

Metodología utilizada en el diseño y construcción de un torno para el mecanizado de caucho*

Methodology used in the design and construction of a lathe for machining rubber

Jesús Bethsaid Pedroza Rojas¹

Universidad Francisco de Paula Santander, Colombia

Andrés Mauricio Moreno Uribe²

Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil

RESUMEN

Este artículo presenta la metodología utilizada en el diseño de una máquina-herramienta para el mecanizado de caucho. Inicialmente se plantea un procedimiento para hallar el esfuerzo de corte del caucho y seguidamente se determina el adecuado esfuerzo de accionamiento (esfuerzo motor). Las anteriores características definen las dimensiones de los elementos constructivos del torno y ofrecen de manera directa los puntos de aplicación de las fuerzas y sus magnitudes en condiciones de servicio. Luego, se genera la geometría de la máquina, se discretiza y se simula bajo las cargas estimadas, haciendo uso de las herramientas SolidWorks® y ANSYS®, las cuales entregan resultados por medio de los trazados de esfuerzos, deformación y factor de seguridad. Por último, se presenta la construcción, pruebas iniciales y conclusiones del proyecto.

Palabras clave: Diseño mecánico, Simulación, Torno, Caucho, ANSYS, Elementos finitos.

ABSTRACT

This article presents the design of a machine-tool for machining of rubber. Initially poses a methodology for finding the rubber strain and then determines an appropriate tension driving (stress motor). The above features define the dimensions of the construction elements of lathe and directly offer the points of application of forces and their magnitudes in service. Then, is generated the machine geometry, it is discretized and it was simulated under the loads estimated by using the SolidWorks® and ANSYS® tools, which, given the charted of stress, deformation and safety factor. Finally, it presents the construction, initial tests and the conclusions of project.

Key words: Mechanical design, Simulation, Lathe, Rubber, ANSYS, Finite elements.

* Artículo derivado del proyecto de investigación titulado: *Diseño, construcción y puesta en marcha de un torno para mecanizar caucho. Universidad Francisco de Paula Santander.*

1. *Magíster en Práctica Pedagógica. Especialista en Sistemas de Información. Ingeniero Mecánico. Investigador Grupo de Investigación GIDIMA. Departamento de Diseño Mecánico, Materiales y Procesos. UFPS. Cúcuta, Colombia. jesusbethsaidpr@ufps.edu.co*

2. *Estudiante Maestría en Ingeniería Mecánica, Universidade Federal de Minas Gerais. Ingeniero Mecánico UFPS. Investigador GIDPI. Laboratório de Robótica, Soldagem e Simulação. UFMG. Brasil. andresmauriciomu@ufmg.br*

1. INTRODUCCIÓN

Cuando se elimina el proceso manual para el modelado de piezas se da inicio a las transformaciones automatizadas, en las cuales la energía que se les suministra a los procesos se convierte en movimiento que completa o reemplaza la actividad del hombre. Por tal motivo, el torno se ha convertido en una máquina básica en el proceso de mecanizado, empleada para tecnificar la industria con el fin de ofertar mayor calidad en el producto y una mayor uniformidad en la producción.

Actualmente muchas industrias emplean diversos procesos productivos y algunos son transformaciones para la producción de alimentos, derivados, productos de manufactura, entre otros. Existe un tipo de empresa que se encarga de los procesos de fabricación propiamente dichos, las cuales cuentan principalmente con una máquina-herramienta como el torno. Son empresas que aplican un conjunto de operaciones necesarias para modificar las características de las materias primas. En el caso de Cúcuta, muchas empresas de nuestra región adoptaron como materia prima las llantas en desuso de los automotores y las bandas de *conveyors* ya desgastadas, para así transformarlas en refracciones y piezas de gran utilidad en el ámbito de la mecánica de automóviles.

En este artículo se quiere mostrar principalmente el diseño de un torno para el mecanizado del caucho, el cual tiene como fin tecnificar y brindar mayores condiciones de calidad y seguridad tanto en el producto como en el proceso. Además, se construyó la máquina-herramienta de acuerdo a las especificaciones y necesidades del sector, cumpliendo con el requerimiento actual de producción, en donde cada uno de los elementos se calculó basado en un factor de seguridad, con el fin de garantizar la calidad del proceso y de la máquina.

2. METODOLOGÍA

Para poder definir un diseño y determinar las dimensiones de los elementos constructivos del torno, se partió de la interpretación de la palabra “mecanizado”, la cual, Rocha *et al.* [1] definen como un proceso de fabricación u operación que le confiere a la pieza forma, dimensiones y acabado. Este significado condiciona directamente a uno de los fenómenos que interviene en el proceso de conformado de materiales como es el esfuerzo de corte, que representa una determinada resistencia que requiere de fuerza para ser vencida y que a su vez se compone de tres esfuerzos principales, cada uno con magnitud y dirección definidas. En la Figura 1 Bartsch [2] representa las fuerzas de corte en el útil del torno como se denota a continuación: F_H = fuerza principal de corte, F_s = fuerza en el vástago, F_v = fuerza de avance.

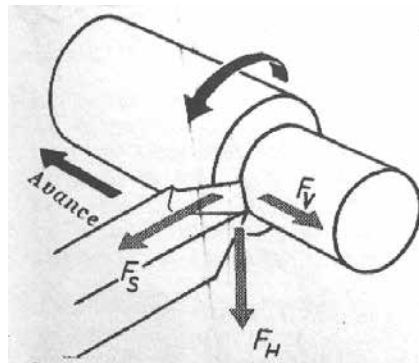


Figura 1. Fuerzas de corte en el útil del torno

Fuente: Tomada de [2]

Cabe anotar, que las fuerzas de avance y en el vástago son notablemente más pequeñas que la fuerza principal de corte, y además, tiene una importante influencia el uso de una herramienta adecuada, que tenga como principales virtudes una alta duración en corte sin embotamiento y la facilidad de obtener superficies lisas con medidas exactas.

Todo lo anterior, apunta hacia la determinación del esfuerzo de corte en el proceso del torneado del caucho, el cual se obtuvo aplicando la metodología expuesta en [2]; inicialmente, se determina la fuerza de corte por mm^2 , necesaria para el corte del caucho.

En consecuencia a lo expuesto anteriormente, se definió una probeta para ser mecanizada en torno, mediante el uso de un buril de acero rápido, y a ciertas condiciones de configuración del útil del torno se estableció la sección de la viruta.

Con este último dato y por medio del gráfico de la magnitud del esfuerzo de corte, se obtuvo como resultado la fuerza de corte, la cual, es el esfuerzo de mayor valor en el proceso de mecanizado y actúa verticalmente en el sistema [3].

Una vez determinada la fuerza de corte, se procede a calcular las otras fuerzas que actúan en este proceso, aplicando la metodología de SANDVIK [4]. Es un procedimiento práctico que permite hallar la fuerza de avance y la fuerza de reacción; esta última es la equivalente a la fuerza en el vástago propuesta por Bartsch.

El siguiente paso consistió en evaluar la potencia necesaria para el proceso de mecanizado del caucho. La potencia se determinó experimentalmente, utilizando un equipo analizador de la calidad de la energía eléctrica [5], mediante el cual se mide la potencia activa requerida en el trabajo de corte cuando la herramienta de corte penetra y desbasta el caucho: Además, el equipo registra el factor de potencia.

Este resultado, multiplicado por un factor de corrección de la potencia eléctrica, característico de este tipo de motores, entregó la potencia mecánica neta para realizar el trabajo de maquinado. Seguidamente, se calculó la potencia necesaria para vencer la inercia de los componentes giratorios del torno. Finalmente, se seleccionó el motor eléctrico, con la potencia total, que corresponde a la suma de la potencia de mecanizado y de la potencia para vencer la inercia.

Finalmente, con la potencia total y la fuerza de corte, se diseñó el sistema de transmisión y se seleccionaron los elementos del torno. La evaluación de la estructura y de la bancada se hizo aplicando el Método de Elementos Finitos (MEF). Por último, y con base en las especificaciones dimensionales y de materiales se procedió a la construcción del torno y puesta en funcionamiento.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Estimación de los esfuerzos de corte

La experiencia de determinación de la fuerza de corte específica en goma dura se llevó a cabo en el Taller de máquinas y herramientas de la UFPS, dando uso a un torno paralelo marca Winston de fabricación china con una capacidad de 0,85 m entre puntas. Inicialmente, se definió una geometría para las probetas de caucho, que consistió en cilindros de longitud 80 mm y un diámetro de 90 mm, perforados en su centro, por una broca de 1/2 pulgada con el fin de instalar un eje roscado para así realizar el montaje al torno entre el mandril y el cabezal móvil como se puede ver en la Figura 2.



Figura 2. Montaje en el torno

Fuente: Elaboración de los autores

Además, se implementa un buril universal fabricado en acero rápido (HSS), el cual es generalmente usado para cilindrado y refrentado de metales. Se efectúa la configuración en el carro portaherramientas como describe la metodología de Bartsch, en donde la magnitud de la fuerza específica de corte en función del material y de la sección de la viruta, se halla para ángulos de corte $\kappa = 45^\circ$, $\gamma = 12^\circ$.

El primero es el ángulo de posición [6], el cual es formado por el corte principal con la superficie de

trabajo como se muestra en la Figura 3. El segundo es el ángulo de inclinación (Figura 4) que fija la posición de corte principal con respecto a la horizontal.

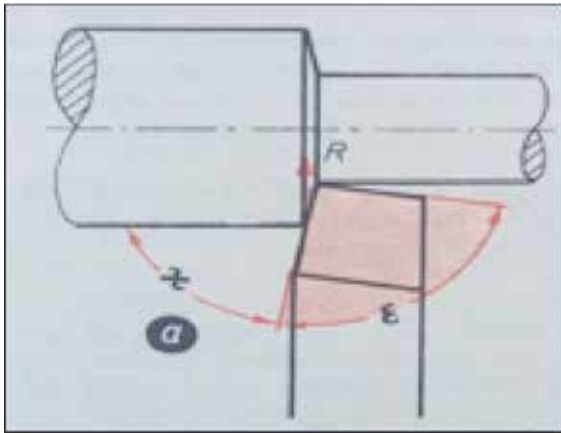


Figura 3. Ángulo de posición

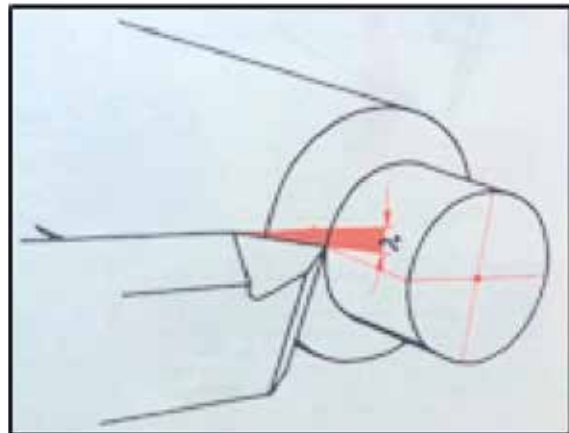


Figura 4. Ángulo de inclinación

Fuente: Tomadas de [4]

Es importante destacar, que la sección transversal de la viruta (A) que es el valor necesario para estimar la fuerza específica de corte, se da como resultado de la iteración entre el avance (S) con la profundidad de corte (a) y se representa tanto en la ecuación 1 como en la Figura 5:

$$A = S * a$$

(Ecuación 1)

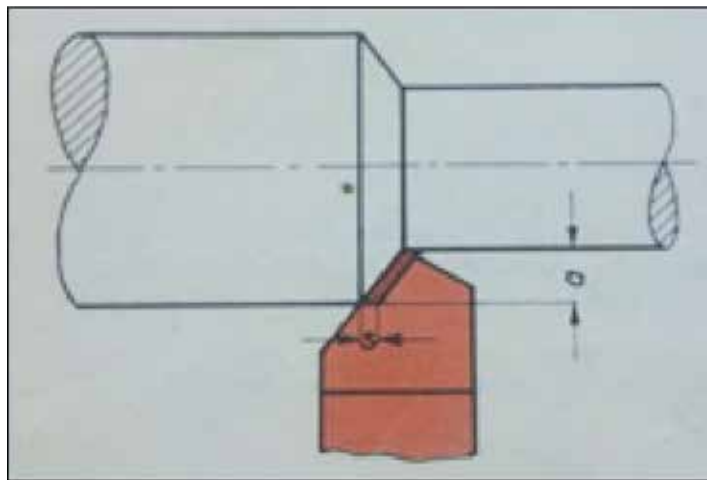


Figura 5. Sección transversal de la viruta

Fuente: Tomada de [3]

La prueba experimental arroja como resultado viruta de distinto tamaño y forma como lo evidencian las Figuras 6 y 7; así mismo, los datos de esta caracterización se presentan en las Tablas 1 a 3.



Figura 6. Viruta resultante mecanizado probeta No. 1

Figura 7. Viruta resultante mecanizado probeta No. 2

Fuente: Elaboración de los autores

Tabla 1. Valores obtenidos para la prueba de mecanizado en probeta 1

n = 2000 RPM			
Viruta	s (avance en mm)	a (profundidad de corte en mm)	A (sección de la viruta en mm ²)
1	5,22	2,78	14,51
2	4,38	3,56	15,59
3	4,63	3,52	16,29
4	5,33	3,3	17,58
5	5,87	2,41	14,14

Fuente: Elaboración de los autores

Tabla 2. Valores obtenidos para la prueba de mecanizado en probeta 2

n = 2000 RPM			
Viruta	s (avance en mm)	a (profundidad de corte en mm)	A (sección de la viruta en mm ²)
1	4,17	3,46	14,42
2	4,52	2,71	12,24
3	4,56	3,2	14,52
4	3,95	3,19	12,60
5	4,56	3,38	15,41

Fuente: Elaboración de los autores

Tabla 3. Valores obtenidos para la prueba de mecanizado en probeta 3

n = 2000 RPM			
Viruta	s (avance en mm)	a (profundidad de corte en mm)	A (sección de la viruta en mm ²)
1	6,05	3,81	23,05
2	7,56	2,7	20,41
3	7,1	2,87	20,37
4	5,53	4,42	24,44
5	7,3	2,97	21,68

Fuente: Elaboración de los autores

Bartsch [2], clasifica la viruta de las Figuras 6 y 7 como trozos cortos de cinta y bastoncitos respectivamente y hace especial hincapié en que para el caso de secciones de virutas grandes, el valor de la fuerza específica de corte se hace más pequeño.

Con los resultados obtenidos se llegó a la conclusión de que las medias aritméticas de los conjuntos de datos para las Tablas 1 y 2, se mantienen en el rango de 10 a 15 mm². Por el contrario, la sección de la viruta de la Tabla 3 sobrepasa el rango expuesto en esta metodología. Como se aclaró en el párrafo anterior, la fuerza específica necesaria para el corte es menor para secciones grandes, y es por esto que se escoge la mayor sección transversal (A), la cual permitió relacionar en la Figura 8 este dato con el esfuerzo específico de corte (K_s).

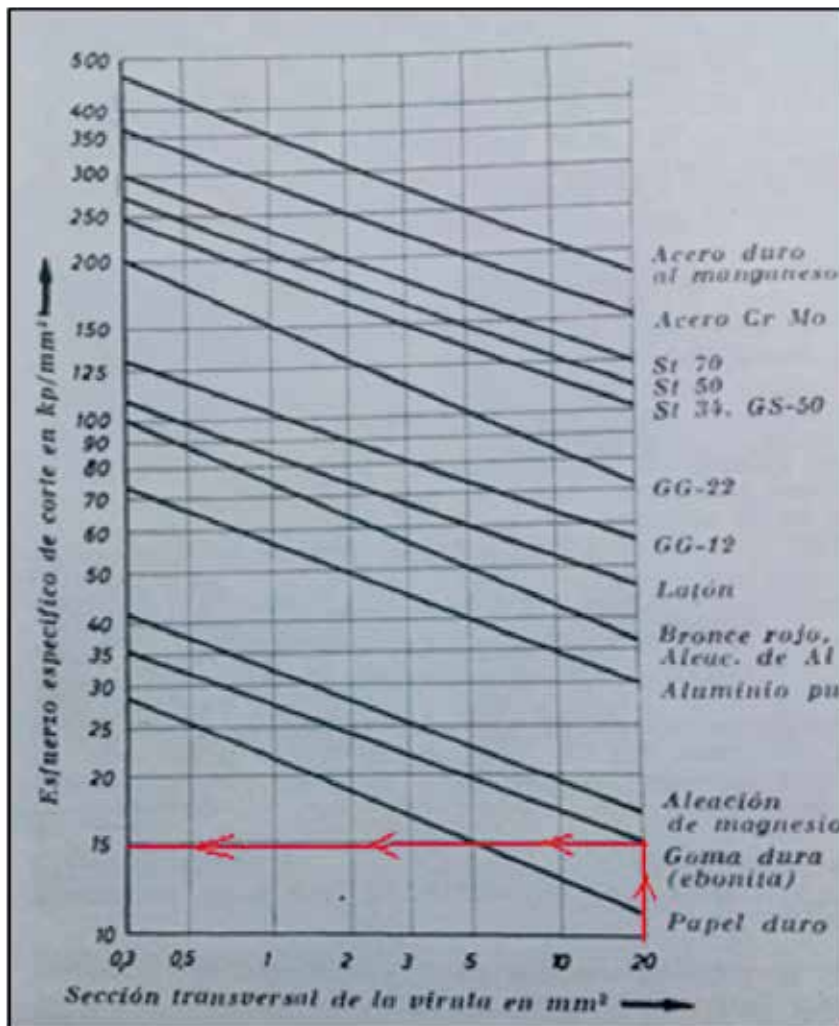


Figura 8. Magnitud de la fuerza específica de corte en función del material y de la sección de la viruta

Fuente: Tomada de [2]

De esta manera, aplicando la ecuación 1, se obtiene una fuerza de corte de 2943 N¹. Para conocer el valor de las fuerzas faltantes en el proceso de mecanizado, se aplicó el criterio de SANDVIK (EC. 2), el cual recomienda para procesos de torneado general; la fuerza de avance (F_a) es la mitad del valor de la fuerza de corte (F_t), y la fuerza sobre el vástago (F_R) representa solo una cuarta parte de la fuerza de corte, como se indica en la expresión 2.

$$F_t : F_a : F_R \rightarrow 4 : 2 : 1$$

(Ecuación 2)

Por lo tanto, la fuerza de avance, la cual se opone al avance de la herramienta, tiene un valor de 1475 N y la fuerza de reacción tiene una magnitud de 737,5 N. En la Figura 9 se presentan los movimientos de trabajo de la cuchilla.

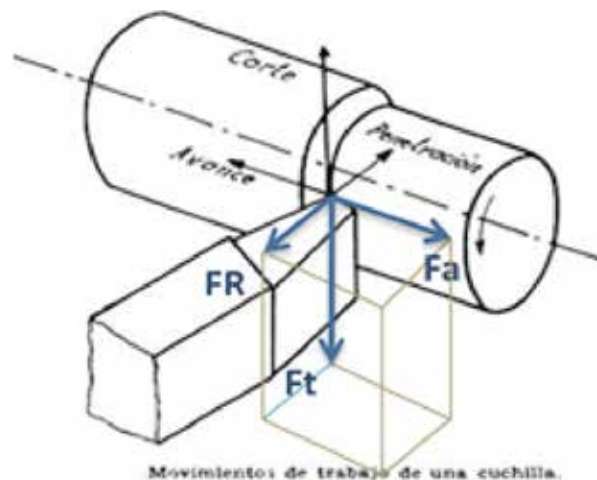


Figura 9. Movimientos de trabajo de una cuchilla

Fuente: Elaboración de los autores

3.2. Determinación de la potencia

3.2.1. Potencia mecánica neta para el proceso de mecanizado de caucho

Mediante la realización de un procedimiento experimental en el torno, se midió la potencia activa, que se define como la porción de potencia que realiza el trabajo, es decir, que es transformada en energía. En un primer instante se realizó el montaje de una probeta (con características idénticas a las usadas en la metodología de estimación de esfuerzos de corte) al torno (ver Figura 10) y modificando una lima para metales, se conforma una cuchilla de corte para penetrar el caucho (Figura 11), ya que el proceso actual de maquinado de la goma se hace por corte y no por arranque de viruta, y la práctica demostró que este tipo de útil entrega un mejor acabado de la pieza.

* 1 Kilopondio o kilogramo-fuerza es equivalente a 9,81 N.



Figura 10. Práctica de corte de goma dura para medir la potencia activa



Figura 11. Cuchilla de torno

Fuente: Elaboración de los autores

Se establece un régimen de giro del husillo del orden de las 2000 RPM y seguidamente se procede a penetrar el material de manera perpendicular al carro transversal del torno. En ese momento y mediante el uso del equipo FLUKE 43 se mide la potencia activa, que registra el trabajo de mecanizado monitoreando una de las fases del motor del torno (ver Figura 12). La pantalla digital del equipo analizador de calidad de la energía eléctrica, entrega la potencia activa con un valor de 0,30 KW, un voltaje de 212,8, un factor de potencia de 0,39 y un consumo de 3,39 A, y de las formas de onda de tensión y corriente (Figuras 13 y 14).



Figura 12. Monitoreo con el FLUKE 43 de potencia



Figura 13. Potencia y factor

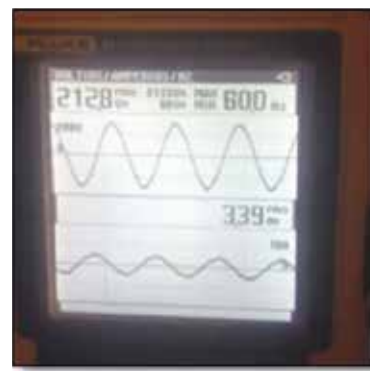


Figura 14. Voltios/ amperios/Hz

Fuente: Elaboración de los autores

La potencia eléctrica requerida por el motor trifásico de inducción del torno en el mecanizado de goma dura con cuchilla es de 0,3 KW, aproximadamente unos 0,4 Hp. Para la determinación de la potencia mecánica, se debió multiplicar el anterior valor por un factor de corrección de pérdidas y eficiencia [7] que está determinado para los motores eléctricos de jaula de ardilla. En la Figura 15, se presentan los factores de corrección y se relacionan con las potencias eléctricas de motores trifásicos de inducción.

Para este caso en particular, la potencia del torno marca Winston es de 1,5 KW (unos 2 Hp), como se aprecia en la Figura 16.

HP	Eficiencia Estándar	Alta Eficiencia				Nema Premium	
		NEMA	NOM	FIDE	SIEMENS	NEMA Premium	SIEMENS
1	74.0	75.5	75.5	75.5	80.0	77.0	82.0
1.5	77.0	82.5	82.5	82.5	82.5	84.0	85.5
2	80.0	84.0	84.0	84.0	84.0	85.5	86.5
3	81.5	85.5	85.5	85.5	85.5	86.5	86.5
5	82.5	87.5	87.5	87.5	87.5	88.5	88.5
7.5	84.0	88.5	88.5	88.5	88.5	89.5	89.5
10	85.5	89.5	89.5	89.5	89.5	90.2	90.2
15	85.5	90.2	90.2	90.2	90.2	91.0	91.0
20	86.5	90.2	90.2	90.2	90.2	91.0	91.0
25	86.5	91.0	91.0	91.0	91.7	91.7	91.7
30	87.5	91.0	91.0	91.0	91.7	91.7	91.7
40	88.5	91.7	91.7	91.7	93.6	92.4	93.6
50	88.5	92.4	92.4	92.4	93.6	93.0	93.6
60	89.5	93.0	93.0	93.0	93.6	93.6	93.6
75	89.5	93.0	93.0	93.0	94.1	93.6	94.1
100	90.2	93.6	93.6	93.6	94.1	94.1	94.1
125	91.0	94.5	94.5	94.5	94.5	95.0	95.0
150	91.0	94.5	94.5	94.5	95.0	95.0	95.0
200	91.7	95.0	95.0	95.0	95.0	95.4	95.4

Figura 15. Eficiencia estándar para motores trifásicos de inducción

Fuente: Tomada de [7]. Recuperado de: <http://www.electricidadgeneral.com/descargas/Motores/Motores%20Siemens/Motores%20Informacion%20General.pdf>

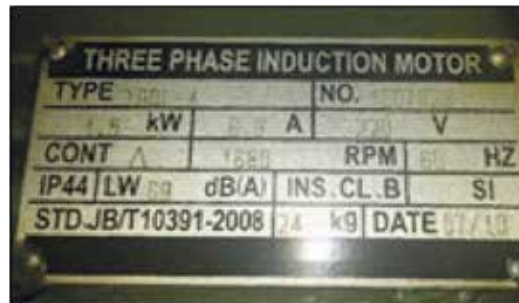


Figura 16. Placa de datos motor trifásico marca Winston de la UFPS

Fuente: Elaboración de los autores

Por medio de la ecuación 3, se calcula la potencia mecánica que tiene un valor de 0,32 Hp y es el resultado de la iteración entre la potencia activa y una eficiencia estándar (eff) del 80 %.

$$Potencia\ mecánica = Potencia\ activa * eff$$

(Ecuación 3)

$$Potencia\ mecánica = 0.32\ Hp$$

3.2.2. Potencia inercial

Para vencer la inercia y realizar el cálculo de la “potencia inercial”, se hizo necesario en primera medida, conocer el momento aplicado a los cuerpos, el cual se da como el producto entre el momento de inercia del cuerpo con respecto al eje de rotación y su aceleración angular. De ahora en adelante se definirá como torque inercial, y se representará como dicta la ecuación 4, en donde τ es el torque inercial

(N.m), I es el momento de inercia de masa del cuerpo con respecto al eje de rotación (Kg.m^2) y α es la aceleración angular (rad/s^2). Esta última se define en la ecuación 5 y es el cambio que experimenta la velocidad angular por unidad de tiempo (dw/dt), donde w es la velocidad angular (rad/s) y t el tiempo (s).

$$\tau = I * \alpha \quad (\text{Ecuación 4})$$

$$\alpha = \frac{w}{t} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Mediante pruebas se determinó que para el corte de caucho se logran mejores condiciones de acabado para altas velocidades (en el orden de las 1800 RPM). Además, se considera la recomendación para el tiempo de aceleración de motores eléctricos [8]: entre 1 y 5 segundos. De lo anterior se obtuvo una velocidad angular de $w = 188,5 \text{ rad/s}$ y una aceleración angular de $\alpha = 69,8 \text{ rad/s}^2$. Calculando los momentos de inercia de elementos del torno como mandril, poleas y eje, los cuales responden a una geometría y esta a su vez es consecuente con las propiedades de los sólidos [9], se determinaron las inercias como se ve en la Tabla 4.

Tabla 4. Momentos de inercia de los elementos

Elemento	$I_x (\text{Kg. m}^2)$
Mandril disco 1	$4,5 \times 10^{-3}$
Mandril disco 2	$5,17 \times 10^{-4}$
Eje	$8,12 \times 10^{-4}$
Polea	2×10^{-3}

Fuente: Elaboración de los autores

Paso seguido se halla la potencia inercial de todo el conjunto mediante la evaluación de la ecuación 6, en donde la variable n son las revoluciones por minutos y k es un factor de conversión. Esta potencia se adicionó a la potencia mecánica neta resultado del proceso de mecanizado de caucho y se obtuvo la potencia nominal del motor, la cual sirve para la selección de este equipo eléctrico. La potencia total es de 0,5 Hp.

$$H = \frac{T * n}{k} \quad (\text{Ecuación 6})$$

3.3. Factor de seguridad: metodología de Pugsley

Con el fin de garantizar un excelente desempeño de los elementos del torno para mecanizar caucho (eje, estructura, etc.), se determinó un factor de seguridad (n_s) para, de este modo, compensar cualquier tipo de incertidumbre que se pueda presentar en las cargas. Se dio aplicación a la metodología de Pugsley [10], donde por medio de valores que se proporcionan a las características como calidad

de los materiales, control sobre la carga aplicada, la exactitud de análisis de esfuerzo, peligro para el personal e impacto económico se obtiene una calificación de $ns = 1,92$. Esta calificación sirve a modo de comparativo con los factores de seguridad propios de cada elemento mecánico.

3.4. Diseño y selección de los elementos del torno

Con el cálculo de la potencia entregada por el motor ya resuelto, se continúa con el diseño de transmisión de potencia por correas en V, utilizando un catálogo comercial de correas en V [11], se seleccionó una correa de sección tipo A y número 50, la cual se designa 1A50.

El eje, fabricado en acero AISI 1020 CD con un diámetro de 1,5 in y de 0,5 m de longitud, está diseñado a carga estática y fatiga. A carga estática se calculó un factor de seguridad $na = 6,95$ y a fatiga se calculó un factor de $nf = 2,22$, los cuales están por encima de la metodología de Pugsley.

En lo relacionado con el desplazamiento de la herramienta hacia la pieza insertada en el mandril, se selecciona un sistema de guías de movimiento lineal [12], las cuales proporcionan un funcionamiento suave gracias a su bajo índice de rozamiento (0,002 a 0,003) y optimizan el reparto de la carga. Para ese sistema se calculó una vida útil de 954 km y una fuerza de propulsión de 1 kg aproximadamente, lo que significa que se puede realizar el corte con solo mover la herramienta hacia la pieza en el mandril.

3.5. Análisis estructural para placa-bancada

La función de esta placa es servir como apoyo de la herramienta de corte y soportar las cargas derivadas del proceso de mecanizado. Está fabricada en acero AISI 1020, y tiene condiciones especiales de rectificado en sus caras. Además, va unida por tornillos sobre los carros y guías longitudinales (ver Figuras 17 y 18).



Figura 17. Placa-bancada



Figura 18. Conjunto placa-bancada-guías lineales y longitudinales

Fuente: Elaboración de los autores

El fin del análisis fue evaluar la resistencia del elemento para de esta manera dar un factor de seguridad contra falla por carga estática estructural lineal. Se determina que la pieza sea lo bastante rígida para que una deformación excesiva (deflexión) no destruya el valor funcional de la geometría o llegue

a ocasionar fallas del material. De esta manera, se generó la geometría en el CAD SOLIDWORKS® 2015 para luego ser evaluada en el CAE ANSYS Workbench. A continuación, se presentan las consideraciones de la simulación: análisis estático - Static Structural (ANSYS), carga aplicada - 3050 N (fuerza de corte más peso de los elementos sobre la placa) y por material - Acero AISI 1020. Continuando con el análisis, se generó la malla y se aplicó un refinamiento de 0,003 m para tamaño de los elementos de discretización, como se ve en la Figura 19.

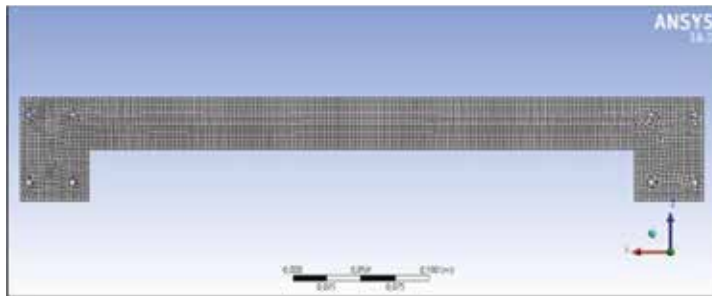


Figura 19. Mallado de la placa

Fuente: Elaboración de los autores

Se dieron *boundary conditions* de sujeción a los taladros de las guías lineales longitudinales. Seguidamente se aplicó la carga sobre la cara superior y se añadió la constante gravitacional. Los resultados se presentan en las Figuras 20, 21 y 22.

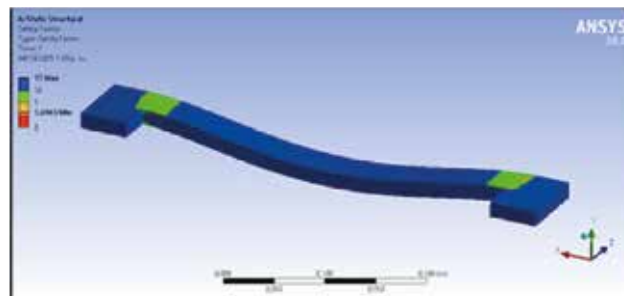


Figura 20. Factor de seguridad

Fuente: Elaboración de los autores

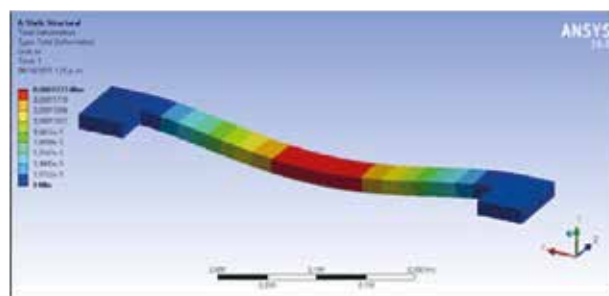


Figura 21. Deformación total de la placa

Fuente: Elaboración de los autores

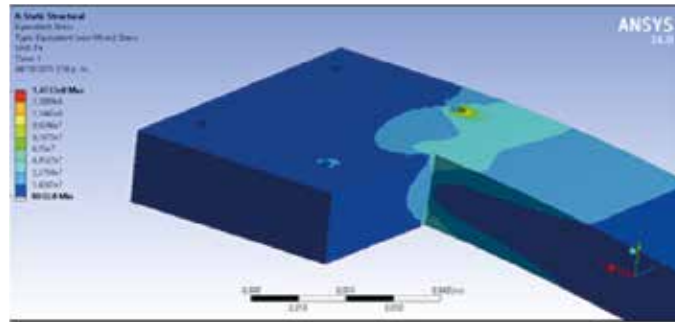


Figura 22. Tensiones de Von-Mises
Fuente: Elaboración de los autores

El CAE entrega un factor de seguridad de 1,7 en la zona de taladros y un valor máximo de 15 en la zona azul. También, la deformación máxima es de 0,001775 m y las tensiones de Von-Mises en el orden de 147 MPa.

3.6. Diseño de la estructura

Para este diseño se tuvo en cuenta lo siguiente: Una carga ubicada sobre las caras superiores de los perfiles en C, la cual representa la sumatoria de todos los elementos que soporta la estructura y adicionalmente la fuerza de corte. Además, los puntos de sujeción se ubican en la base de la estructura. El análisis de deformación, esfuerzos de Von-Mises y factor de seguridad, se hizo mediante el Software ANSYS Workbench. El diseño se realizó por medio de SOLIDWORK®, en donde se seleccionaron perfiles estructurales comerciales, como se muestra a continuación en la Tabla 5:

Tabla 5. Característica perfil cuadrado tipo estructural

PERFIL CUADRADO			
Características y Denominación			
Tamaño nominal		Espesor de pared	Peso kg/m
Pulgadas	Milímetros	mm	Kg/m
2 X 2	50 X 50	2	3,04

Fuente: Elaboración de los autores

La parte superior de la estructura se compone de perfiles en C (ver Figura 23), en los que se instalan los rieles de las guías lineales. Estos perfiles fueron elaborados en acero estructural ASTM A36. La estructura se acopla por medio de soldadura eléctrica (SAW), usando electrodo E6010, el cual cuenta con una gran penetración y fácil soldabilidad. A continuación, se presenta en la Figura 24 una vista isométrica de la estructura.

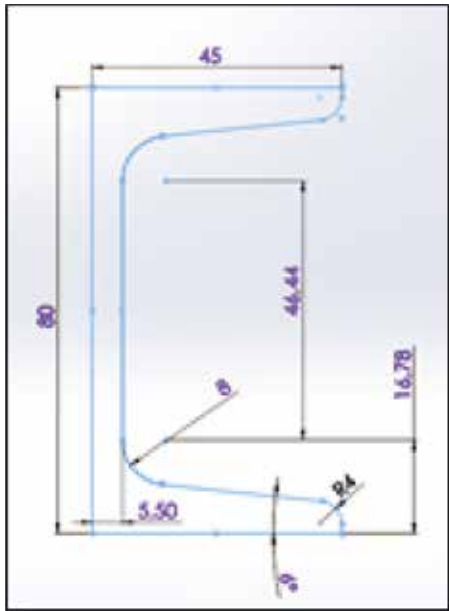


Figura 23. Geometría del perfil en C (medidas en mm)

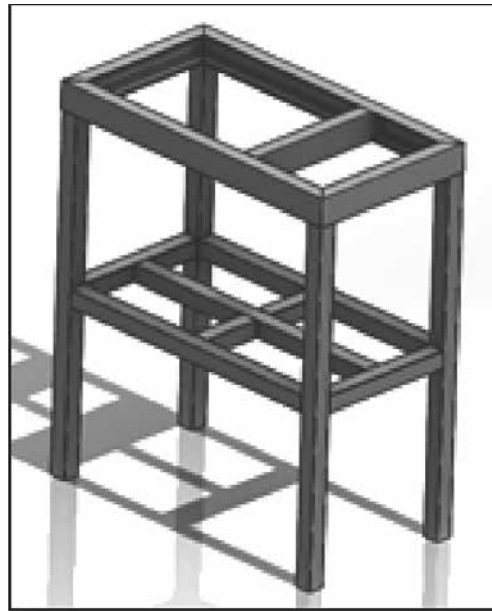


Figura 24. Estructura tornovista isométrica

Fuente: Elaboración de los autores

Enseguida, se le aplica un mallado por defecto entregado por el programa ANSYS Workbench, para luego, aplicar cargas y restricciones de grados de libertad; se evidencia en la Figura 25 que la deformación total en la estructura es de un máximo de 0,020 MPa. También, se infiere que los esfuerzos de Von-Mises están en el orden de 3,69 Mpa para el punto más alto y un valor mínimo de 0,00356 Mpa. En la Figura 27 se observa que las zonas de color rojo son las de mayor concentración de esfuerzos. El factor de seguridad arroja un valor de 15, lo cual se interpreta como un sobrediseño de la estructura.

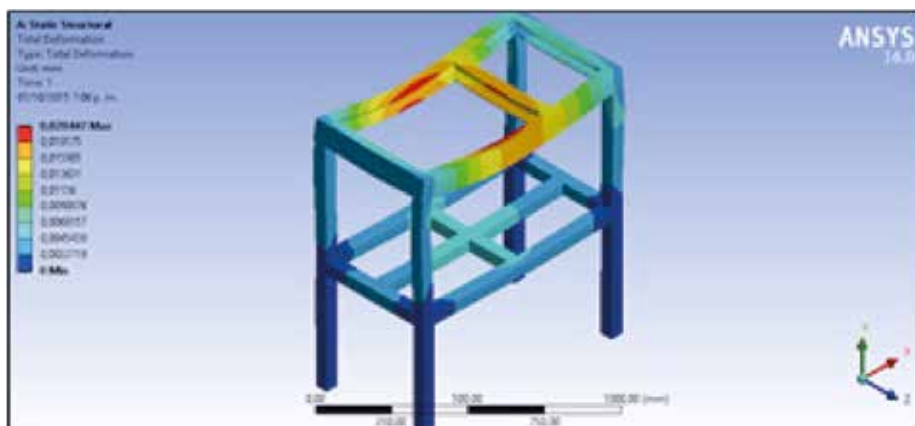


Figura 25. Deformación total de la estructura

Fuente: Elaboración de los autores

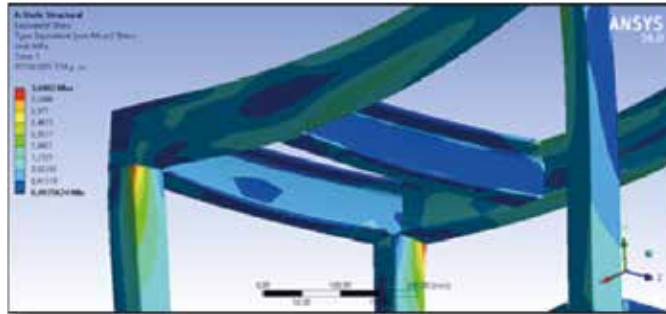


Figura 26. Concentración de esfuerzos de Von-Misses

Fuente: Elaboración de los autores



Figura 27. Factor de seguridad para la estructura

Fuente: Elaboración de los autores

3.7. Construcción y pruebas iniciales

Una vez realizado el diseño se procedió a construir la máquina con todos sus componentes dando como resultado el sistema que se muestra en la Figura 28. Se hicieron pruebas básicas de funcionamiento del motor y el sistema de guías lineales, además de la torre portaherramientas. Se verificaron las vibraciones del torno en un primer momento sin carga, es decir, sin maquinarse material.

Luego se realizaron pequeñas penetraciones a piezas de caucho. En estas primeras pruebas hubo una aceptabilidad total del proceso ya que el sistema no presentó vibraciones y además el acabado de las refracciones fue notablemente bueno (ver Figura 29).



Figura 28. Torno para el mecanizado de caucho construido

Fuente: Elaboración de los autores



Figura 29. Refracciones y piezas logradas con el torno

Fuente: Elaboración de los autores

4. CONCLUSIONES

- Se pudo concluir con los ensayos realizados, que la goma o caucho al ser mecanizada a altas velocidades presenta un mejor acabado superficial y se deja cortar con mayor facilidad. Cabe aclarar, que este proceso no se puede realizar con las herramientas comunes de corte, como son los bujiles, ya que estos al tener una superficie de contacto tan extensa comparada con las cuchillas de corte limitan la penetración de la herramienta en el material.
- Se hace necesario en este tipo de máquinas-herramientas, superficies rectificadas y niveladas que permitan alta precisión y rigidez en los procesos de manufactura para las que fueron diseñadas. Es así como sistemas de guías lineales mantienen bajos niveles de ruido, operan en largos plazos libres de mantenimiento y presentan un excelente funcionamiento a alta velocidad gracias a su movimiento extrasuave. Además, posee una vida útil larga.
- El diseño de la estructura fue ideal para el montaje del sistema de guías lineales, ya que ofrece estabilidad y rigidez. Además, la configuración geométrica del banco, el uso de gomas en las bases de las columnas y la ubicación del motor propician una buena distribución de su peso y presenta muy bajos niveles de vibración.

5. RECOMENDACIONES

La automatización completa de la máquina-herramienta, por medio de la instalación de un kit de CNC, reduciría aún más los tiempos de mecanizado del proceso y entregaría mayor exactitud en la fabricación de los repuestos. Esta nueva implementación tecnológica, constaría de un sistema de sujeción de mordazas de agarre rápido, por medio hidráulico o neumático. Además, el sistema de movimiento lineal (guías lineales y bloques) sería asistido por tornillos de bolas recirculantes, los que a su vez estarían influenciados por servomotores. Estos últimos entregarían el par de fuerza necesario para contrarrestar la fuerza de reacción y avance que se presenta en el corte del caucho. Del mismo modo, la bancada

transversal tendría la implementación de un motor paso a paso y el sistema de transmisión de potencia. Es de vital importancia en este punto de la automatización, garantizar un torque constante en el conjunto eje mandril, ya que no puede existir una variación de potencia. Por esta razón, el motor debe tener la capacidad de mantener el mismo torque en todo el proceso de mecanizado.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. Rocha, A. Mendes, R. Teixeira y M. B. Da Silva, *Teoría da usinagem dos materiais*. São Paulo, Brasil: Editorial Edgard Blücher Ltda, 2011.
- [2] W. Bartsch, *Herramientas-máquinas trabajo*. Barcelona, España: Editorial Reverté, S.A., 1973/2003.
- [3] W. Bartsch, *Alrededor del torno*. Barcelona, España: Editorial Reverté, S.A., 1981/2003.
- [4] SANDVIK Coromant, *Guía de aplicación de herramientas*. Hedsinborg, Suecia: Skogs Ruloffset AB, 1997.
- [5] FLUKE, Equipo analizador de la calidad de la energía eléctrica FLUKE 43, 2015 [En línea]. Disponible en: [http://www.fluke.com/Fluke/eses/Medidores-de-Calidad-de-la-Energia-Elctrica/Instrumentos-para-solucionar-problemas-de-calidad-electrica/Fluke 43B.htm?PID=56080](http://www.fluke.com/Fluke/eses/Medidores-de-Calidad-de-la-Energia-Elctrica/Instrumentos-para-solucionar-problemas-de-calidad-electrica/Fluke%2043B.htm?PID=56080)
- [6] H. Gerling, *Alrededor de las máquinas-herramientas*. Ciudad de México, México: Reverté Ediciones, S.A., 1994.
- [7] SIEMENS. Información general motores, 2014 [En línea]. Disponible en: <http://www.electricidad-general.com/descargas/Motores/Motores%20Siemens/Motores%20Informacion%20General.pdf>
- [8] WEG. Motores eléctricos, 2014 [En línea]. Disponible en: <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-guia-de-especificacion-50039910-manual-espanol.pdf>
- [9] R. G. Budynas y J. K. Nisbett, *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. Ciudad de México, México: McGraw-Hill Interamericana, 2008, pp. 1017-1018.
- [10] B. Hamrock, Bo O. Jacobson y S. R. Schmid, *Elementos de máquinas*. Ciudad de México, México: McGraw-Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V., 2000, pp. 7-10.
- [11] Goodyear, *Manual de correas múltiples en V*, 2011.
- [12] THK. Guías de movimiento lineal, 2008 [En línea]. Disponible en: http://www.thk.com/sites/default/files/documents/mx_pdf/product/2009/DCatalogEspañol_1.pdf