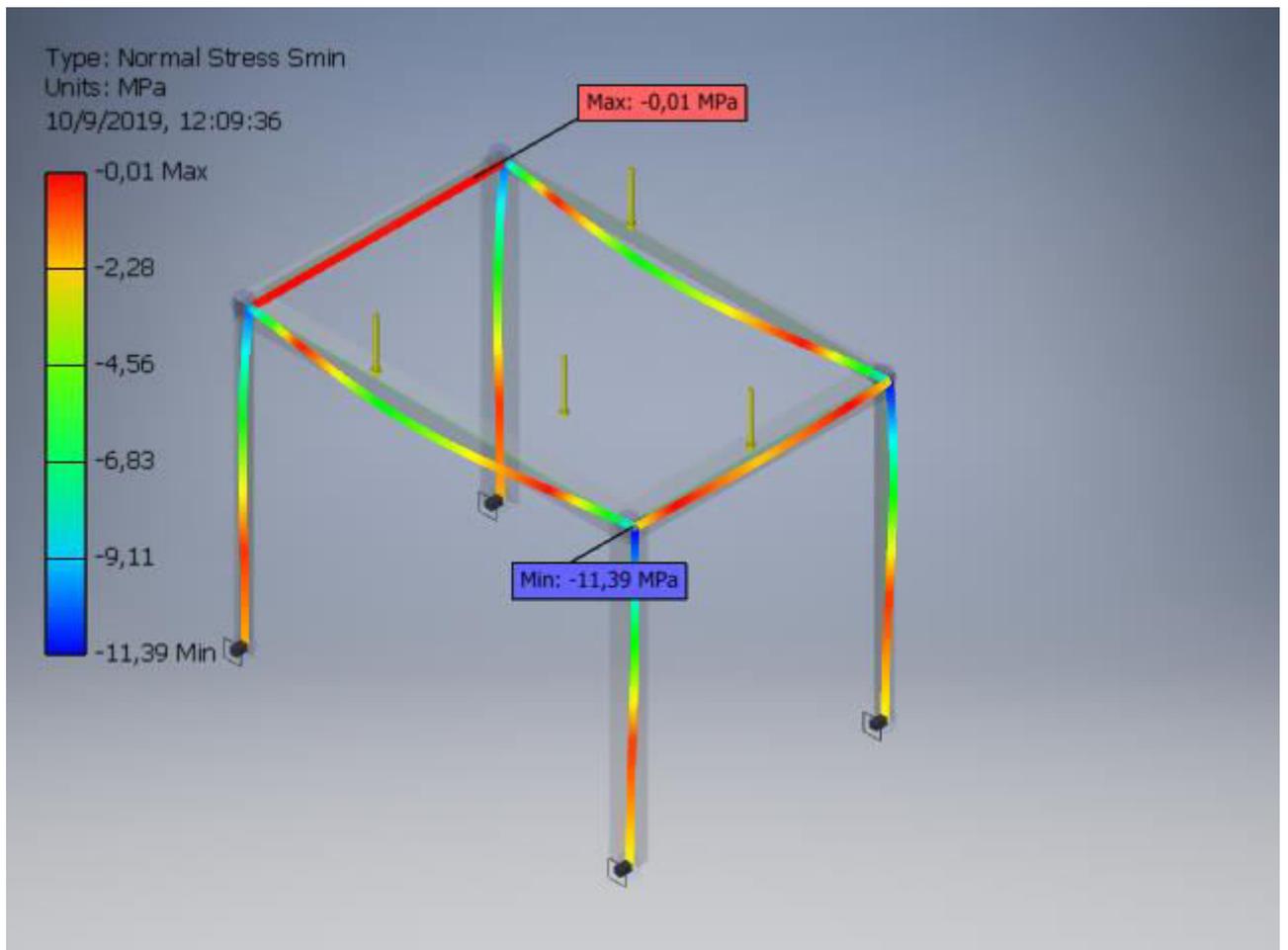
Mz



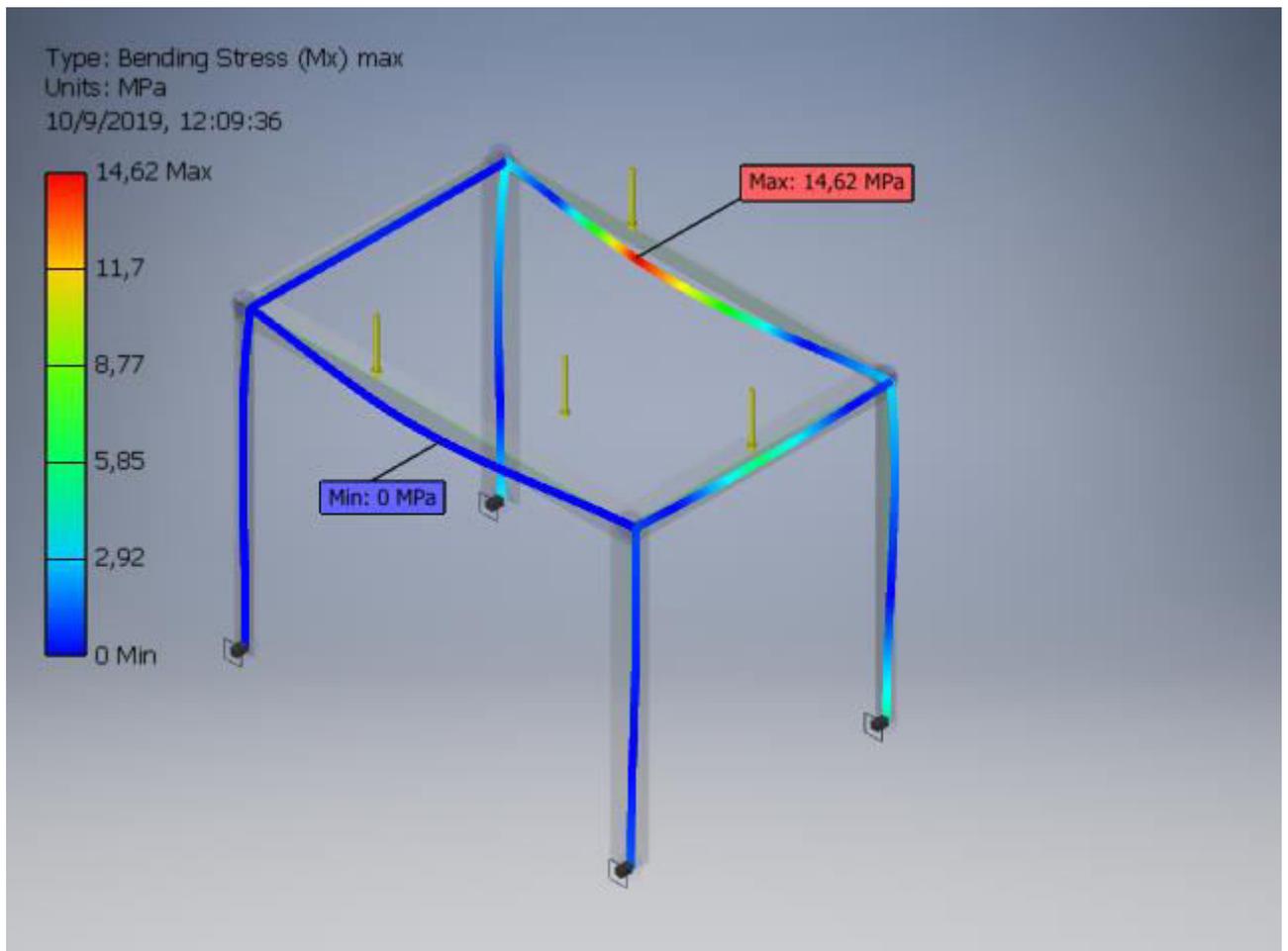
Smax



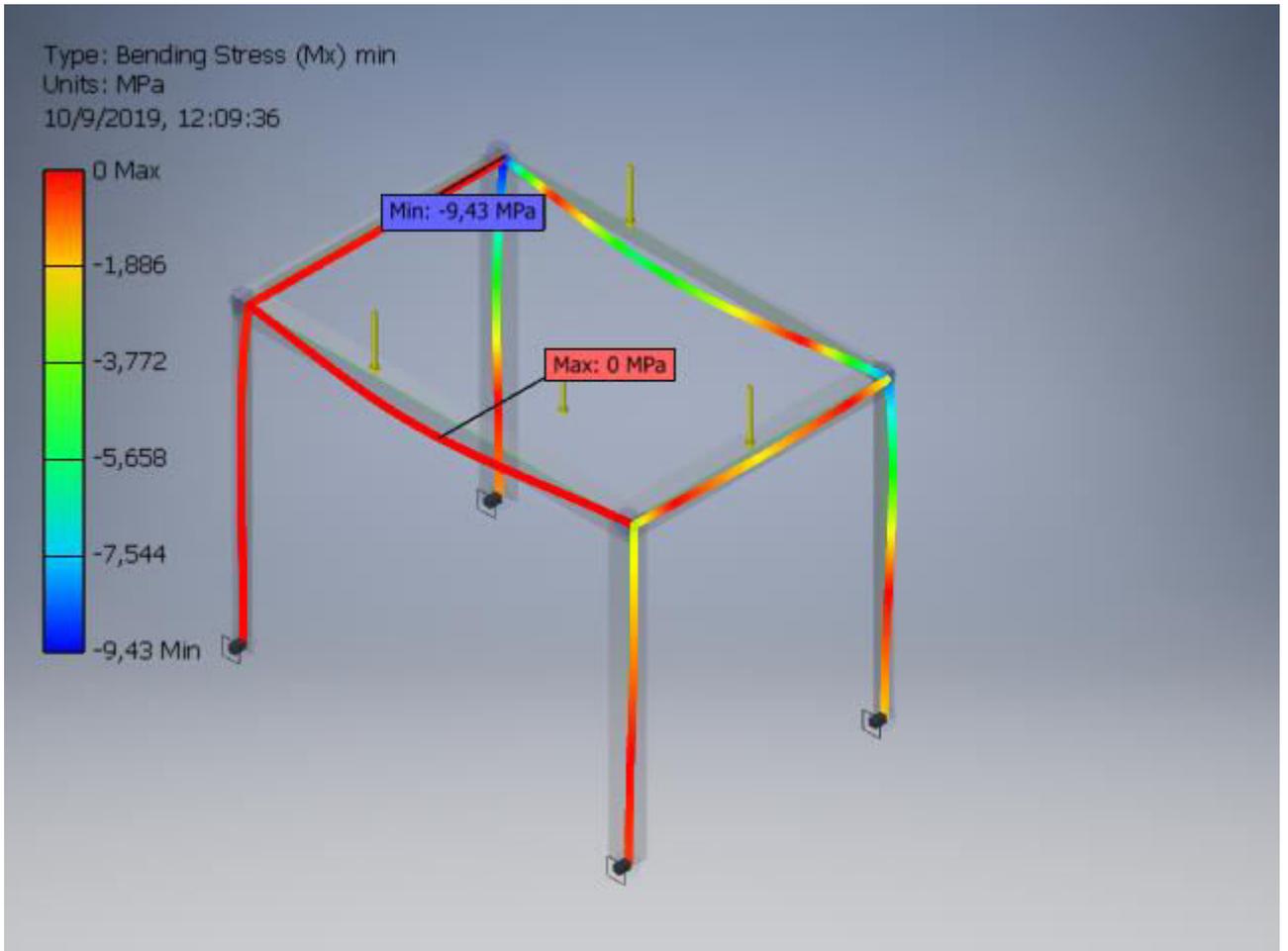
Smin



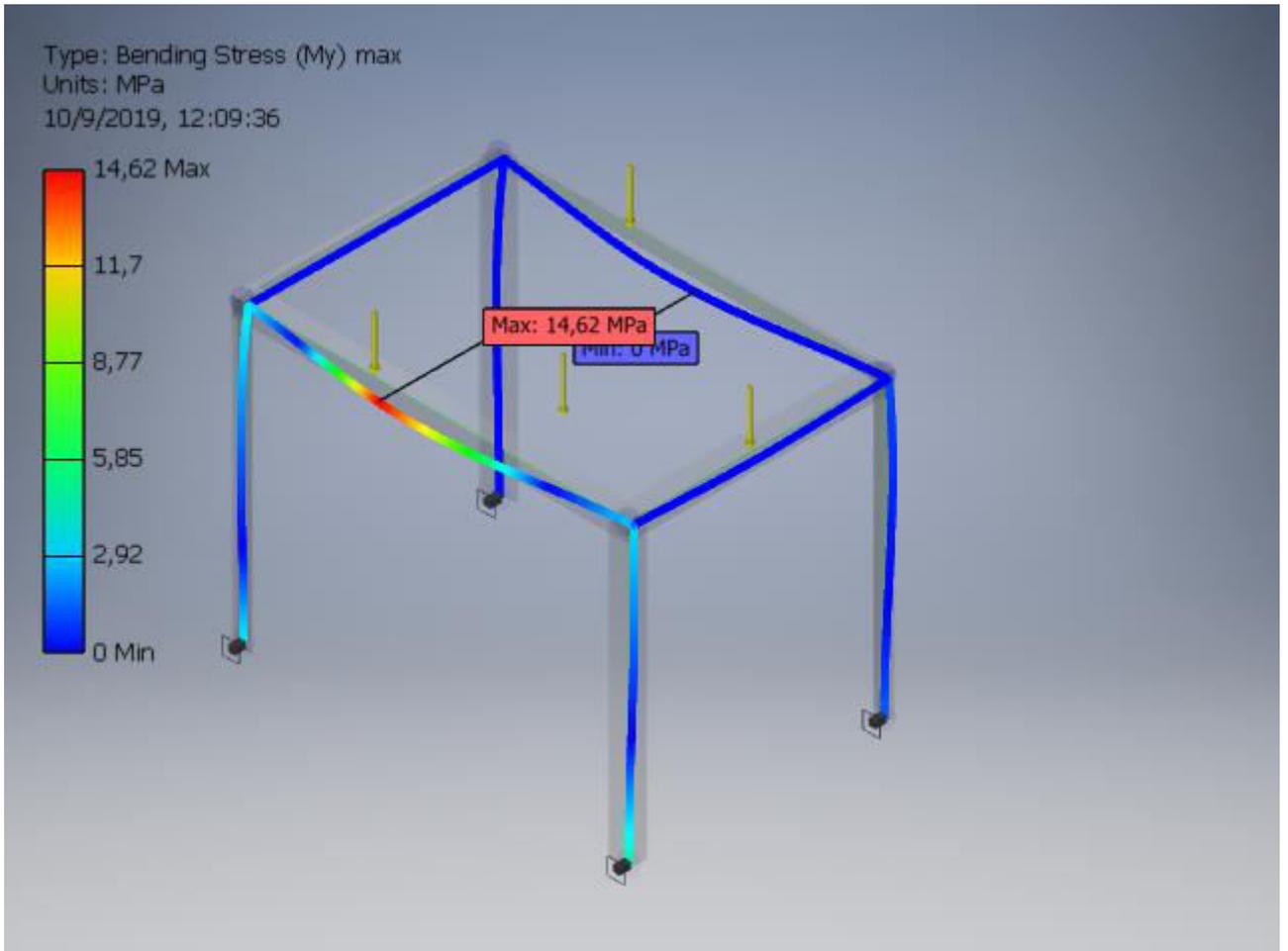
Smax(Mx)



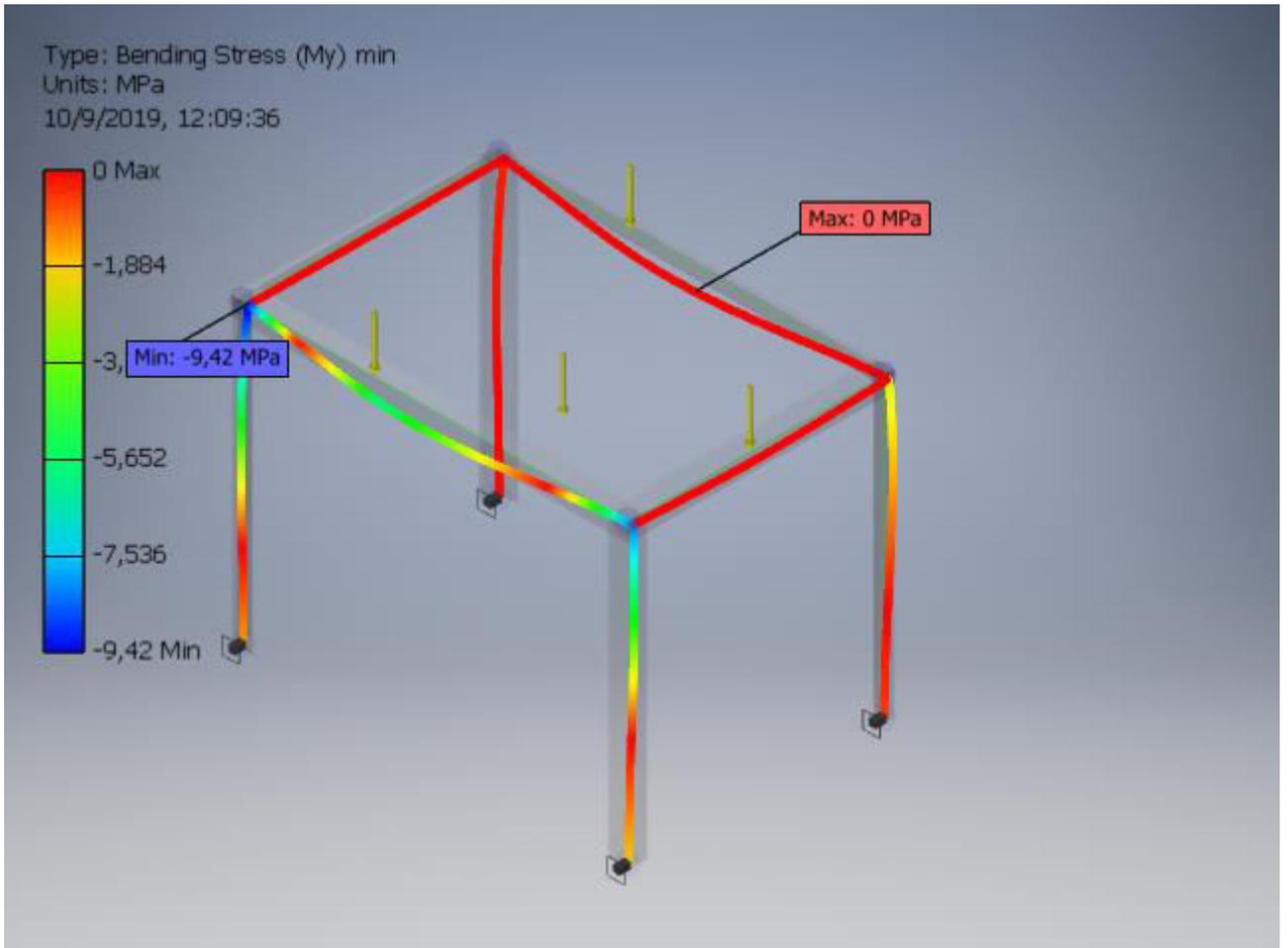
Smin(Mx)



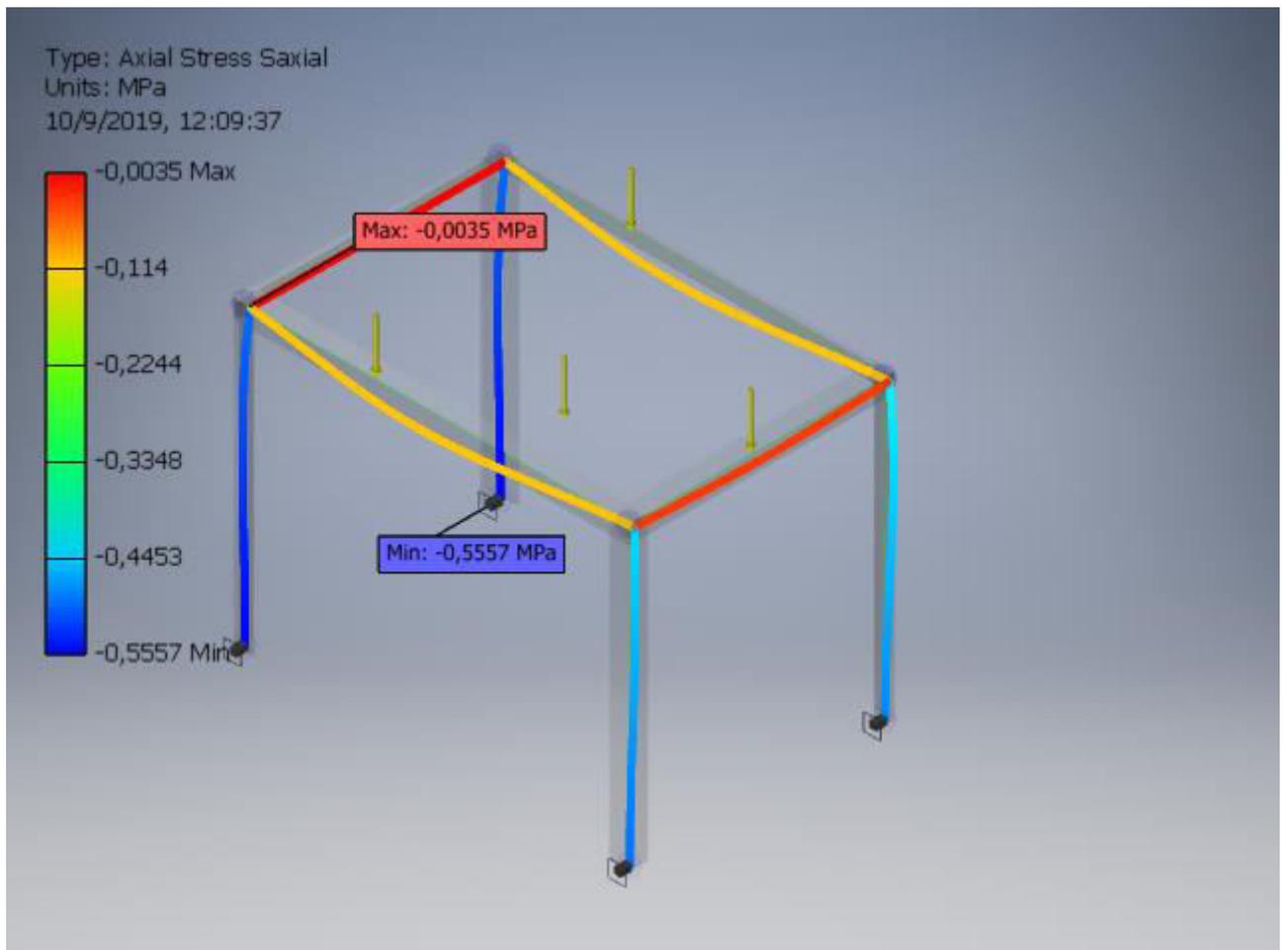
Smax(My)



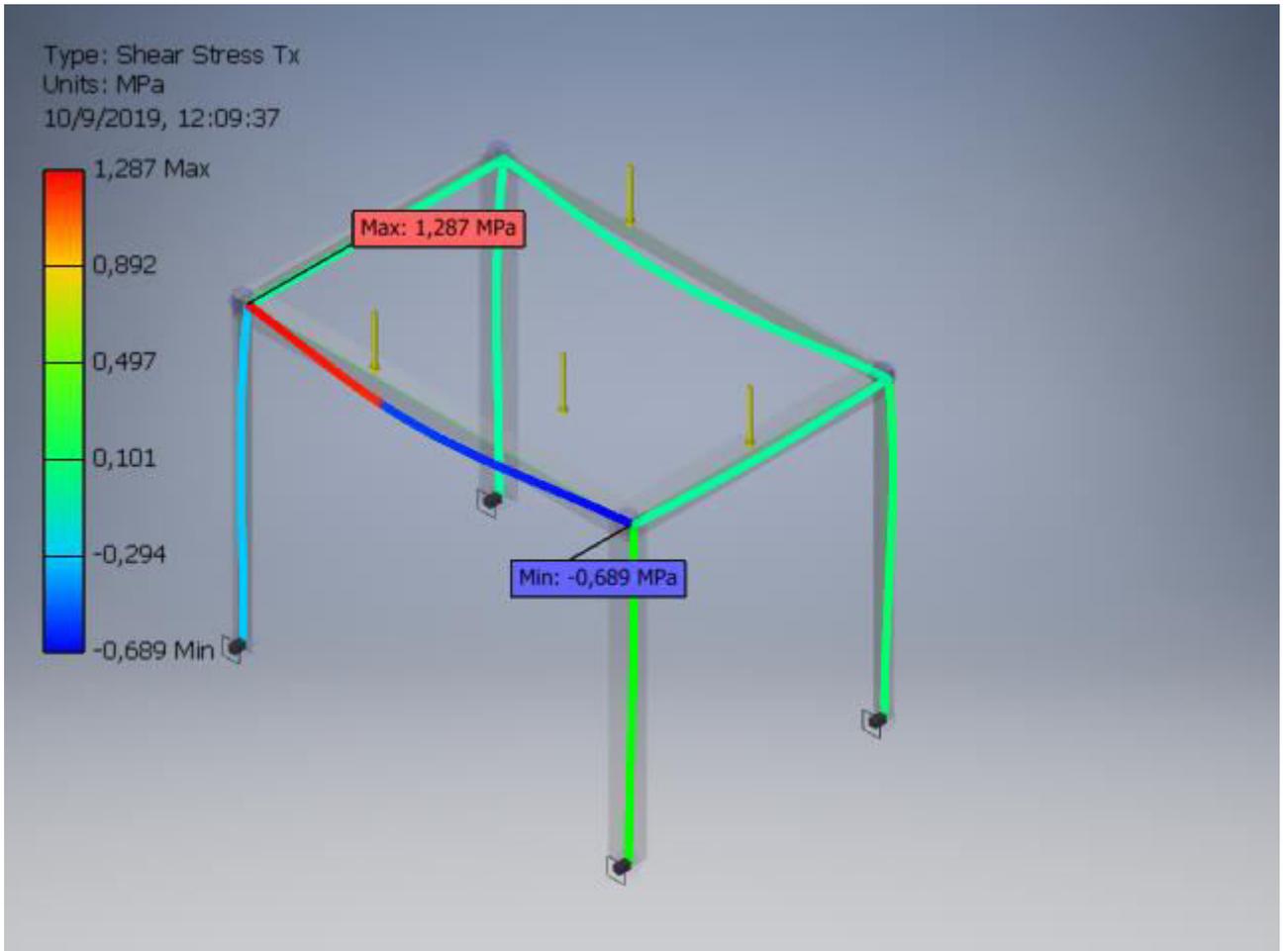
Smin(My)



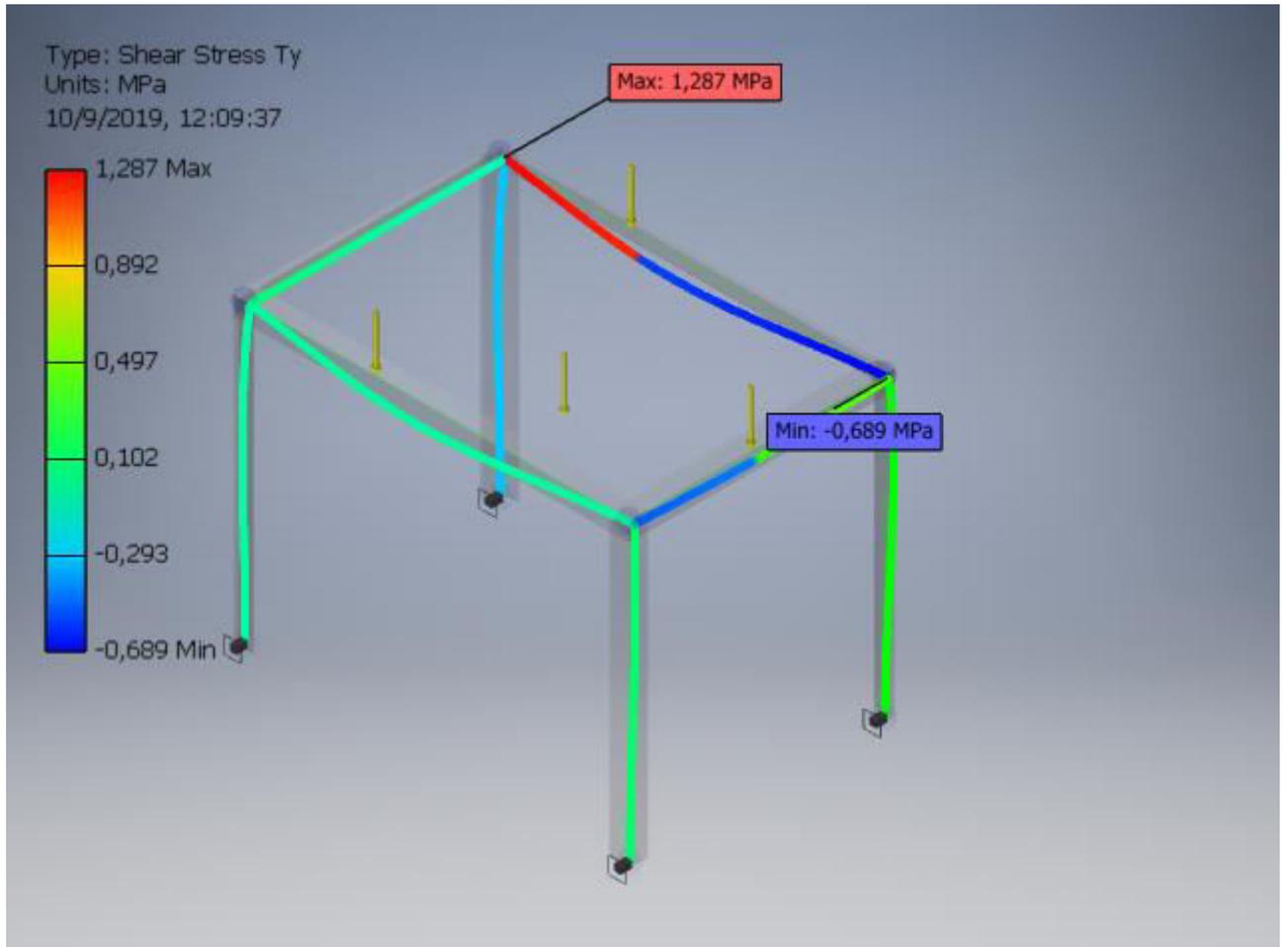
Saxial



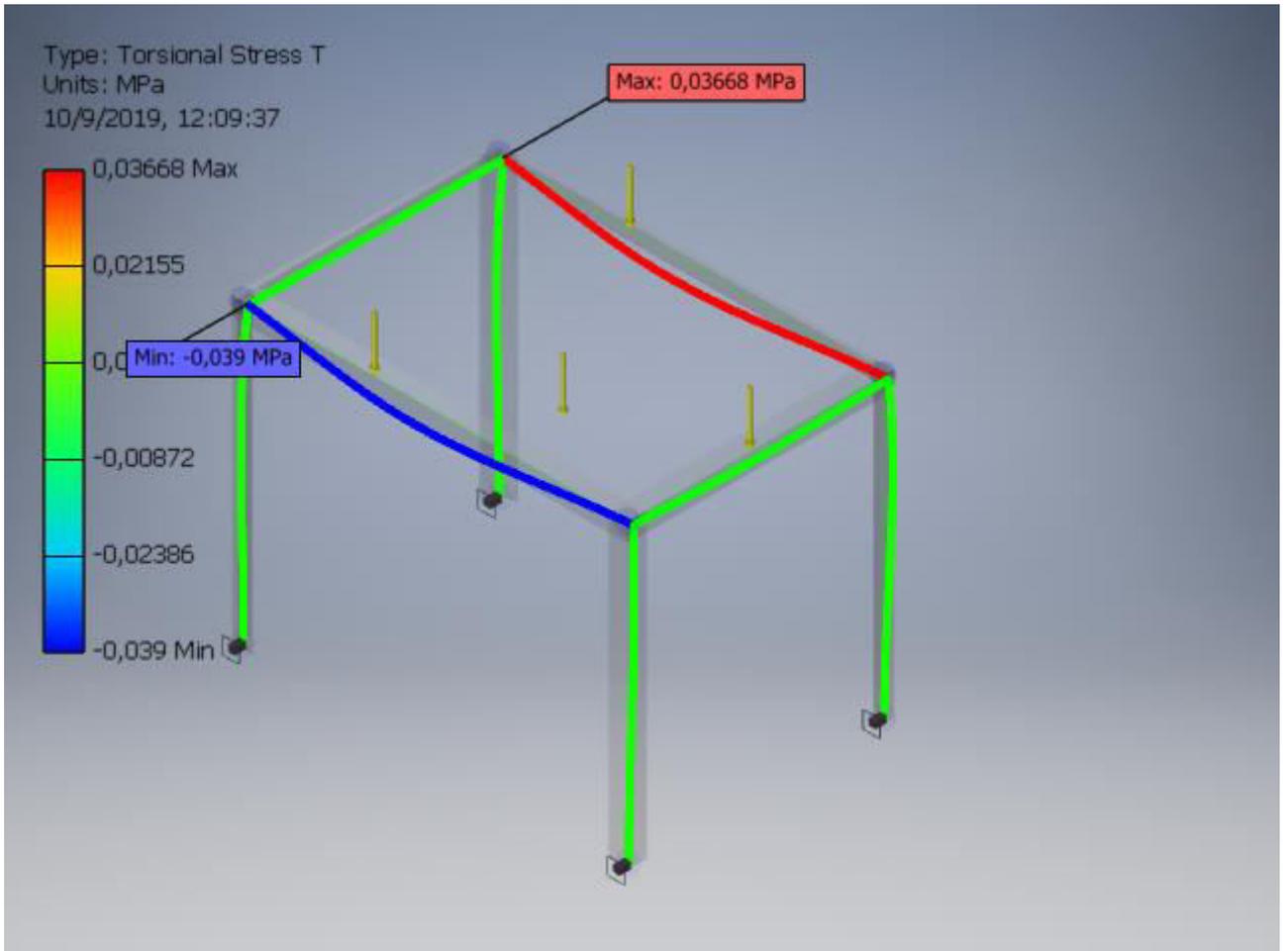
Tx



Ty



T



Bibliografía

- Arntz OPTIBELT Group. (2016, Junio). Technical Manual Polyurethane Timing Belts. Germany.
- Autodesk Inc. (2019). *Manual del Ingeniero*. Retrieved from <https://help.autodesk.com/view/INVNTOR/2019/ESP/?guid=GUID-C2452393-D245-49DA-AFBC-9E67830ECEE>
- Banerjee, B. (2015). *Tyre Retreading*. Shawbury: Smithers Rapra Technology Ltd.
- Baucor, Inc. (n.d.). CATALOG. United States.
- Bridgestone Bandag, LLC. (2019, January). Tread Product Guide. United States.
- Crovo, D. (2017). *Argentina Patente nº AR061878B1*.
- Crovo, D., Verniz, D., & Montoya, P. (2016). *ANALISIS DE DESGASTE EN CUCHILLAS PARA CORTE DE CAUCHO*. Mar del Plata.
- ESCACENA VENTURA, J. M. (s.f.). *CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ALUMINIO 7075-T651*. Obtenido de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4089/fichero/4.pdf>
- Fedosiev, V. I. (1988). *Resistencia de Materiales*. Moscú: Editorial Mir.
- Fernández, M. T., & Carvajal, F. M. (Abril de 2015). *Elaboración de fórmulas analíticas y tablas de cálculo para las estructuras metálicas de acero según la normativa Eurocódigo 3*. Obtenido de UPCommons: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/78018/PFC%20Anexo%201.pdf>
- Galbarro, H. R. (s.f.). *Resistencia Mecánica a Fatiga*. Obtenido de <https://ingemecanica.com>: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn217.html>
- Hyde Industrial Blade Solutions. (n.d.). Technical Bulletin. *Key Factors To Consider When Specifying a*. United States.
- Landers, S. P., Ratliff, B., Miller, C. D., & Clark, J. K. (2000). *Estados Unidos Patent No. 6450223*.
- LARSEN, J. M., HINGE, M., & HANSEN, C. B. (2016, Noviembre 17). Retrieved from <https://patentimages.storage.googleapis.com/7e/65/e4/4deda063a25600/WO2016180864A1.pdf>
- Oliver Rubber Company. (2015, Julio). Serra-Sipes. United States.
- Sipe, J. F. (1923). *Estado Unidos Patente nº 1452099*.
- SKF. (s.f.). *Bearing Housing*. Obtenido de <https://www.skf.com>: <https://www.skf.com/ar/products/bearings-units-housings/bearing-housings/index.html>
- TROGLIA, G. R., TROGLIA, D., & GODOY M., B. L. (Septiembre de 2015). *Tablas*. Obtenido de <https://www.inti.gob.ar>: <https://www.inti.gob.ar/cirsoc/pdf/publicom/tablas.pdf>
- Vanegas Useche, L. V. (2018). *Diseño de Elementos de Máquinas*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira.
- VIPAL. (Diciembre de 2017). LINHA DE REFORMA. Brasil.

DISEÑO Y CALCULO DE MAQUINA PARA RANURADO DE BANDAS

Walsh, R. A. (2001). *Handbook of Maching and Metalworking Calculations*. Upper Marlboro, United States: McGraw-Hill.

www.aero.ing.unlp.edu.ar. (s.f.). *DISEÑO EN CARGA VARIABLE* . Obtenido de

www.aero.ing.unlp.edu.ar:

<http://www.aero.ing.unlp.edu.ar/catedras/archivos/Apte%20Fatiga%20Rev%20-%202014.pdf>