

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA MÁQUINA ALESADORA PORTÁTIL

**ALEX SALAZAR PERILLA
NÉSTOR RAÚL FONSECA SÁNCHEZ**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
TUNJA
2015**

DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA MÁQUINA ALESADORA PORTÁTIL

**ALEX SALAZAR PERILLA
NÉSTOR RAÚL FONSECA SÁNCHEZ**

Proyecto de grado presentado para optar al título de Ingeniero Mecánico

**Director
CARLOS ALBERTO LEÓN MEDINA
Directora Metodológica
YENNY MARLEN GONZÁLEZ MANCILLA**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
TUNJA
2015**

Nota de Aceptación

Director

Jurado

Jurado

Tunja, 29 de febrero de 2016

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	14
1. MARCO TEÓRICO	15
1.1 MARCO CONCEPTUAL	15
1.1.1 Herramientas de filo monocortantes	15
1.1.2 Herramientas fijas	15
1.1.3 Herramientas graduales	16
1.1.4 Ejemplos de piezas alesadas	16
1.2 TIPOS DE ALESADORAS	16
1.2.1 Alesadora horizontal, husillo desplazable verticalmente y mesa móvil	17
1.2.2 Alesadora con árbol a altura fija	18
1.2.3 Alesadora con husillo a altura fija	19
1.3 MÁQUINAS ALESADORAS COMERCIALES PORTATILES	19
1.3.1 La supercombinata	19
1.3.2 Alesadoras York 4-14 ET Portable	21
1.4 PARTES DE ALESADORA PORTÁTIL VERTICAL	22
1.4.1 Soportes fijos	22
1.4.2 Soporte móvil o traslación	22
1.4.3 Bancada o barras de desplazamiento.	22
1.4.4 Tornillo de desplazamiento	22
1.4.5 Motor o cabezal	22
1.4.6 Motor de avance	22
1.5 ECUACIONES PARA EL DISEÑO DE UNA ALESADORA VERTICAL	23
1.6 ESTADO DEL ARTE	28
2. METODOLOGÍA	31
2.1 DISEÑO PRELIMINAR	31
2.1.1 Documentación técnica	31
2.2 DISEÑO BÁSICO	31
2.2.1 División en subsistemas	31
2.2.2 Planteamiento de alternativas de solución	31
2.2.3 Selección de la alternativa de solución.	34

2.3 DISEÑO DE DETALLE	35
2.3.1 Selección de elementos comerciales	35
2.3.2 Integración de todos los sistemas.	37
2.3.3 Planos de ensamble y de taller.	39
2.4 PROTOTIPOS Y PRUEBAS	39
2.4.1 Prototipos virtuales	39
2.5 DISEÑO DEFINITIVO	40
2.5.1 Planos definitivos	40
2.5.2 Construcción de la maquina	40
2.6 COMUNICACIÓN	51
2.6.1 Memorias de cálculos	51
3. ANÁLISIS Y RESULTADOS	54
3.1 CALCULO DEL PASO DE LA ROSCA DEL TORNILLO DE AVANCE	54
3.1.1 Material más duro a mecanizar	54
3.1.2 Calculo de avances y velocidad de corte	54
3.1.3 Selección del tipo de rosca	54
3.2 CALCULO DEL DIÁMETRO DEL TORNILLO DE AVANCE	56
3.2.1 Selección del factor de seguridad	56
3.2.2 Calculo del diámetro del tornillo de avance	56
3.3 CALCULO DE ESFUERZOS SOBRE EL TORNILLO DE AVANCE	58
3.3.1 Esfuerzo cortante torsional máximo	58
3.3.2 Deformación por torsión	58
3.3.3 Esfuerzo real máximo causado por concentradores de esfuerzos	59
3.4 CALCULO DE CUÑA	60
3.4.1 Cálculo de la cuña por esfuerzo cortante	60
3.4.2 Calculo de la cuña por compresión	61
3.5 CALCULO DEL DIÁMETRO DE LAS BARRAS DE DESPLAZAMIENTO	61
3.5.1 Primer material	61
3.5.2 Segundo material	62
3.6 CALCULO DE ESFUERZOS SOBRE LA BARRA DE DESPLAZAMIENTO	63
3.6.1 Esfuerzo cortante torsional máximo	63
3.6.2 Deformación por torsión	64
3.6.3 Esfuerzo real máximo causado por concentradores de esfuerzos	65
3.6.4 Corriente nominal	65
3.6.5 Corriente pico de arranque del taladro	65

3.6.6	Corriente pico de arranque del motor de avance	66
3.6.7	Corriente del circuito	66
3.6.8	Protección de circuito	66
3.6.9	Calibre del conductor.	66
3.7	SIMULACIÓN ESTÁTICA	66
3.7.1	Tensión de Von Mises	67
3.7.2	Desplazamiento	68
3.7.3	Deformación equivalente	67
3.7.4	Coeficiente de seguridad	70
3.8	CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLE DE LA MAQUINA	71
4.	CONCLUSIONES	75
5.	RECOMENDACIONES	76
	BIBLIOGRAFÍA	77
	ANEXOS	79

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Matriz de decisión	35
Tabla 2. Selección de cabezal móvil	35
Tabla 3. Selección de motor de avance	36
Tabla 4. Selección de rodamientos	36
Tabla 5. Selección de tornillos	37
Tabla 6. Fundición de los soportes	40
Tabla 7. Mecanizado de cada una de las partes de la máquina	42
Tabla 8. Pasos para el ensamble de la máquina	49
Tabla 9. Comparación entre materiales de los ejes	57
Tabla 10. Comparación entre materiales de los ejes	63
Tabla 11. Simulación estática	66
Tabla 12. Operaciones, costos y tiempos	71
Tabla 13. Materiales utilizados para la fabricación de la máquina	72
Tabla 14. Herramientas utilizadas para la fabricación y ensamble de la máquina	73

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Alesadora horizontal modelo TPX6111B	18
Figura 2. Alesadora vertical	19
Figura 3. Alesadora supercombinata Easy	20
Figura 4. Alesadora portátil Cadet	21
Figura 5. Boceto 1	32
Figura 6. Boceto 2	33
Figura 7. Boceto 3	33
Figura 8. Despiece de la máquina	38
Figura 9. Molde en icopor	40
Figura 10. Molde en arena	40
Figura 11. Soportes fundidos	41
Figura 12. Soporte de anclaje	41
Figura 13. Soporte motor de avance	41
Figura 14. Soporte	42
Figura 15. Soporte de anclaje	42
Figura 16. Soporte motor de avance	43
Figura 17. Soporte móvil	43
Figura 18. Perforación	43
Figura 19. Roscado	44
Figura 20. corte soporte móvil	44
Figura 21. Corte soporte de anclaje	44
Figura 22. Cilindrado	45
Figura 23. Refrentado	45
Figura 24. Comparador de caracteres	45
Figura 25. Roscado cuadrado	46
Figura 26. Roscado triangular	46
Figura 27. Tuerca cuadrada	46
Figura 28. Buje	47
Figura 29. Tapa de sello	47
Figura 30. Sello	47
Figura 31. ensamble tapa- sello	48
Figura 32. Ensamble de sello-soporte	48
Figura 33. Ensamble buje	49
Figura 34. ensamble tuerca	49
Figura 35. Ensamble soporte móvil	49
Figura 36. Ensamble rodamiento- soporte motor de avance	50
Figura 37. Ensamble rodamiento-soporte de anclaje	50
Figura 38. Ensamble barras de desplazamiento	50
Figura 39. ensamble soporte motor de avance	51
Figura 40. Ensamble cabezal móvil	51

Figura 41. Tensión de Von Mises	67
Figura 42. Desplazamiento de la estructura con la carga aplicada	68
Figura 43. Deformación equivalente de la estructura al aplicar la carga	69
Figura 44. Coeficiente de seguridad	70

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Velocidades de corte y avances para los aceros	79
Anexo B. manual de mantenimiento	80
Anexo C. planos de la alesadora portátil	88

GLOSARIO

BUJE: el buje es el elemento elástico que se interpone entre dos piezas móviles metálicas, permitiendo un suave desplazamiento entre ellas, reduciendo drásticamente la fricción y eliminando o aislando los molestos ruidos que se generan en toda pieza metálica en movimiento.

BURIL: se denomina buril a una herramienta manual de corte o marcado, formada por una barra de acero templado terminada en una punta con un mango en forma de pomo que sirve fundamentalmente para cortar, marcar, ranurar o desbastar material en frío.

CONTACTOR: es un dispositivo con capacidad de cortar la corriente eléctrica de un receptor o instalación con la posibilidad de ser accionado a distancia, tiene dos posiciones de funcionamiento una estable o de reposo, cuando no recibe acción alguna por parte del circuito de mando, y otra inestable, cuando actúa dicha acción.

CUÑA: son piezas de acero que reposan parcialmente sobre una encajadura del eje llamada caja de cuña y que penetran el resto de su longitud dentro de un alojamiento del cubo llamado cuñero, su función principal es ser fusible mecánico.

EJE: es un elemento de máquina generalmente rotatorio y a veces estacionario, que tiene sección normalmente circular de dimensiones menores a la longitud del mismo. Tiene montados sobre sí, elementos que transmiten energía o movimiento, tales como poleas (con correas o cadenas), engranajes, levas, volantes, etc.

FUERZA: es una magnitud física que se manifiesta de manera lineal y representa la intensidad de intercambio entre dos partículas o cuerpos (sistema de partículas). A partir de la fuerza, se puede modificar el movimiento o la forma de los cuerpos.

INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO: están equipados con mecanismos de disparo, la pieza dependiente de la temperatura del mecanismo está compuesta por un bimetálico con un arrollamiento de calefacción. Las corrientes que superan la corriente nominal del módulo de protección, generan calor en el alambre caliente. El bimetálico se curva y reacciona sobre el mecanismo de conexión hasta que se desconecta. La reacción a corrientes de sobrecarga se retrasa.

MECANIZADO: es un proceso de fabricación que comprende un conjunto de operaciones de conformación de piezas mediante la eliminación de material, ya sea por arranque de viruta o por abrasión.

MOMENTO: el momento de una fuerza se calcula como el producto vectorial entre la fuerza aplicada sobre un cuerpo y el vector que va desde un punto "O" (por el cual el cuerpo giraría) hasta el punto dónde se aplica la fuerza.

PARADA DE EMERGENCIA: la función de parada de emergencia sirve para prevenir situaciones que puedan poner en peligro a las personas, para evitar daños en la máquina o en trabajos en curso o para minimizar los riesgos ya existentes y ha de activarse con una sola maniobra de una persona.

RODAMIENTO: es un elemento mecánico que se sitúa entre dos componentes de una máquina, con un eje de rotación común, de forma que un componente puede girar respecto al otro.

VELOCIDAD DE AVANCE: el avance o velocidad de avance en el torneado es la velocidad relativa entre la pieza y la herramienta, es decir, la velocidad con la que progresa el corte. El avance de la herramienta de corte es un factor muy importante en el proceso de torneado.

VELOCIDAD DE CORTE: se define como la velocidad lineal de la periferia de la pieza que está en contacto con la herramienta. La velocidad de corte, que se expresa en metros por minuto (m/min), tiene que ser elegida antes de iniciar el mecanizado y su valor adecuado depende de muchos factores, especialmente de la calidad y tipo de herramienta que se utilice, de la profundidad de pasada, de la dureza y la maquinabilidad que tenga el material que se mecanice y de la velocidad de avance empleada.

RESUMEN

Esta tesis fue realizada con el fin de diseñar y fabricar una alesadora portátil, que le permita al taller CPL brindar un servicio eficiente, determinar un diseño portátil de bajo costo. Se indagó sobre el funcionamiento de la alesadora, para obtener un análisis más claro sobre las posibles alternativas y cumplir con las exigencias planteadas por la empresa, después de realizados los análisis y teniendo en cuenta las necesidades y presupuesto de la empresa CPL se determinó que la alesadora portátil horizontal se acomoda a las expectativas planteadas, las cuales son de menor costo y menor complejidad en el diseño.

Para complementar la alesadora portátil, se diseñó un sistema de sellos para la lubricación y limpieza en las barras de desplazamiento, esto con el fin de mejorar el desplazamiento de la barra de alesado. Los diseños se realizaron bajo referencias de libros de bocetos de máquinas y artículos. El enfoque principal de este proyecto radica en disminuir el tiempo de operación y aumentar la productividad y eficiencia de la máquina, de esta manera mejorar la cultura organizacional de la empresa, condiciones que garantizan que la empresa crezca en su nivel productivo.

INTRODUCCIÓN

A nivel industrial el proceso de manufactura ha desarrollado un auge en las últimas décadas, generando nuevos procesos de mecanizado como es el alesado portátil, donde prevalece el fácil manejo y la exactitud en las operaciones, convirtiéndose en un punto importante en la producción y rentabilidad de las empresas, por tal razón, este proyecto busca diseñar una máquina alesadora portátil que cumpla con las necesidades de mecanizar y prestar un servicio portátil de fácil ubicación en las partes a las cuales se van a intervenir. La empresa CPL en búsqueda de generar utilidad y eficacia en sus procesos productivos y teniendo en cuenta la gran demanda en el servicio de alesado apoya la implementación de la máquina alesadora.

Para desarrollar el diseño y fabricación se necesitó evaluar criterios tales como dimensiones, peso, potencia además de la eficiencia que debe prestar esta máquina para la empresa, verificar los avances para determinar el paso de la rosca del tornillo de avance y de esta manera poder seleccionar el motor automático de avance. Se definieron las partes y equipos necesarios para la construcción, al determinar cuáles son sus esfuerzos, es seleccionado el tipo de material con el cual se va a construir cada parte de la máquina. Definidas las partes se establece que procesos y operaciones son necesarios para el diseño y construcción de la máquina.

Como parte fundamental del diseño es necesario verificar el costo de la fabricación de la alesadora portátil realizando teniendo en cuenta materiales, elementos comerciales, mano de obra y servicios de mecanizados, obteniendo así el presupuesto que se acomoda a las necesidades de la empresa CPL, quienes dan el aval para la realización de la máquina alesadora.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 MARCO CONCEPTUAL

El alesado o mandrilado es una operación de ensanchamiento cilíndrico de un agujero o de una cavidad, hasta llevarla a una determinada dimensión diametral. La característica principal del alesado es la utilización de un árbol portaherramientas giratorio y desplazable al que se denomina mandril.

El mandrilado tiene mucha analogía con el torneado, pues el mandril con las herramientas de corte en él colocadas, ejecuta el torneado de superficies cilíndricas interiores, sólo que en el mandrilado la pieza permanece generalmente en reposo y la herramienta realiza simultáneamente los movimientos de rotación y de avance, mientras que en el torno generalmente la pieza gira y la herramienta avanza. Con el mandrilado se facilita trabajar superficies cilíndricas interiores paralelas en piezas de gran volumen o de difícil manipulación. También se hace posible rebajar o frentear zonas exteriores normales a los agujeros mandrilados.

Las herramientas utilizadas para ejecutar el alesado son: herramientas de filo monocortantes; herramientas cuchillas de simple y doble filo; escariadores fijos. El trabajo de alesado o torneado cilíndrico interior se realiza preferentemente usando herramientas de filo monocortantes y cuchillas, las cuales son de dimensiones reducidas, pues deben actuar en el interior de las piezas y no solamente para torneear a diámetros reducidos, sino también a profundidades o longitudes apreciables. La posición exacta de la herramienta tiene excepcional importancia para obtener así el alesado al diámetro exacto.

A continuación se describe los diferentes tipos de herramientas necesarias para la operación de alesado.

1.1.1 Herramientas de filo monocortantes. Se construyen como las herramientas de torno, son por lo general trozos de barra de sección calibrada. En uno de sus extremos, se forma el filo o borde cortante. En algunos casos son fijas y en otros graduales.

1.1.2 Herramientas fijas. Fijadas mediante clavijas, se utilizan para ampliar en una sola pasada.

1.1.3 Herramientas graduales. Mediante un tornillo de empuje es posible desplazar longitudinalmente la herramienta para aumentar el diámetro del alesado después de cada pasada.

1.1.4 Ejemplos de piezas alesadas. El alesado se realiza a camisas, para motores de combustión interna, para cilindros hidráulicos (utilizados en maquinarias agrícolas, viales e industriales) y también en sistemas neumáticos. Se aplica a bielas y pistones, también en tapas de cilindros.

1.2 TIPOS DE ALESADORAS

El alesado es un verdadero torneado interior que es necesario efectuar con medios y máquinas apropiadas. Las máquinas de este tipo adoptan dos formas fundamentales según que las piezas sean livianas o pesadas. En el primer caso, el árbol portaherramientas es fijo y la pieza a trabajar móvil; en el segundo caso, el árbol es móvil y la pieza se dispone en forma fija sobre una bancada. Las máquinas alesadoras, del tipo denominado universal, pueden ejecutar diversos trabajos tales como: agujerear, torneear, filetear y fresar.

El proceso de reparar diámetros interiores ha tenido progresos notables durante estos años. Nuevas tecnologías y metodologías cambiantes hacia la solución de problemas han desarrollado un nuevo enfoque para la Soldadura de Diámetros Interiores y el Mandrinado en Línea. En el pasado, las reparaciones de diámetros interiores desgastados eran muy costosas. El tiempo de parálisis o inactividad y la pérdida de productividad se sumaban al problema. Las averías o fallas de las máquinas nunca ocurren en el momento más oportuno o conveniente.

La programación de las reparaciones siempre está en el programa de actividades de otras personas. En el pasado, una reparación común involucraba el desmantelamiento de equipos de trabajo pesado y el transporte de la maquinaria a un taller de reparación. Las reparaciones estaban lejos de ser fáciles, ya que las partes o piezas eran pesadas y difíciles de manejar. La soldadura manual de diámetros interiores tomaba mucho tiempo. Había una muy pequeña consistencia en los diámetros, ya que los puntos duros de continuidad de material, la porosidad y la sujeción hacían dificultoso el remaquinado. El método correcto para reparar los diámetros interiores desgastados involucraba el reemplazo del metal desplazado de vuelta dentro del diámetro desgastado¹.

¹ SEPÚLVEDA LOZANO. Carlos Elías. Cavidades internas. Árbol de Tinta SAS. [Citado en 2015] Disponible en <http://metalactual.com/revista/26/maquinaria_alesadoras.pdf>

En muchos casos, se llevaron a cabo reparaciones subestándares, no de calidad, debido a que los costos de reparación eran demasiado excesivos. Afortunadamente, las reparaciones de diámetros interiores ya no son engorrosas ni difíciles de llevar a cabo. Los diámetros interiores pueden ser reparados en el mismo sitio de trabajo. El proceso es fácil y los equipos de reparación son asequibles para su compra. Las máquinas soldadoras de diámetros interiores pueden componer o ensamblar diámetros interiores desgastados 200% veces más rápido que las máquinas para soldadura manual. Estas soldaduras son consistentes y fáciles de remaquinar.

El alesado es la expansión cilíndrica o cónica interna de la superficie de una cavidad previamente hecha a una pieza. Este procedimiento se realiza con el objetivo de rebajar material de la pieza circular y para alcanzar las dimensiones requeridas de producción. En México y en países como España y Colombia, se conoce al proceso como “mandrilado”, debido a que el componente que sostiene el portaherramientas de la máquina es llamado popularmente “mandril” (plato-cabezal).

La alesadora es usada para trabajar y aumentar superficies de cavidades internas en un sin número de piezas utilizadas en sectores industriales como el automotor, agroindustrial y petrolero, entre otros².

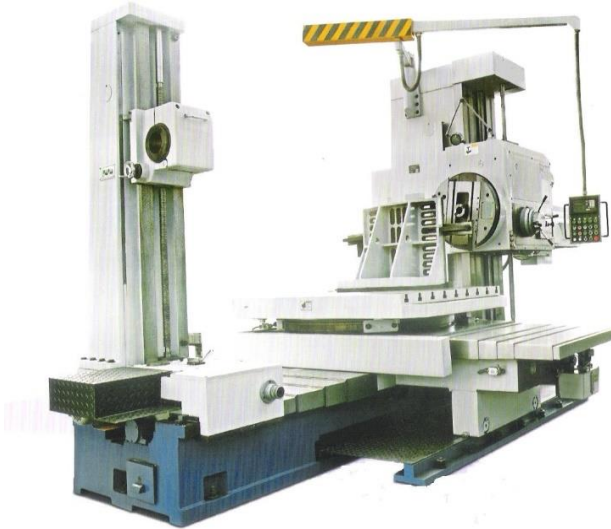
1.2.1 Alesadora horizontal, husillo desplazable verticalmente y mesa móvil.

Es una máquina construida para torneear interiormente cilindros pertenecientes a piezas muy pesadas, que se fijan sobre la mesa móvil en dos sentidos normales entre sí, a una altura dada. Este tipo de máquina es especialmente apto para el torneado de cilindros de motores térmicos como se muestra en la Figura 1³.

²Disponible en <<http://nakasesrl.com.ar/>> 2015

³Disponible en <<http://cimhsa.com.ar/>> Centro Integral de la Máquina Herramienta S.A Siete Flores 2009

Figura 1. Alesadora horizontal modelo TPX6111B



Fuente. Industrias CIMHSA

1.2.2 Alesadora con árbol a altura fija. Esta máquina alesadora también es apta para el torneado de grandes cilindros. Tiene la característica de poseer un árbol portaherramientas giratorio siempre a una misma altura. Este árbol presenta un mecanismo interior a tornillo para desplazar el portaherramientas en forma independiente. La pieza a trabajar viene sujeta en forma estable sobre una base inamovible. Los objetos que deben taladrarse o fresarse presentan una serie de agujeros paralelos, igual o desigualmente distribuidos sobre una superficie sería necesario trasladar la pieza bajo la acción de la mecha o de la fresa. Si estas son a eje inmóvil⁴, se necesitaría una gran mesa móvil en dos direcciones perpendiculares, como se muestra en la figura 2.

⁴ Disponible en <<http://cccme.org.cn/shop/cccme1222/index.aspx>> Importación y Exportación, Focus Technology Co., Ltd. 2015

Figura 2. Alesadora vertical



Fuente. Shanghai Wallong

1.2.3 Alesadora con husillo a altura fija. Es apta para trabajar piezas livianas y medianamente pesadas que pueden ser colocadas sobre la mesa y en ella fácilmente desplazables en tres sentidos perpendiculares entre sí. La longitud trabajable de las piezas está limitada por la distancia libre entre el husillo y el montaje y el máximo radio de alesado (torneado interior) por la máxima distancia vertical entre el eje prolongado del husillo y la posición más baja que adopta la superficie superior de la mesa.

1.3 MÁQUINAS ALESADORAS COMERCIALES PORTATILES

1.3.1 La supercombinata. Esta máquina está diseñada para hacer los trabajos de mandrinado y aporte de soldadura en línea con la creciente demanda, cada vez más exigente en materia de mantenimiento y reparación de maquinaria de construcción e industria. Nuestras mandriladoras portátiles son extremadamente versátiles y reducen considerablemente el tiempo de procesamiento. Con un tamaño pequeño, las reparaciones se pueden hacer en cualquier posición, lo que

reduce los costos de la intervención y mano de obra, la Figura 3 muestra la supercombinata⁵.

Figura 3. Alesadora supercombinata Easy



Fuente. Industrias Elsa

La supercombinata sc1 40/1 con un motor 1800W de 4 velocidades es adecuado para realizar trabajos de $\varnothing$ 42 mm a $\varnothing$ 400 mm, y con los Kit adicionales se puede extender hasta $\varnothing$ 600 mm o reducir a $\varnothing$ 22 mm. La supercombinata sc1 40/1 se puede además equipar con accesorios adicionales para el mecanizado de precisión.

El alesado es un verdadero torneado interior que es necesario efectuar con medios y máquinas apropiadas. Las máquinas de este tipo adoptan dos formas fundamentales según que las piezas sean livianas o pesadas. En el primer caso, el árbol portaherramientas es fijo y la pieza a trabajar móvil; en el segundo caso, el árbol es móvil y la pieza se dispone en forma fija sobre una bancada. Las máquinas alesadoras, del tipo denominado universal, pueden ejecutar diversos trabajos tales como: agujerear, tornear, filetear y fresar.

⁵ Disponible en <<http://elsasrl.com/en/products-supercombinata-machines-tools-portable-for-recondition-repairing-sc1-40compact.php>> Catalogo página web industria Elsa, Portables Machines, Supercombinata Easy. Studio Rizzuto. 2013

1.3.2 Alesadoras York 4-14 ET Portable. Son máquinas diseñadas para realizar la operación de alesado y tiene un sistema de aplicación para reconstruir las piezas con el proceso de soldadura MIG. Es una máquina con la cual desarrollaron un buen diseño de ingeniería, está equipada con las diferentes herramientas para el mecanizado por alesado, como se muestra en la Figura 4.

Figura 4. Alesadora portátil Cadet



Fuente. York Machine

La programación de las reparaciones siempre está en el programa de actividades de otras personas. En el pasado, una reparación común involucraba el desmantelamiento de equipos de trabajo pesado y el transporte de la maquinaria a un taller de reparación. Las reparaciones estaban lejos de ser fáciles, ya que las partes o piezas eran pesadas y difíciles de manejar. Había una muy pequeña consistencia en los diámetros, ya que los puntos duros de continuidad de material, la porosidad y la sujeción hacían dificultoso el remaquinado⁶.

El método correcto para reparar los diámetros interiores desgastados involucraba el reemplazo del metal desplazado de vuelta dentro del diámetro desgastado. Entonces se remaquinaba el diámetro a las especificaciones originales del fabricante. Muchas reparaciones fueron demoradas para una fecha posterior y, como resultado, se causó mucho daño a la maquinaria.

En muchos casos, se llevaron a cabo reparaciones subestándares, o con baja calidad, debido a que los costos de reparación eran demasiado excesivos.

⁶ Disponible en <[http:// https://yorkmachine.com/products/4-14-et-boring-bar](http://https://yorkmachine.com/products/4-14-et-boring-bar)> catálogo industria YORK, Portables Machines, 4-14 ET Line Boring Machines, Camaleón Creativa. 2013

Afortunadamente, las reparaciones de diámetros interiores ya no son engorrosas ni difíciles de llevar a cabo. Los diámetros interiores pueden ser reparados en el mismo sitio de trabajo. El proceso es fácil y los equipos de reparación son portátiles⁷.

1.4 PARTES DE ALESADORA PORTÁTIL VERTICAL

1.4.1 Soportes fijos. Elemento de sujeción para barras de desplazamiento, están diseñados en material de aluminio fundido, dispone de un sistema de cavidades para su ensamble.

1.4.2 Soporte móvil o traslación. Elemento móvil fundido en aluminio dispone de dos bujes en bronce para disminuir la fricción con las barras de desplazamiento.

1.4.3 Bancada o barras de desplazamiento. Tiene la función de sostener a los demás elementos o partes de la máquina. Las barras permiten un deslizamiento a los soportes, poseen un recubrimiento de níquel para disminuir la fricción entre el soporte y la barra.

1.4.4 Tornillo de desplazamiento. Es un eje con un diámetro de 32 mm. el cual tiene una rosca cuadrada que avanza horizontalmente por medio de una tuerca con un paso 2,5 mm., brindando una mayor resistencia y contacto en los hilos de la rosca, garantizando mayor precisión en el avance.

1.4.5 Motor o cabezal. Proporciona una velocidad angular al usillo con una potencia de 1500 wattios, a un voltaje de 220 Vac con una frecuencia de 60 Hz, además cuenta con cuatro velocidades 210 / 330 / 470 / 740 rpm en vacío⁸.

1.4.6 Motor de avance. Suministro de desplazamiento en eje x según los sistemas de mecanizado con una variedad de avance de 0, a 16 m/min.

⁷ Ibid.

⁸ SEPÚLVEDA LOZANO, Carlos Elías. En: Revista Metal Actual, Operación de Alesado. 28 p.

1.5 ECUACIONES PARA EL DISEÑO DE UNA ALESADORA VERTICAL

El diámetro del eje se calcula teniendo en cuenta el par torsional, con la selección de los materiales para fabricar el eje. En la tabla de propiedades del material se seleccione la resistencia de fluencia del material. A partir de la Ecuación (1) se calculó el diámetro del eje⁹

$$D = \left[\frac{32N}{\pi} \sqrt[3]{\frac{3}{4} \left(\frac{T}{S_y} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

En donde:

D = Diámetro del eje
N = factor de diseño
T = par torsional
Sy = resistencia de fluencia del material a fabricar el eje

Para calcular el par torsional es necesario conocer la potencia suministrada al eje, como las revoluciones a las que gira, con la ecuación (2) se calculó el par torsional¹⁰.

$$T = \frac{63000 * P}{n} \quad (2)$$

En donde:

T = Par Torsional Del Eje
P = Potencia Transmitida
n = Revoluciones a las que gira el eje

La longitud de una cuña por esfuerzo cortante lo primero que se tiene en cuenta es el diámetro del eje, se remite a las tablas para seleccionar la sección transversal de la cuña, posteriormente se calcula la fuerza cortante, se selecciona

⁹ Ibid. 534 p.

¹⁰ Ibid. 534 p.

el factor de diseño y la resistencia a la fluencia del material con el cual se va a fabricar la cuña. Con la ecuación (3) se calculó la longitud de la cuña¹¹.

$$L = \frac{F * N}{t * s_{sy}} \quad (3)$$

En donde:

L	=	longitud de la cuña
F	=	fuerza
N	=	factor de diseño
t	=	sección transversal de la cuña
	=	Resistencia al cortante

La fuerza en la superficie del eje se necesita conocer el par torsional del eje y el radio del mismo. Con la ecuación (4) se calculó la fuerza cortante¹².

$$F = \frac{T}{r} \quad (4)$$

En donde:

F	=	fuerza
T	=	par torsional del eje
r	=	radio del eje

Resistencia al cortante, mediante la teoría de la energía de distorsión. Con la ecuación (5) se calculó la resistencia al cortante¹³.

$$s_{sy} = 0,577s_y \quad (5)$$

¹¹ BUDYNAS, Richard G. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. Octava Edición. Mc Graw Hill. 2008. 383 p.

¹² Ibid.382 p.

¹³ Ibid.

En donde:

S_{sy} = Resistencia al cortante
 S_y = resistencia a la fluencia

Longitud de la cuña calculada por esfuerzo por compresión o aplastamiento, se tiene en cuenta la fuerza en la superficie del eje, el factor de diseño, el ancho de la cuña que se obtiene por tabla y la resistencia a la fluencia que es una propiedad del material con el que va a ser fabricada la cuña. Con la ecuación (6) se calculó la longitud de la cuña por aplastamiento¹⁴.

$$L = \frac{2 * F * N}{S_y * t} \quad (6)$$

En donde:

S_y = resistencia a la fluencia
 F = fuerza
 N = factor de diseño
 t = sección transversal de la cuña

Par torsional necesario para mover una carga, cuando se utiliza un tornillo de potencia para ejercer una fuerza, se necesita conocer cuánto par torsional se debe aplicar a la turca del tornillo para mover la carga. Con la ecuación (7) se calculó Par torsional necesario para mover una carga¹⁵.

$$T_u = \frac{FD_p}{2 \left[\frac{L + \pi f D_p}{\pi D_p - fL} \right]} \quad (7)$$

En donde:

F = fuerza a mover
 D_p = diámetro de paso
 L = avance del tornillo
 f = coeficiente de fricción

¹⁴ Ibid. 383 p.

¹⁵ MOTT, Robert L. Diseño de elementos de maquinas. Cuarta edición. Pearson. 700 p.

Par torsional requerido sin fricción, necesario para calcular la eficiencia del tornillo, con la ecuación (8) se calculó el par torsional requerido sin fricción¹⁶.

$$T' = \frac{FL}{2\pi} \quad (8)$$

En donde:

F = fuerza a mover
 L = avance del tornillo

La eficiencia de la transmisión de una fuerza por un tornillo de potencia se puede expresar como la reacción del par torsional necesario para mover la carga sin fricción entre la correspondiente con fricción. Con la ecuación (9) se calcula la eficiencia de un tornillo de potencia¹⁷.

$$e = \frac{T'}{T_U} \quad (9)$$

En donde:

T' = Par torsional requerido sin fricción
 T_U = Par torsional necesario para mover una carga

Cuando un par de torsión, o momento de torsión, se aplica a un elemento, tiende a deformarlo por torcimiento, lo cual causa una rotación de una parte del elemento en relación con otra. Ese torcimiento provoca un esfuerzo cortante en el miembro. Con la ecuación (10) se calculó el esfuerzo cortante torsional máximo sobre el tornillo de avance¹⁸.

$$\tau_{\max} = \frac{Tc}{J} \quad (10)$$

En donde:

¹⁶ Ibid. 701 p.

¹⁷ Ibid. 701 p.

¹⁸ Ibid. 95 p.

T = Par torsional sobre el eje
 c = radio de la superficie externa del eje
 J = el momento polar de inercia

Cuando un eje se somete a un par de torsión, sufre un torcimiento en el que una sección transversal gira con respecto a otras secciones transversales en el eje. Con la ecuación (11) se calculó el Angulo de torsión¹⁹.

$$\theta = \frac{TL}{GJ} \quad (11)$$

En donde:

T = par torsional al que gira el eje
 L = longitud del eje
 G = módulo de elasticidad del material
 J = el momento polar de inercia

En muchos casos típicos del diseño de máquinas, es necesario que haya discontinuidades geométricas inherentes, para que las piezas cumplan las funciones asignadas, cualquiera de esas discontinuidades geométricas hará que el esfuerzo real máximo en dicha parte sea mayor. Con la ecuación (12) se calculó el esfuerzo real máximo debido a concentradores de esfuerzo²⁰.

$$\sigma_{\max} = K_t \sigma_{\text{nom}} \quad (12)$$

En donde:

K_t = factor de concentración de esfuerzos
 σ_{nom} = esfuerzo nominal

La corriente nominal está expresada en términos de potencia de entrada, voltaje en la línea y factor de potencia. Es necesario conocer la corriente nominal para poder calcular la corriente del circuito.

$$I_n = \frac{P_{in}}{\sqrt{2(VL)(Fp)}} \quad (13)$$

¹⁹ Ibid. 97 p.

²⁰ Ibid. 120 p.

En donde:

P_{in} = potencia de entrada
 V_L = voltaje en la línea
 F_p = factor de potencia

La corriente pico de arranque se calcula teniendo en cuenta la corriente nominal y es necesaria para conocer la corriente del circuito.

$$I_{pa} = I_n * 1,5 \quad (14)$$

En donde:

I_n = corriente nominal

1.6 ESTADO DEL ARTE

Åkesson desarrolló una barra alesadora estándar modificada con la que se demostró que el número de tornillos de sujeción, los diámetros de los tornillos de sujeción, los pares de apriete de tornillos, tienen una influencia significativa en las barras de alesado y su modo de orientación en el plano, en la profundidad de corte y en la velocidad de corte, los cuales son de gran importancia para su desempeño²¹.

Garantizar el soporte de la alesadora, de modo que los desplazamientos de la herramienta causados por la fuerza de corte instantánea se puedan corregir de forma automática durante el corte. Los Algoritmos de control PID se utilizan para controlar simultáneamente la fuerza de corte y para activar el actuador piezoeléctrico, de manera que el desplazamiento forzado de la barra de alesar se puede corregir. Los resultados de corte indican que la compensación de error, es de hecho, efectiva en el mecanizado con profundidades variables de corte²².

²¹ ÅKESSON, Henrik; SMIRNOVA, Tatiana y HÅKANSSON, Lars. Analysis of dynamic properties of boring bars concerning different clamping conditions: Mechanical Systems and Signal Processing, 2629–2647 pp.

²² CHIU, W.M.; CHAN, K.W. Design and testing of piezoelectric actuator-controlled boring bar for active compensation of cutting force induced errors: International Journal of Production Economics 135–148 pp.

Uno de los modelos se basa en suposiciones físicas y geométricas, se perfeccionó mediante observaciones experimentales derivadas de las pruebas modales de barras de alesado con diferentes geometrías y de diferentes materiales, es decir, acero de aleación y de alto contenido de carbono²³.

El comportamiento de las barras de alesado con un amortiguador de vibraciones dinámicas. Se analizó la estabilidad del modelo de dos grados de libertad para construir el diagrama de estabilidad, depende de las características de barras y de los parámetros de absorción (masa, rigidez, amortiguamiento, y posición). Se compararon dos enfoques analíticos para el ajuste de los parámetros de absorción. El criterio de selección consistió en la maximización de los valores mínimos del diagrama de estabilidad, el análisis realizado permitió la formulación de nuevas expresiones analíticas para la frecuencia de sintonización y mejorar el comportamiento del sistema²⁴.

Las vibraciones en las operaciones de torneados internos son generalmente una parte complicada para el proceso de fabricación. Las vibraciones en barras de alesado de acero aleado, acero inoxidable y hierro fundido se han medido tanto en la dirección de la velocidad de corte y la dirección de la profundidad de corte con la ayuda de los acelerómetros. El proceso está influenciado por parámetros no estacionarios que no están bajo el control del operador o experimentador. Las vibraciones están claramente dominadas por la primera frecuencia de resonancia en una de las dos direcciones de la barra de alesado²⁵.

Según KADU, la operación de mecanizado utilizando diferentes parámetros es un fenómeno complejo. Hay muchos factores como la velocidad, la profundidad de corte, el medio de refrigeración junto con la longitud y el diámetro del cuerpo de la herramienta, lo que afecta el rendimiento del mecanizado, que reduce la vida de la herramienta. Un intento de optimizar los parámetros del proceso disminuyendo el rango para minimizar el tiempo y acabado de la superficie de corte durante la operación de mecanizado. Los resultados de las pruebas demostraron que el tiempo de corte y el acabado superficial fueron influenciados significativamente sin las dimensiones. Los parámetros del proceso agrupados en términos, se

²³ SORTINO, M.; TOTIS G.; PROSPERI, F. Modeling the dynamic properties of conventional and high-damping boring bars: Mechanical Systems and Signal Processing. 340–352 pp.

²⁴ MIGUÉLEZ, M.H.; RUBIO, L.; LOYA, J.A. and FERNÁNDEZ SÁEZ, J. Improvement of chatter stability in boring operations with passive vibration absorbers: International Journal of Mechanical Sciences, Volume 52, Issue 10, October 2010. 1376–1384 pp.

²⁵ ANDRÉN, L.; HÅKANSSON, L.; BRANDT, A.; CLAEISSON, I. Identification of dynamic properties of boring bar vibrations in a continuous boring operation: Mechanical Systems and Signal Processing. 869–901 pp.

sugirieron las directrices efectivas a los fabricantes para mejorar la vida de la herramienta cambiando uno o todos de los parámetros de proceso²⁶.

Optimizar los procesos de perforación de los mecanizados internos, monitoreo de condiciones de mecanizado juega un papel importante para la durabilidad de la herramientas, controla la calidad del producto y reduce los costos de la herramienta. Se propone un nuevo enfoque para el alesado, este enfoque se desarrolla a través de la construcción de un indicador valioso, es decir, la relación de energía alrededor de la frecuencia natural de la barra de alesar, la vibración se produce en la frecuencia del modo más dominante de la estructura de la máquina herramienta. Con modelado de proceso de corte dinámico y realizando su análisis de simulación durante el alesado de la pieza, se encuentra que las amplitudes de vibración en la frecuencia de la naturaleza de la subida de la máquina herramienta con el desgaste de la misma. En consecuencia, el alesado de la pieza se puede implementar por medio de la normalización de la energía de la onda. Se llevó a cabo un experimento de campo a mecanizar, la máquina herramienta de alesado, y el resultado muestra que el método propuesto es efectivo en el proceso de desgaste de la herramienta de monitoreo y calidad de acabado superficial²⁷.

Para medir el error de rectitud de un eje en movimiento con un sistema que utiliza alambre tenso, sensor óptico y la técnica de cancelación de error de referencia. Comúnmente el cable tenso, o métodos basados en láser que combina simplicidad de la configuración y bajo costo con altos niveles de automatización, precisión y repetibilidad. Se aplica una técnica de compensación de error basado en el método de dos puntos, a un objeto de referencia versátil que puede ser montado en cualquier lugar de las máquinas de trabajo, lo que permite la medición directa de la rectitud movimiento de un punto de la herramienta, se utiliza como una referencia. El método propuesto muestra resultados altamente repetibles mejor que $\pm 0,25$ micras en el rango de precisión de 0,48 m y la medición comparable, este nos guía para verificar si el mecanizado que se está realizando tiene una óptima condición de alineación entre ejes²⁸.

²⁶ KADU, R.S.; AWARI, G.K. ; SAKHALE, C.N.; MODAK, J.P. Formulation of mathematical model for the investigation of tool wears in boring machining operation on cast iron using carbide and cbn tools: Procedia Materials Science, Volume 6, 2014. 1710–1724 pp.

²⁷ WENRONG, Xiao; YANYANG, Zi; BINQIANG, Chen; BING, Li; ZHENGJIA, He. International Journal of Machine Tools and Manufacture: a novel approach to machining condition monitoring of deep hole boring. 27–33 pp.

²⁸ BORISOV, Oleg; FLETCHER, Simon; LONGSTAFF, Andrew; MYERS, Alan. New low cost sensing head and taut wire method for automated straightness measurement of machine tool axes: Optics and Lasers in Engineering, Volume 51, Issue 8. August 2013. 978–985 pp.

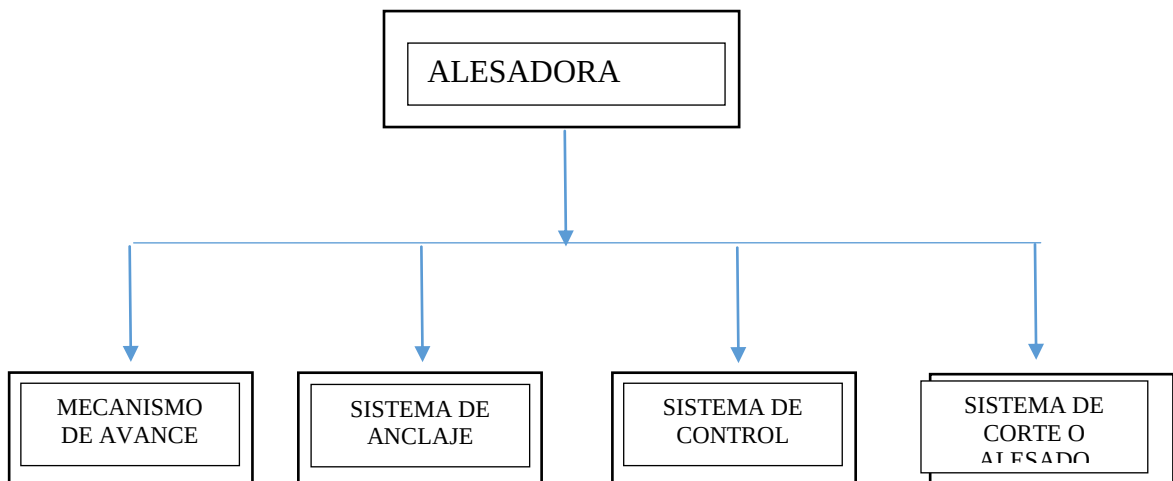
2. METODOLOGÍA

2.1 DISEÑO PRELIMINAR

2.1.1 Documentación técnica. El diseño se realizó con base en la revisión bibliográfica principalmente de los libros DISEÑO DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS MOTT, RESISTENCIA DE MATERIALES Mott, SHIGLEY'S MECHANICAL ENGINEERING DESIGN, BUDYNAS, de los cuales se tomaron las ecuaciones básicas citadas en el apartado 1, para el cálculo de los principales elementos. Además catálogos para la selección de elementos comerciales como Bosch, vertex, SKF, NSK y la revista METALACTUAL

2.2 DISEÑO BÁSICO

2.2.1 División en subsistemas. En la ilustración 1. Se observa la división de la máquina en subsistemas.



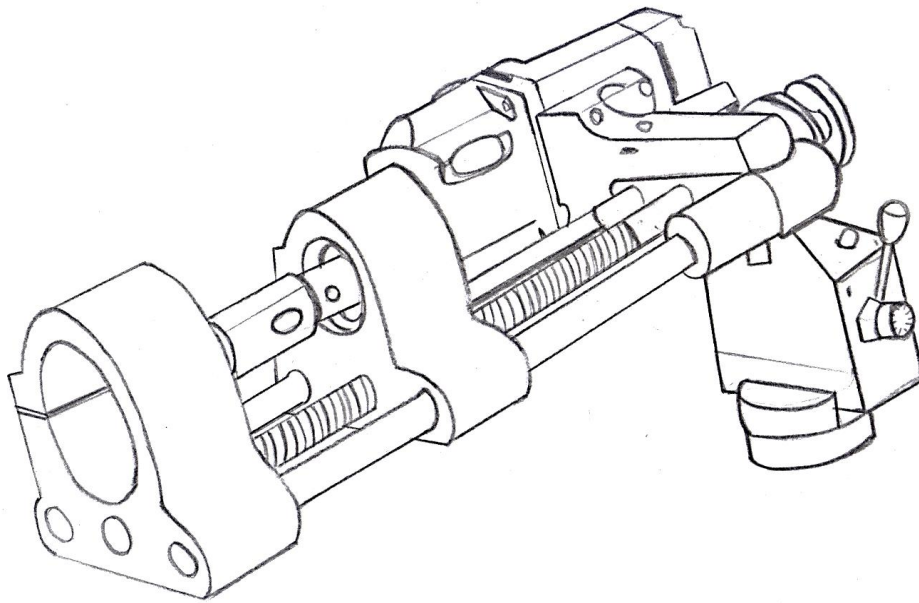
Fuente: autores

2.2.2 Planteamiento de alternativas de solución. Para poder aplicar la matriz se plantearon 3 alternativas:

- **Alternativa 1.** Mecanismo de avance con una barra roscada y con un motor alojado a un extremo de la barra roscada. El motor tiene variación de

velocidades para los diferentes avances que se necesiten durante el proceso de mecanizado y con una inversión del sentido de giro que facilita acercar y retirar la herramienta, como se observa en la figura 5.

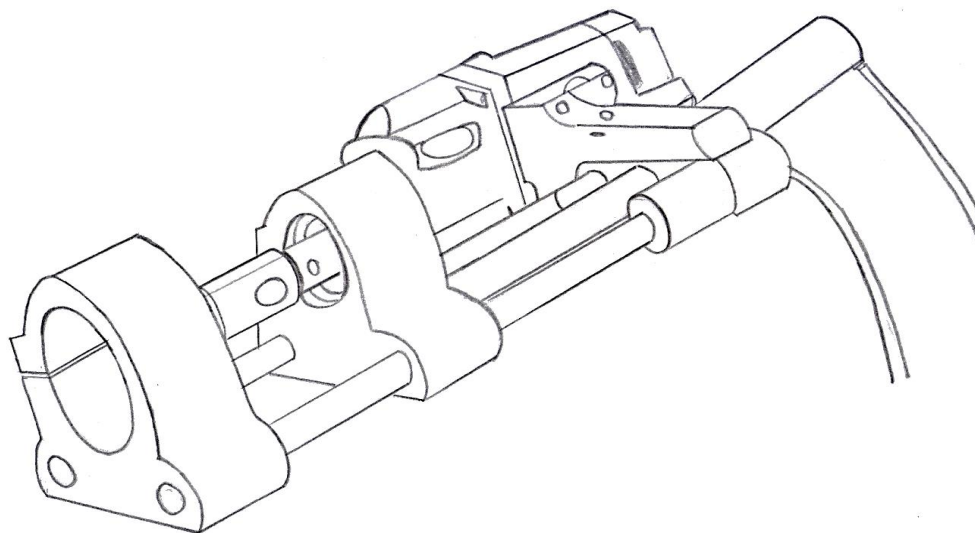
Figura 5. Boceto 1



Fuente: autores

- **Alternativa 2.** Se reemplaza la barra roscada y el motor de avance por un cilindro hidráulico de doble efecto, donde se debe realizar un circuito de control de apertura y cierre de la electroválvula así como un mecanismo de seguridad y control de presión, como se muestra en la figura 6.

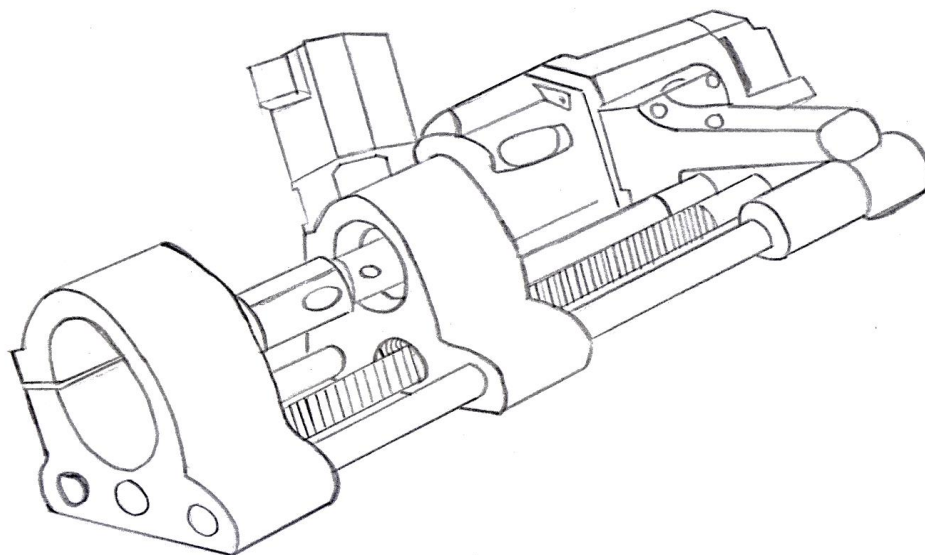
Figura 6. Boceto 2



Fuente: autores

- **Alternativa 3.** Se compone de un motor ubicado en el cabezal móvil que tiene un engrane que transmite el movimiento a una cremallera de esta forma se puede realizar el avance de la herramienta, como se muestra en la figura 7.

Figura 7. Boceto 3



Fuente: autores

2.2.3 Selección de la alternativa de solución. Para el desarrollo del diseño primero se plantearon tres alternativas, donde se aplicó una matriz de decisión para seleccionar la alternativa más adecuada, una vez seleccionada la alternativa se realizaron los respectivos cálculos y diseños.

Para la selección de la alternativa más adecuada se tuvieron en cuenta los principales aspectos, como son:

- **Precisión.** Es un aspecto fundamental, debido a que la precisión es fundamental para tener un óptimo acabado en el mecanizado y para evitar daños en la herramienta, por eso es fundamental precisión en los avances y velocidades de corte, debido a esto muy importante seleccionar el mecanismo adecuado que brinde seguridad y precisión, con el que se puedan tener buenos acabados en la pieza.
- **Facilidad de fabricación.** En este aspecto se tiene en cuenta el diseño menos complejo y más sencillo de fabricar, sin olvidar que al tener un diseño más complejo, su fabricación también es más compleja, por lo tanto aumentan los costos.
- **Peso.** Este aspecto es importante debido a que como es una máquina portátil el menor peso posible es muy importante, así como los componentes que lo integran no contribuyan al aumento del peso de la máquina.

MATRIZ DE DECISIÓN

Para evaluar cada uno de los factores se utilizan valores de 1 a 5 siendo:

- 1 el menos preciso y 5 el más preciso
- 1 el más difícil de fabricar y 5 el más fácil de fabricar
- 1 el más pesado y 5 el menos pesado

Tabla 1. Matriz de decisión

FACTORES	Precisión	Facilidad de fabricación	Peso	RESULTADO
Alternativa 1	4	4.5	4	4.16
Alternativa 2	2	4	4	3.33
Alternativa 3	4.5	2	2	2.83

Fuente: autores

Tomando en cuenta los valores presentes en la matriz de decisión, la alternativa que selecciona es la 1

2.3 DISEÑO DE DETALLE

2.3.1 Selección de elementos comerciales

- **Selección cabezal móvil**

Tabla 2. Selección de cabezal móvil

ELEMENTO COMERCIAL	CARACTERÍSTICA
Taladro Bosch GBM 32-4	220 AC 1500 Wattios Motor Bifásico, 4 velocidades 240,370,470,740 rpm
Taladro UNITEC EHB 32/2	110 AC 15 Amp Motor Bifásico de 2 velocidades 60-140 y 245-385 rpm
Caja Reductora SEW 23	220 AC 746 Wattios Motor Trifásico de 240 rpm

Fuente: autores

De acuerdo con el diseño y las condiciones de la máquina se debe tener provisto el suministro de energía y los ambientes de trabajo, dicho lo anterior se determina seleccionar el Taladro Bosch GBM 32-4 el cual cumple con las condiciones, motor bifásico, 4 rangos de velocidades, bajo costo y fácil ubicación en el mercado, además es una marca que garantiza la calidad de sus equipos.

- **Selección motor de avance**

Tabla 3. Selección de motor de avance

ELEMENTO COMERCIAL	CARACTERISTICA
Motor de Avance VPF 250X	Motor a 110 Bifásico de 10 avances
Motor de Avance VPF 99X	Motor a 110 Bifásico un avance
Caja de Avance	Motor a 220 Trifásico

Fuente: autores

La selección de Motor de Avance VPF 250X Vertex. Se analizó la disposición de energía en el campo de trabajo como es, saber si la máquina se diseñó para trabajar en campo abierto y de forma portátil. Es difícil obtener un circuito trifásico, por lo cual es más oportuno un circuito bifásico, de ese modo se inicia la selección, además cuenta con más rangos de avances, es un motor de menor costo y de fácil ubicación en el mercado. El torque que ofrece este motor es el indicado para la máquina, ya que las cargas de la alesadora están por debajo y así evitar una sobrecarga en el motor.

- **Selección de rodamientos**

Tabla 4. Selección de rodamientos

ELEMENTO COMERCIAL	CARACTERISTICA
Rodamiento Axial 51305 SKF	Rodamientos para cargas axiales, su diseño esta dado en medidas por pulgadas y milímetros
Rodamiento de Contacto Angular 7205B FAG	Rodamientos para cargas mixtas axiales y radiales, su diseño es en medidas por pulgadas y milímetros
Rodamiento de rodillo cónico de una hilera TIMKEN 30205J2/Q	Rodamientos para cargas axiales y perturbación en la alineación, su diseño esta dado en medidas por pulgadas y milímetros.

Fuente: autores

En la selección de rodamientos se implicaron varios conceptos como esfuerzos, cargas que tiene el sistema, si son axiales o radiales; el sistema tiene cargas mixtas bajas, no tiene desalineación en los puntos de apoyo, está diseñado en milímetros. Con todos los aspectos mencionados se direccionó la selección al rodamiento 7205B FAG, el cual brinda todas las características requeridas en el diseño del tornillo de avance y las cargas producidas por la barra de alesar en vacío y en el momento de mecanizar.

- **Selección De Tornillos.**

Tabla 5. Selección de tornillos

ELEMENTO COMERCIAL	CARACTERISTICA
Tornillos y tuercas de paso milimétrico (sistema métrico)	Tiene mayor cantidad de hilo en los pasos y su inclinación es de 60°
Tornillos y tuercas de paso por pulgada (sistema ingles)	Tiene menor cantidad de hilos entre pasos y su inclinación es de 55°

Fuente: autores

Esta selección es importante porque define el sistema al cual se diseña, el cual sea común en la zona de trabajo. De acuerdo a lo anterior se determina el sistema inglés debido a que en las zonas se maneja demasiada maquinaria pesada y todas estas, están diseñadas en sistema inglés. Los almacenes que suministran los repuestos tienen implementado este sistema, es importante porque cualquier repuesto para la alesadora portátil, es comercial y se encuentra en la zona.

2.3.2 Integración de todos los sistemas. En cuanto a los componentes de la máquina, lo primero que se hizo fue identificar cada una de las principales partes o componentes de la máquina, la función que cumplen y las variables que intervienen para su funcionamiento.

- **Tornillo de avance.** Eje roscado ubicado en el centro de la máquina, que permite el desplazamiento del cabezal longitudinalmente, por medio del cual se le ingresa el avance requerido para la operación.

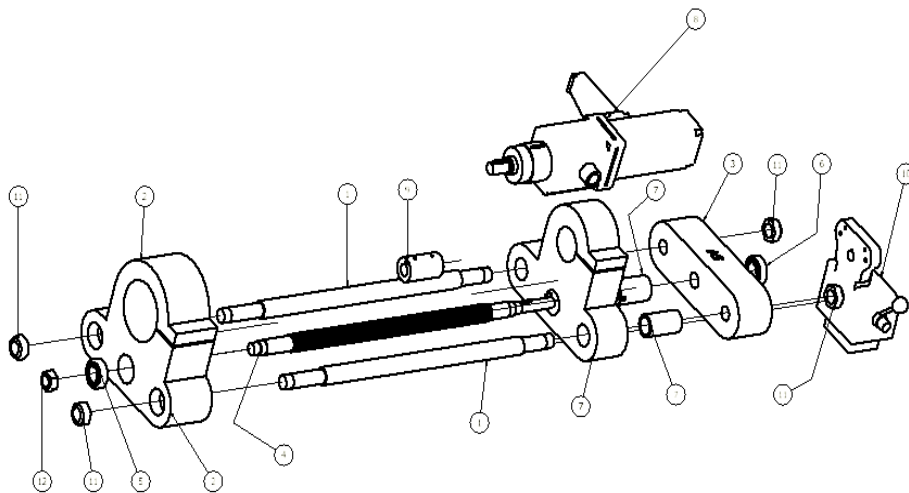
- **Barras de desplazamiento.** Ejes laterales que sirven como soporte de la máquina comparando con un torno se define como la bancada, son las guías sobre las cuales se va a desplazar el cabezal.
- **Soportes.** Se dividen en tres, anclaje de la máquina, soporte del taladro, soporte del motor de avance.

Soporte anclaje de la máquina: su función principal es servir de anclaje de la máquina en el sitio donde se va a mecanizar. Servir de soporte en un extremo de los tres ejes.

Soporte del taladro: también llamado cabezal, en donde se encuentra alojado el taladro cuya función es dar movimiento a la barra de alesar

Soporte del motor de avance: su función es servir de anclaje a un extremo de los tres ejes, además soporta el motor de avance que le da el movimiento al tornillo de avance.

Figura 8. Despiece de la máquina



Fuente: autores

2.3.3 Planos de ensamble y de taller.

- **Elaboración de planos.** Basado en el diseño (cálculos, selección de elementos comerciales) se procede a realizar los planos por medio del software (inventor) en donde se dibujan cada una de las partes de máquina.

Se realiza un plano descriptivo de cada pieza especificando sus respectivos ajustes, se enuncia cada operación de mecanizado con el cual se desea hacer, con los planos de el tornillo de avance, de las barras de desplazamiento, planos de los 3 soportes, acople, etc.

Se enuncia los elementos comerciales como rodamientos, tuercas, etc. Cada una con sus características, de esta manera será más fácil la fabricación de cada parte.

- **Planos eléctricos.** Para realizar los planos eléctricos se tuvo en cuenta principalmente, que existe un motor bifásico y un monofásico, para ello se utilizan dos fases y neutro, luego de esto se ubican la protección termomagnética, y posteriormente se ubican dos interruptores normalmente cerrados (NC) anclados uno al otro con el mismo nombre (PE), simulando el botón de parada de emergencia, así interrumpimos continuidad en las dos fases a utilizar y el sistema se detendrá.

Enseguida se conectan los dos motores, el motor bifásico a las dos fases y el motor monofásico a una fase y neutro, cada motor con un interruptor normalmente abierto (NA) para activarlo.

2.4 PROTOTIPOS Y PRUEBAS

2.4.1 Prototipos virtuales. Se diseñaron las piezas, se realizó el ensamble y simulación de la máquina, en donde se demostró que al estar aplicadas las cargas sobre la estructura, se comporta el material en la zona elástica y no pierde sus propiedades, por lo tanto el diseño que se plateó es adecuado y funcional.

2.5 DISEÑO DEFINITIVO

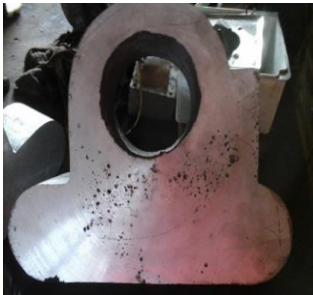
2.5.1 Planos definitivos. Se realizaron los planos definitivos con normas, explosiones y ensambles, como se puede observar en el anexo D

2.5.2 Construcción de la máquina.

- **Fundición.** Para realizar la fundición de las piezas se realiza una tabla 6 en donde se explican cada uno de los pasos que la contiene

Tabla 6. Fundición de los soportes

	Descripción	Imágenes
1.	El primer paso en la fundición fue realizar un molde en icopor como se muestra en la Figura 9. De cada una de las piezas de la máquina, tomando como base los planos realizados en la etapa de diseño.	Figura 9. Molde en icopor  Fuente: autores
2.	Una vez realizado el molde en icopor se coloca en arena dando la forma que se necesita de cada una de las piezas, se conoce como molde en arena.	Figura 10. Molde en arena  Fuente: autores

	Descripción	Imágenes
3.	El siguiente paso es depositar el aluminio fundido en el molde de arena, se deja secar y luego se retira la pieza fundida. Debido a algunas imperfecciones e inconsistencias en el momento de la fundición. Se realizan reconstrucciones con soldadura de electrodo revestido para dar un mejor acabado a los soportes en el momento de mecanizar.	Figura 11. Soportes fundidos  Fuente: autores
		Figura 12. Soporte de anclaje  Fuente: autores
		Figura 13. Soporte motor de avance  Fuente: autores

	Descripción	Imágenes
		Figura 14. Soporte  Fuente: autores

Fuente: autores

- **Mecanizado.** Para explicar cada una de las etapas del mecanizado se realizó un cuadro donde se describen cada una de ellas, como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7. Mecanizado de cada una de las partes de la máquina

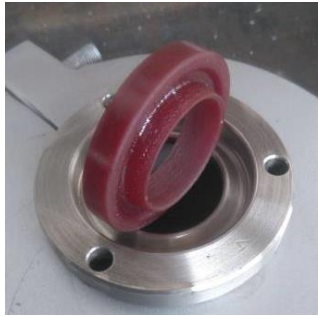
	Descripción	Imágenes
1.	Teniendo los soportes fundidos y con medidas aproximada, se da inicio al mecanizado. Debido a que son piezas con medidas precisas entre ejes, se determina realizar el mecanizado de los tres soportes con un centro de mecanizado horizontal CNC, el cual cumple con las tolerancias exigidas en las medidas. Culminado el proceso de mecanizado se realiza la verificación de las respectivas medidas y tolerancias de manera que coincidan con los planos.	Figura 15. Soporte de anclaje  Fuente: autores

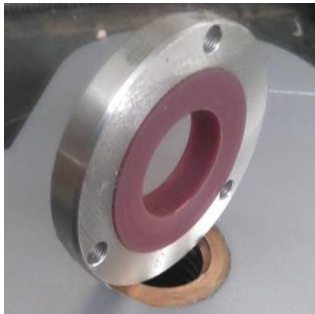
	Descripción	Imágenes
		Figura 16. Soporte motor de avance  Fuente: autores
		Figura 17. Soporte móvil  Fuente: autores
2.	Se realizan perforaciones con un taladro radial, con el fin de realizar un roscado con machuelos y poder fijar los pernos, los cuales sirven para realizar la fijación de cabezal móvil y anclar la máquina.	Figura 18. Perforación  Fuente: autores

	Descripción	Imágenes
		Figura 19. Roscado  Fuente: autores
3.	Lo último que se realizó, fue un corte al soporte del cabezal móvil, el cual permite que el mismo tenga un ajuste en el cabezal y en el anclaje de la máquina	Figura 20.corte soporte móvil  Fuente: autores
		Figura 21. Corte soporte de anclaje  Fuente: autores

	Descripción	Imágenes
4.	Terminado el mecanizado de los soportes se inicia el mecanizado de las barras de desplazamiento. Según los planos de diseño se emplean operaciones de cilindrado, refrentado y roscado para la fabricación. Se alinea el material por medio de un comparador de caracteres para brindar una mejor centricidad en las operaciones. Finalizado el mecanizado se verifican medidas y tolerancias con los planos.	Figura 22. Cilindrado  Fuente: autores
		Figura 23. Refrentado  Fuente: autores
		Figura 24. Comparador de caracteres  Fuente: autores

	Descripción	Imágenes
5.	La siguiente etapa fue mecanizar el tornillo de avance de acuerdo a los planos y cálculos de diseño. Se determina fabricar un tornillo de rosca cuadrada con un diámetro de 31.75 mm, paso de 3 mm en material 1040. Las operaciones empleadas para la fabricación del tornillo son cilindrado, refrentado, ranurado y roscado. Terminadas las operaciones, se verifican medidas y tolerancias de acuerdo a los planos del diseño.	Figura 25. Roscado cuadrado  Fuente: autores
		Figura 26. Roscado triangular  Fuente: autores
6.	Se mecaniza la tuerca del tornillo de desplazamiento de acuerdo a los planos de diseño, la cual está ubicada en el soporte móvil, y definida por las mismas especificaciones del tornillo de avance. Con respecto al paso de la rosca, y tipo de rosca, se verifican medidas de acuerdo a los planos de diseño.	Figura 27. Tuerca cuadrada  Fuente: autores

	Descripción	Imágenes
7.	Se mecanizan los bujes de desgaste de acuerdo a los planos. Están ubicados en el soporte móvil y se trasladan por las barras de desplazamiento, estos bujes están diseñados en bronce SAE 65, material que brinda una resistencia a la fricción. Se realizan mediante operaciones de cilindrado, refrentado, alesado, y roscado. Para una mejor optimización del diseño se realiza un sistema de lubricación al buje para distribuir el lubricante.	Figura 28. Buje  Fuente: autores
8.	El sistema de lubricación del soporte móvil se diseñó para el cuidado de las barras de desplazamiento. Es un sistema de sellos que limpian y lubrican las barra de desplazamiento para mejorar la traslación del soporte móvil sobre las barras y disminuir los esfuerzos del motor de avance.	Figura 29. Tapa de sello  Fuente: autores Figura 30. Sello  Fuente: autores

	Descripción	Imágenes
		Figura 31. ensamble tapa- sello  Fuente: autores
		Figura 32. Ensamble de sello-soporte  Fuente: autores

Fuente: autores

- **Ensamble.** Para el ensamble de la máquina se realizó un cuadro con las etapas y su descripción, como se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8. Pasos para el ensamble de la máquina

	Descripción	Imágenes
1.	Se realiza el montaje de las barras de desplazamiento, se les da un torque para ajustarlas a los soportes, luego se instalan los bujes al soporte móvil con sus respectivas tolerancias y ajustes que se diseñaron para el sistema mecánico. Se instala la tuerca del tornillo desplazamiento en el soporte móvil.	Figura 33. Ensamble buje  Fuente: autores
		Figura 34.ensamble tuerca  Fuente: autores
		Figura 35. Ensamble soporte móvil  Fuente: autores

	Descripción	Imágenes
2.	En ese mismo orden de ideas, se ensamblan los rodamientos de contacto angular de acuerdo a lo establecido en el diseño con diámetros y cargas del tornillo, se ajusta los rodamientos se gira el eje para verificar el ajuste.	Figura 36. Ensamble rodamiento-soporte motor de avance  Fuente: autores
		Figura 37. Ensamble rodamiento-soporte de anclaje  Fuente: autores
		Figura 38. Ensamble barras de desplazamiento  Fuente: autores

	Descripción	Imágenes
		Figura 39.ensamble soporte motor de avance  Fuente: autores
3.	Se realiza el ensamble del cabezal móvil al sistema mecánico. Su anclaje es por medio de una abertura que tiene el soporte y es ajustado por medio de pernos, este ajuste es proporcional con el cabezal móvil ya que se puede ajustar el eje del cabezal móvil.	Figura 40. Ensamble cabezal móvil  Fuente: autores

Fuente: autores

2.6 COMUNICACIÓN

2.6.1 Memorias de cálculos

- **Tornillo de avance.** En este paso lo que se hizo fue calcular el paso del tornillo por medio de dos procedimientos, uno calculando el avance de acuerdo al material más duro a mecanizar y el otro por medio de las tablas y propiedades para seleccionar el tipo de rosca.

- **Paso del tornillo de acuerdo al material a mecanizar.** Para calcular el paso del tornillo de acuerdo al material más duro a mecanizar, se selecciona el material, por tablas se buscan los avances y velocidades de cortes para ese material, de esta forma se determina el paso.

- **Paso del tornillo de acuerdo a tornillos de potencia.** Con las tablas de diseño para seleccionar el tipo de rosca, lo primero que se debe buscar es la sección de tornillos de potencia, ahí se encuentra para la rosca ACME, de acuerdo al diámetro del eje se selecciona los hilos por pulgada y por consiguiente el paso de la rosca, así mismo también se calcula la eficiencia de ese tornillo, hallando los esfuerzos teniendo en cuenta la fricción y sin tenerla en cuenta.

- **Factor de seguridad.** Se selecciona por medio de tablas de acuerdo a la confiabilidad que uno tiene acerca del diseño

- **Diámetro del tornillo de avance.** Se realiza una comparación entre dos tipos de materiales, por medio de las tablas de los usos tipos de los aceros se calcula el diámetro del eje y se elige el más apropiado

- **El cálculo de los esfuerzos sobre el tornillo de avance.** Son tres, el esfuerzo cortante torsional, la deformación causada por la torsión, y el esfuerzo real máximo causado por concentradores de esfuerzo, en donde se tiene en cuenta los torques el momento polar de inercia entre otros.

- **Cálculo de la cuña.** Lo primero que se hace es seleccionar el tipo de material, una vez seleccionado, por medio de tablas y con el diámetro del eje se escoge la sección transversal de la cuña, posteriormente se calcula la longitud por medio de esfuerzo cortante y de compresión o aplastamiento, para finalmente seleccionar la longitud adecuada.

- **Cálculos del sistema eléctrico.** Calculo de la protección termo-magnética. Se necesita conocer la corriente del circuito, para esto se calcula la corriente nominal y posteriormente la corriente pico de arranque para cada motor. Una vez calculada la corriente pico de arranque de los dos motores se suman y se obtiene la corriente del circuito, con esta corriente se seleccionan el interruptor termo-magnético de protección.

- **Para calcular el calibre del conductor**, se dirige a la tabla AWG para calibres y con la corriente del circuito se selecciona el calibre más apropiado.
- **Conexión eléctrica.** Una vez se tienen todos los componentes eléctricos se procede a realizar las conexiones eléctricas, tomando como guía los planos eléctricos y realizando las mismas ordenadamente y con las normas de seguridad adecuadas.
- **Verificación de funcionamiento de sistemas.** Se instala la alesadora portátil al soporte y es ajustada por los tornillos, los que brindan el ajuste necesario para asegurar la alesadora, se ubica el cabezal móvil en el soporte de móvil donde se ajusta por unos tornillos, los cuales tienen el ajuste necesario para que el cabezal no se mueva, se inicia el funcionamiento del cabezal móvil y muestra que en las velocidades bajas, medias y altas su comportamiento es igual su corriente no presenta variación alguna, para la verificación del sistema de desplazamiento en las barras. Es necesario hacerlo primero manual, con el fin de darle el ajuste deseado, luego se realiza con el motor de avance automático y se mide la cantidad de corriente que tiene el motor de avance.

3. ANÁLISIS Y RESULTADOS

3.1 CALCULO DEL PASO DE LA ROSCA DEL TORNILLO DE AVANCE

Para determinar el paso de la rosca del tornillo de avance lo primero que se debe conocer es los materiales que se van a mecanizar, de esta forma se elige el material más duro, se buscan sus propiedades, se definen avances necesarios para mecanizar velocidades de corte y profundidad de corte, con estas características y en especial con el avance se determina el paso de la rosca.

3.1.1 Material más duro a mecanizar. El material más duro que se puede llegar a mecanizar es un acero AISI 4140 OQT 400, se verifican sus propiedades, mediante las tablas de propiedades de los aceros²⁹.

3.1.2 Calculo de avances y velocidad de corte. El avance y la velocidad de corte se seleccionan por tabla, según el material que se va a mecanizar y la herramienta que se va a utilizar, para este caso se va a mecanizar un acero AISI/SAE 1040 con una herramienta de carburo de tungsteno

3.1.3 Selección del tipo de rosca

- **Selección del tipo de rosca de acuerdo al material más duro a mecanizar.** De acuerdo al anexo 1. Con el acero AISI 4140 se obtiene que la velocidad de corte= 70 m/min y un avance=0,3 mm/Rev.

El motor de avance tiene un rango de velocidades entre 4 y 160 rpm, por lo tanto se eligen 6 rpm para que quede 5 y 4 rpm opcionales, con el fin de tomar avances diferentes para otros materiales más duros.

$$\frac{0,3 \text{ mm. rev}}{6 \text{ rev. min}} = 0,05 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$$

Por lo anterior se decidió tomar una rosca de paso 0,05 mm

²⁹ MOTT, Robert L. Diseño de elementos de máquinas. Cuarta edición. Pearson. Apéndice 3.

- **Selección del tipo de rosca de acuerdo a las tablas de diseño.** Otra forma de calcular el paso del tornillo de avance, es de acuerdo al diámetro del eje, se selecciona el paso por tabla, en el capítulo de tornillos de potencia y la sección diámetros preferidos para roscas ACME³⁰.

Como el diámetro del tornillo de avance es 1 1/4 in se obtienen los siguientes datos:

n=5 roscas por pulgada
 $p=0,2=L$
 $D_r=0,9998 \text{ in}$
 $D_p=1,1210 \text{ in}$
 $A_t=0,8831 \text{ in}^2$
 $A_s=1,952 \text{ in}^2$

Por otro lado la carga y el coeficiente de fricción son:

$F=186,2 \text{ N}=41,9 \text{ Lb}$
 $f=0,15$

Para hallar la eficiencia del tornillo de potencia, lo primero que se calculó fue el par torsional necesario para mover la carga.

Reemplazando en (7)

$$T_U = \frac{(41,9)(1,1210)}{2} \left[\frac{0,2 + \pi(0,15)(1,1210)}{\pi(1,1210) - (0,15)(0,2)} \right] = 4,9 \text{ Lb.in}$$

Una vez calculado el par torsional, se calculó el par torsional pero sin fricción.

Reemplazando en (8)

$$T_r = \frac{(41,9)(0,2)}{2\pi} = 1,334 \text{ Lb.in}$$

³⁰ Ibid. 699 p.

Finalmente se calcula la eficiencia del tornillo así:

Reemplazando en (9)

$$e = 1, \frac{334}{4}, 9 = 0,272 \rightarrow 27 \%$$

3.2 CALCULO DEL DIÁMETRO DEL TORNILLO DE AVANCE

3.2.1 Selección del factor de seguridad. Para calcular el diámetro del eje es necesario conocer y seleccionar el factor de diseño.

En el capítulo Factor de diseño³¹. Se selecciona un factor de diseño N=2.5, debido a que el diseño de los elementos de máquina bajo cargas dinámicas con una confianza promedio en todos los datos.

3.2.2 Calculo del diámetro del tornillo de avance. Para calcular el diámetro del eje se utilizan dos materiales, se compara y se selecciona el más indicado.

- Para seleccionar el primer material se dirige a la tabla de usos tipos de las aleaciones de acero³². Se selecciona un material acero AISI/SAE 1040, debido a que es un material comúnmente utilizado para fabricar ejes o flechas

Mediante las tablas de propiedades de los aceros³³, se determina que $S_y=87000\text{PSI}$, de acuerdo al motor de avance el par torsional es de $T=670 \text{ lb.in}$, utilizando (1) y los datos anteriores, se procede a calcular el diámetro del eje.

Reemplazando en la ecuación (1)

$$D = \left[\frac{32 * 2.5}{\pi} \sqrt{\frac{3}{4} \left(\frac{670}{87000} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}} = 1.25 \text{ in}$$

³¹ Ibid. 185 p.

³² MOTT, Robert L. Resistencia de materiales. Quinta edición. Pearson. 2009. 72 p.

³³ Op. Cit. Diseño de elementos de máquinas.

Finalmente se obtiene un diámetro **D=1.25 in** con un material acero AISI/SAE 1040 OQT 400

En donde OQT 400, quiere decir que debe tener un tratamiento térmico de templado, una vez en aceite a una temperatura de 400 °F

- El segundo material que se selecciona mediante las tablas de usos tipos de las aleaciones de acero. Es un acero AISI/SAE 1137 debido a que también es un material para fabricar ejes y partes de máquinas y en particular para fabricar tornillos, debido a que este eje es un tornillo.

Mediante las tablas de propiedades de los aceros. Se determina que $S_y=82000\text{PSI}$, de acuerdo al motor de avance el par torsional es de $T=670\text{ lb.in}$, utilizando (1) y los datos anteriores se procede a calcular el diámetro del eje.

Reemplazando en la ecuación (1)

$$D = \left[\frac{32 * 2}{\pi} \sqrt{\frac{3}{4} \left(\frac{670}{82000} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}} = 1.28 \text{ in}$$

Finalmente se obtiene un diámetro **D=1.26 in** con un material acero AISI/SAE 1137 estirado en frío.

Tabla 9. Comparación entre materiales de los ejes

Material	S_y	Diámetro
AISI/SAE 1040 OQT 400	87000PSI	1.25 in
AISI/SAE 1137 estirado en frío	82000PSI	D=1.26 in

Fuente: autores

Se selecciona un material para el tornillo de avance en ACERO AISI/SAE 1040 debido a que este material es comercial y más usado que el 1137, no por esta razón el diámetro del eje es 1,25 in

3.3 CALCULO DE ESFUERZOS SOBRE EL TORNILLO DE AVANCE

Para el tornillo de avance se deben tener en cuenta tres principales factores: el esfuerzo cortante torsional, la deformación por torsión y el esfuerzo real máximo causado por concentradores de esfuerzo.

3.3.1 Esfuerzo cortante torsional máximo. Para calcular es esfuerzo cortante torsional, máximo se debe tener en cuenta el par de torsión que está actuando sobre el eje, así mismo el radio y el momento polar de inercia.

$$\begin{aligned} T &= 670 \text{ Lb.in} \\ C &= 0,625 \text{ in} \end{aligned}$$

Para calcular el momento polar de inercia en las tablas de propiedades de las áreas³⁴, se obtiene que:

$$J = \frac{\pi D^4}{32} = \frac{\pi 1,25^4}{32} = 0,24 \text{ in}^4$$

Reemplazando en (10)

$$\tau_{\max} = \frac{(670 \text{ Lb.in})(0,625 \text{ in})}{0,24 \text{ in}^4} = 1744,8 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2}$$

3.3.2 Deformación por torsión. Para calcular el ángulo de torsión se tienen en cuenta los siguientes datos:

$$\begin{aligned} L &= 30,71 \text{ in} \\ T &= 670 \text{ Lb.in} \end{aligned}$$

³⁴ Ibid. Apéndice 1. 2004

$$J = 0,24 \text{ in}^4$$

Para obtener el módulo de elasticidad del material se debe ir a las módulos de elasticidad y relaciones de Poisson³⁵.

$$G = 30000 \text{ KSI}$$

Con estos datos se reemplaza en (11)

$$\theta = \frac{(670)(30,71)}{(30 \times 10^6)(0,24)} = 0,00286 \text{ rad}$$

$$\theta = 0,00286 \text{ rad} * \frac{180 \text{ grados}}{\pi \text{ rad}} = 016 \text{ grados}$$

3.3.3 Esfuerzo real máximo causado por concentradores de esfuerzos. Para saber el valor del coeficiente de concentradores de esfuerzos se debe dirigir a la tabla de concentradores de esfuerzos.

La relación D/d =1,01

Según las tablas de Factores de concentración de esfuerzos³⁶

$$K_t=1.5 \text{ Y } \sigma_{\text{nom}} = \frac{F}{A} = \frac{F}{\frac{\pi}{4}([D])^2} = \frac{41,9 \text{ Lb}}{\frac{\pi}{4}([1,25])^2} = 34,14 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2}$$

Con estos valores reemplazando en (12)

$$\sigma_{\text{max}} = (1,5) (34,14 \text{ Lb/in}^2) = 51,21 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2}$$

³⁵ GERE, James M. Mecánica de materiales. Séptima edición. Cengage. Apéndice H.

³⁶ Op. Cit. Diseño de elementos de máquinas. Apéndice 15. 2004

3.4 CALCULO DE CUÑA

Para calcular la longitud de la cuña, lo primero que se debe conocer es el diámetro del eje, la cuña va a estar ubicada en el acople del eje del taladro a la barra de alesar, por lo tanto el diámetro del eje en donde va estar alojada la cuña es de $D=7/8$ in. Se selecciona el ancho de la cuña de acuerdo al diámetro del eje.

En las tablas de tamaño de la cuña en función del diámetro del eje³⁷, se observa que el diámetro del eje es $7/8$ el ancho de la cuña es $W=1/4$ in. Existen dos formas de calcular la cuña, por esfuerzo cortante y por compresión, después se comparan los resultados y se escoge la longitud de la cuña más apropiada.

Selección del material de la cuña.

EL material del eje donde va a estar alojada la cuña es acero AISI SAE 1040 como se necesita que la cuña se comporte como fusible mecánico para cuando exista una falla en la máquina, falle la cuña en lugar del eje, en este caso es más económico reemplazar la cuña que el eje, por lo tanto se debe seleccionar un material de menor resistencia y el más apropiado es acero AISI SAE 1020 CD, lo que significa que en llegado caso, la cuña va a fallar protegiendo al eje.

Mediante las tablas de Propiedades de los aceros³⁸. Se determina que la resistencia a la fluencia del material es $S_y= 55000$ psi

3.4.1 Cálculo de la cuña por esfuerzo cortante. Para calcular la longitud de la cuña por esfuerzo cortante es necesario calcular la fuerza cortante como se muestra a continuación.

Reemplazando en la ecuación (4)

$$F = \frac{708,1 \text{ Lb.in}}{0.4375 \text{ in}} = 1618,5 \text{ lb}$$

³⁷ BUDYNAS–NISBETT. Shigley's mechanical engineering design. McGraw Hill. 2006. 379 p.

³⁸ Op. Cit. Diseño de elementos de máquinas. Apéndice 3

El material que se selecciona para la cuña es acero AISI 1020 laminado en caliente por lo tanto el $S_y = 55000$ psi.

Reemplazando en (5)

$$S_{sy} = (0,577) (55) = 30,6 \text{ Kpsi}$$

Reemplazando en la ecuación (3)

$$L = \frac{(1618,5)(2,5)}{\left(\frac{1}{4}\right)(30,6 \times 10^3)} = 0,53 \text{ in}$$

3.4.2 Cálculo de la cuña por compresión. Para calcular la longitud de la cuña por compresión o de aplastamiento, se calcula el esfuerzo por compresión como se muestra a continuación, se reemplaza en (6) para saber la longitud de la cuña y se selecciona la longitud adecuada.

Cuña cuadrada de $\frac{1}{4}$ de sección transversal, con una longitud de 1,06 in, con un material acero AISI/SAE 1020 CD (estirado en frío).

3.5 CALCULO DEL DIÁMETRO DE LAS BARRAS DE DESPLAZAMIENTO

Para calcular el diámetro del eje se utilizan dos materiales, se compara y se selecciona el más indicado.

3.5.1 Primer material. Para seleccionar el primer material se dirige a la tabla de usos tipos de las aleaciones de acero³⁹. Se selecciona un material acero AISI/SAE 1040, teniendo en cuenta que es un material comúnmente utilizado para fabricar ejes o flechas

Mediante las tablas de propiedades de los aceros⁴⁰, se determina que $S_y = 87000$ PSI. De acuerdo a la geometría de la máquina y a la disposición de las barras de desplazamiento, se asume que tanto el par torsional del motor de

³⁹ Op. Cit. Resistencia de materiales.

⁴⁰ Op. Cit. Diseño de elementos de máquinas.

avance como el del taladro o cabezal afecta directamente en el comportamiento de las barras de alesar.

El acuerdo al motor de avance tiene un par torsional es de $T_1=510 \text{ lb.in}$, el taladro tiene un par torsional de $T_2=708,1 \text{ lb.in}$, como son 2 las barras de alesar; el taladro y el motor de avance se encuentran a la misma distancia de las dos barras, se planteó lo siguiente:

$$T = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{670 + 708,1}{2} = 689,05 \text{ Lb.in}$$

Utilizando (1) y los datos anteriores se procede a calcular el diámetro del eje.

Reemplazando en la ecuación (1)

$$D = \left[\frac{32 * 2.5}{\pi} \sqrt{\frac{3}{4} \left(689, \frac{05}{87000} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}} = 1.25 \text{ in}$$

Finalmente se obtiene un diámetro $D=1,25 \text{ in}$ con un material acero AISI/SAE 1040 OQT 400

En donde OQT 400, quiere decir que debe tener un tratamiento térmico de templado una vez en aceite a una temperatura de 400°F

3.5.2 Segundo material. El segundo material que se selecciona de acuerdo tabla de usos tipos de las aleaciones de acero⁴¹, es un acero AISI/SAE 1144 debido a que también es una material para fabricar ejes y partes maquinadas

Mediante las tablas de propiedades de los aceros⁴², se determina que $S_y=91000\text{PSI}$, de acuerdo al motor de avance el par torsional es de

⁴¹ Op. Cit. Resistencia de materiales. 72 p.

⁴² Op. Cit. Diseño de elementos de máquinas.

$T=689,05 \text{ lb.in}$, utilizando (1) y los datos anteriores se procede a calcular el diámetro del eje.

Reemplazando en la ecuación (1)

$$D = \left[\frac{32 * 2}{\pi} \sqrt{\frac{3}{4} \left(\frac{689,05}{91000} \right)^2} \right]^{\frac{1}{3}} = 1.28 \text{ in}$$

Finalmente se obtiene un diámetro **D=1.24 in** con un material acero AISI/SAE 1137 estirado en frío.

Tabla 10. Comparación entre materiales de los ejes

Material	Sy	Diámetro
AISI/SAE 1040 OQT 400	87000PSI	1.25 in
AISI/SAE 1144 OQT 400	91000PSI	1.24 in

Fuente: autores

Se selecciona un material para el tornillo de avance es un ACERO AISI/SAE 1040 debido a que este si es un material comercialmente utilizado y el 1144 no, por esta razón el diámetro del eje es 1,25 in

3.6 CALCULO DE ESFUERZOS SOBRE LA BARRA DE DESPLAZAMIENTO

Para el tornillo de avance se deben tener en cuenta tres principales factores el esfuerzo cortante torsional, la deformación por torsión y el esfuerzo real máximo causado por concentradores de esfuerzo.

3.6.1 Esfuerzo cortante torsional máximo. Para calcular es esfuerzo cortante torsional máximo, se debe tener en cuenta el par de torsión que está actuando sobre el eje, así mismo el radio y el momento polar de inercia.

$$T = 689,05 \text{ Lb.in}$$

$$C = 0,625 \text{ in}$$

Para calcular el momento polar de inercia en las tablas de propiedades de las áreas⁴³. Se obtiene que:

$$J = \frac{\pi D^4}{32} = \frac{\pi 1,25^4}{32} = 0,24 \text{ in}^4$$

Reemplazando en (10)

$$\tau_{\max} = \frac{(689,05 \text{ Lb. in})(0,625 \text{ in})}{0,24 \text{ in}^4} = 1794,4 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2}$$

3.6.2 Deformación por torsión. Para calcular el ángulo de torsión se tiene en cuenta los siguientes datos:

$$\begin{aligned} L &= 30,71 \text{ in} \\ T &= 689,05 \text{ Lb. in} \\ J &= 0,24 \text{ in}^4 \\ G &= 11108,16 \text{ KSI} \end{aligned}$$

Con estos datos se reemplaza en (11)

$$\theta = \frac{(689,05)(30,71)}{(11,108 \times 10^6)(0,24)} = 0,008 \text{ rad}$$

$$\theta = 0,008 \text{ rad} * \frac{180 \text{ grados}}{\pi \text{ rad}} = 0,46 \text{ grados}$$

⁴³ Ibíd. Apéndice 1.

3.6.3 Esfuerzo real máximo causado por concentradores de esfuerzos. Para saber el valor del coeficiente de concentradores de esfuerzos se debe dirigir a la tabla de concentradores de esfuerzos.

La relación $D/d = 1.25/1.02 =$

Según las tablas de Factores de concentración de esfuerzos⁴⁴

$$K_t = 2.2 \text{ Y } \sigma_{nom} = \frac{F}{A} = \frac{F}{\frac{\pi}{4}([D])^2} = \frac{41,9 \text{ Lb}}{\frac{\pi}{4}([1,25])^2} = 34,14 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2}$$

Con estos valores reemplazando en (12)

$$\sigma_{max} = (2.2) (34,14 \text{ Lb/in}^2) = 75,108 \frac{\text{Lb}}{\text{in}^2}$$

3.6.4 Corriente nominal. Del catálogo del taladro Bosch se obtiene los siguientes datos.

Potencia absorbida= $P_{in} = 1500 \text{ w}$

$V_L = 220 \text{ V}$

$F_p = 0,5$

Reemplazando en (13) se obtiene:

$$I_n = \frac{1500}{\sqrt{2(220)(0,5)}}$$

3.6.5 Corriente pico de arranque del taladro. Con los datos obtenidos en el numeral anterior se reemplaza en (14)

$$\begin{aligned} I_{pa} &= 7,5A * 1,5 \\ I_{pa} &= 11.2A \end{aligned}$$

⁴⁴ Ibid. Apéndice 15.

3.6.6 Corriente pico de arranque del motor de avance. Del catálogo de Vertex del motor de avance se obtiene que la corriente nominal es:

$$I_n = 2 \text{ A}$$

Reemplazando en (14)

$$I_{pa} = 2 \text{ A} * 1,5$$

$$I_{pa} = 3 \text{ A.}$$

3.6.7 Corriente del circuito. Para calcular la corriente del circuito se suman las corrientes picos de arranque, tanto del taladro como del motor de avance, por lo tanto:

$$I_c = 3 \text{ A} + 11,2 \text{ A} = 14,2 \text{ A}$$

3.6.8 Protección de circuito. Debido a que la corriente del circuito es de 14,2 A se selecciona un interruptor termo-magnético de protección comercialmente de 15 A

3.6.9 Calibre del conductor. Debido a que el circuito tiene una corriente de 15 A se dirige a la tabla AWG de calibres según esto:

Calibre del conductor =14

3.7 SIMULACIÓN ESTÁTICA

En la tabla 11, se muestra un resumen de los resultados obtenidos con el análisis de tensión en inventor.

Tabla 11. Simulación estática

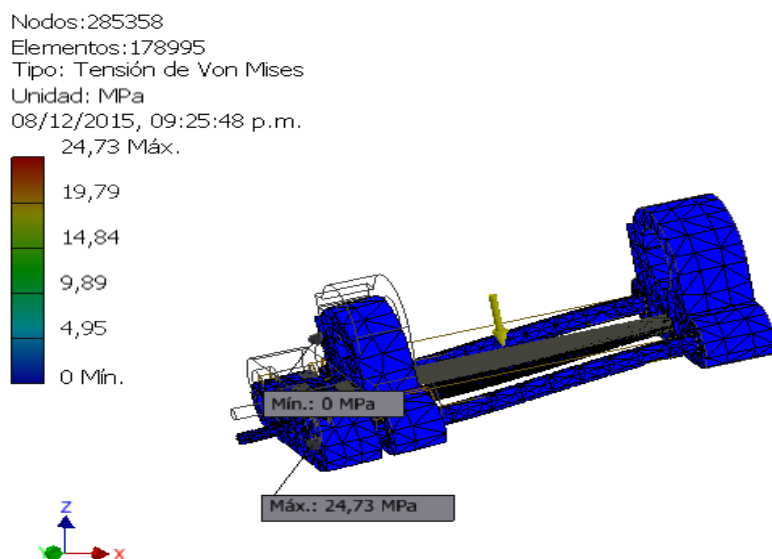
	Valor	Unidades
MASA	32,7373	Kg
CENTRO DE GRAVEDAD	X=-222,029 Y=-236,553 Z=-10,2735	mm mm mm

	Valor	Unidades
FUERZA	186,2	N
TENSIÓN DE VON MISES	24,7347	Mpa
PRIMERA TENSION PRINCIPAL	30,1473	Mpa
TERCERA TENSION PRINCIPAL	5,54225	Mpa
DESPLAZAMIENTO	0,0515636	mm
Coeficiente de seguridad	8,36882	mm
Deformación	0,000103812	
Desplazamiento en X	0,0153907	mm
Desplazamiento en Y	0,0126669	mm
Desplazamiento en Z	0,0000384656	mm

Fuente: análisis de tensión en inventor⁴⁵

3.7.1 Tensión de Von Mises. En la figura 41 se observa la tensión de Von Mises, que es una relación de los 3 esfuerzos o tensiones principales con valores como, primera tensión principal de 30,1473 Mpa, tercera tensión principal de 5,54225 Mpa, como resultado de estas tensiones principales resulta un relación llamada tensión de Von Mises de 24, 73 Mpa.

Figura 41. Tensión de Von Mises



Fuente: informe de análisis de tensión

⁴⁵

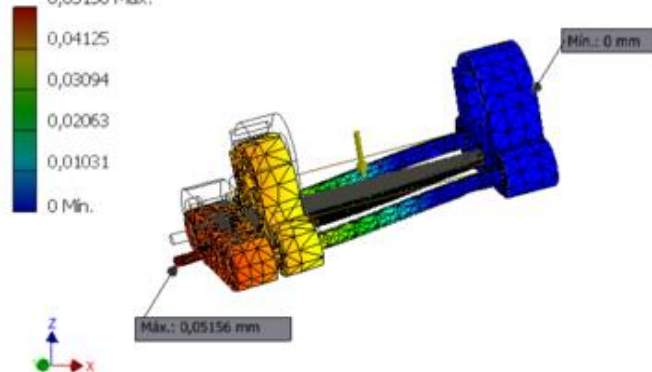
<http://D:/Documents/TESIS/alesadora/carpeta%20de%20tesis/Ensamblaje1%20Informe%20de%20an%C3%A1lisis%20de%20tensi%C3%B3n%2008_12_2015.html>

3.7.2 Desplazamiento. En la figura 42 se observa el desplazamiento que se presenta al aplicar una fuerza o carga de 186,2 N, muestra un desplazamiento máximo de 0,05156 mm, esto quiere decir, que se va a tener bajas vibraciones y precisión de centésimas de milímetro en el mecanizado.

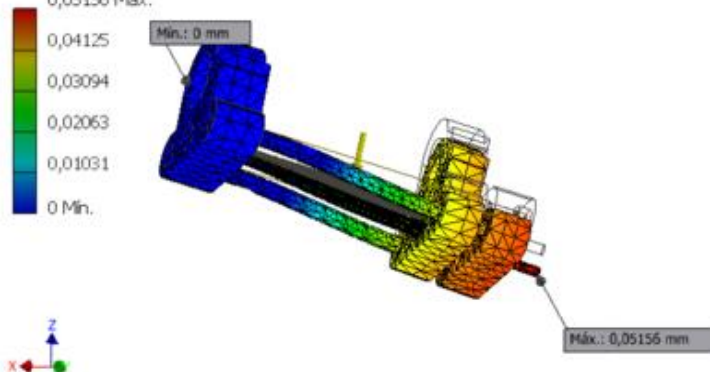
Figura 42. Desplazamiento de la estructura con la carga aplicada

Desplazamiento

Nodos: 285358
Elementos: 178995
Tipo: Desplazamiento
Unidad: mm
08/12/2015, 09:25:57 p.m.
0,05156 Máx.



Nodos: 285358
Elementos: 178995
Tipo: Desplazamiento
Unidad: mm
08/12/2015, 09:25:57 p.m.
0,05156 Máx.



Fuente: informe de análisis de tensión

3.7.3 Deformación equivalente. En la figura 43 se observa la deformación equivalente como resultado de un esfuerzo aplicado, en la siguiente ecuación se observa la deformación.

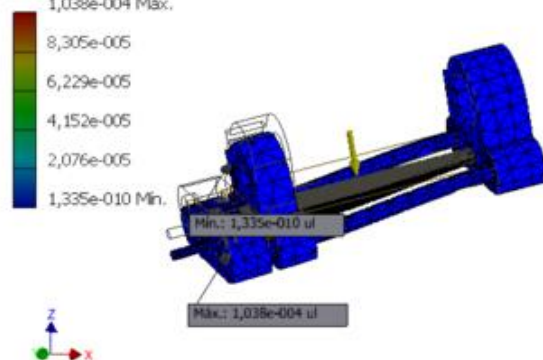
$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$$

Teniendo el esfuerzo o tensión aplicada y el módulo de Young se determina la deformación que tiene el material, lo adecuado es permanecer en la zona elástica lineal del material y evitar grandes deformaciones para no pasar a la zona plástica, en este caso la deformación es igual a 0,000103812.

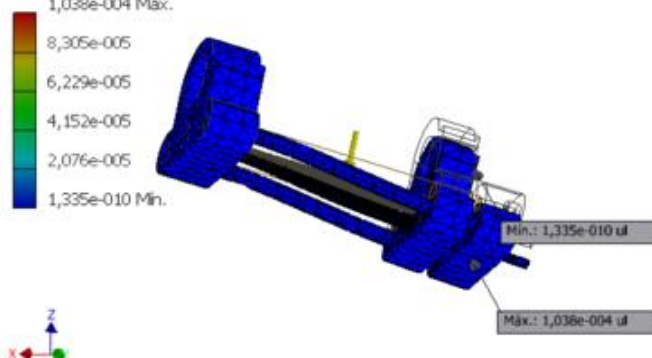
Figura 43. Deformación equivalente de la estructura al aplicar la carga

Deformación equivalente

Nodos: 285358
Elementos: 178995
Tipo: Deformación equivalente
Unidad: ul
08/12/2015, 09:26:01 p.m.
1,038e-004 Máx.



Nodos: 285358
Elementos: 178995
Tipo: Deformación equivalente
Unidad: ul
08/12/2015, 09:26:01 p.m.
1,038e-004 Máx.



Fuente: informe de análisis de tensión

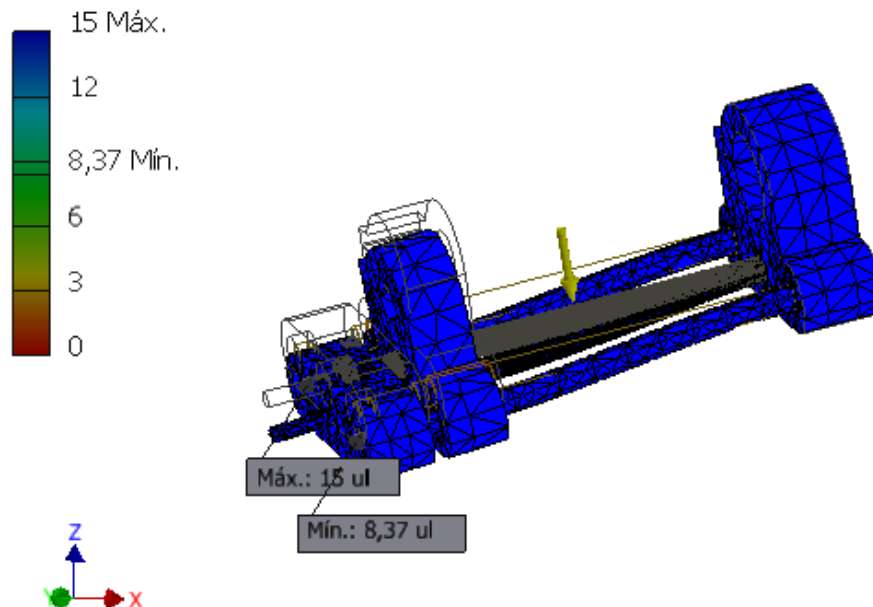
3.7.4 Coeficiente de seguridad. El coeficiente de seguridad es fundamental en el diseño de un equipo, debido a que es directamente proporcional a la resistencia a la fluencia del material, y la afecta la tensión de Von Mises.

$$\text{factor de seguridad} = \frac{S_y}{\text{tension de von mises}}$$

Generalmente el factor de seguridad que un diseñador desea tener es > 1 , en este caso es 8,37 esto quiere decir, que la tensión de Von Mises no logra disminuir la resistencia a la fluencia del material, el material no pierde sus propiedades, por lo tanto, permanece en la zona elástica, es decir el diseño se ajusta a los esfuerzos aplicados porque tiene pequeñas deformaciones, esto hace que sea un modelo confiable.

Figura 44. Coeficiente de seguridad

Nodos: 285358
 Elementos: 178995
 Tipo: Coeficiente de seguridad
 Unidad: ul
 08/12/2015, 09:25:57 p.m.



Fuente: informe de análisis de tensión

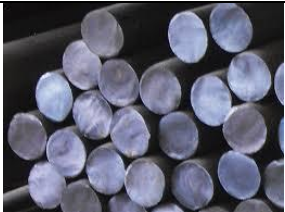
3.8 CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLE DE LA MÁQUINA

Tabla 12. Operaciones, costos y tiempos

Ítem	Descripción	Operación	Tiempo	Costo (pesos)
1	Fabricación de soportes	- Perforación - Alesado con broca escareadora - Roscado con machuelos	6 horas 10 horas 1 hora	210.000 500.000 30.000
2	Fabricación de tornillo de avance	Refrentado, cilindrado, roscado triangular y roscado cuadrado.	4 horas	200.000
3	Fabricación de barras de desplazamiento	Refrentado, cilindrado y roscado.	4 horas	200.000
4	Fabricación de bujes para soporte móvil	- Refrentado, cilindrado, alesado y tronizado - perforado	2 horas 1 hora	100.000 30.000
5	Fabricación de turca tornillo de avance	Refrentado, cilindrado, alesado, roscado interno cuadrado y trozado	2 horas	100.000
6	Tapas para sellos de soporte móvil	- Refrentado, cilindrado, alesado - perforación	2 horas 1 hora	100.000 30.000
7	Instalación del motor de avance y control de traslación	Perforación y roscado	1 hora	30.000
8	Instalación de rodamientos		1/ 2 hora	30.000

Fuente: autores

Tabla 13. Materiales utilizados para la fabricación de la máquina

+	Material	Imagen	Costo (pesos)
	Aluminio fundido		300.000
50 cm	Acero AISI-SAE 4140		75.000
150 cm	Acero AISI-SAE 1020		150.000
15 cm	Bronce SAE 65		80.000
7,5 cm	Bronce SAE 65		40.000
	rodamiento 7205B FAG		70.000

+	Material	Imagen	Costo (pesos)
1	Motor de Avance VPF 250X Vertex		880.000
1	Taladro Bosch GBM 32-4		3'200.000

Fuente: autores

Tabla 14. Herramientas utilizadas para la fabricación y ensamble de la máquina

	Herramienta	Imagen
1	Torno paralelo	
2	Fresadora	
3	Taladro de árbol	

	Herramienta	Imagen
4	Prensa hidráulica	
5	Torno CNC	
6	Centro de mecanizado	
7	Machuelo de 7/16 in	

Fuente: autores

4. CONCLUSIONES

Con el diseño y fabricación de la máquina alesadora es posible acceder a tecnologías más costosas y evitar los problemas de importación. El costo y el funcionamiento del equipo, hace que esta problemática reduzca.

Con la implementación de este equipo en la empresa CPL, se solucionan las problemáticas presentadas por la falta de una máquina que cumpla los requerimientos de seguridad y calidad en los mecanizados.

Con la aplicación de los conocimientos de diseño como cálculos, metodologías, Software, métodos de fabricación, entre otros, se elaboró un equipo funcional que brinda seguridad para el operario.

De acuerdo a los datos obtenidos en la simulación, se concluye que la máquina tiene un factor de seguridad alto, lo que garantiza que los materiales con los cuales está fabricada la máquina, no tiene la deformación suficiente como para pasar a la zona plástica, por esto se dice que la alesadora portátil es confiable.

Debido a que el desplazamiento que presenta la estructura es muy bajo, la precisión en el mecanizado, es de centésimas y se obtiene muy buena calidad en el acabado de la pieza.

Como resultado de problemas en la fundición de los soportes, se ve la necesidad de reconstruir algunas zonas con soldadura para poder realizar el mecanizado y poder dar el mejor acabo posible a las piezas.

5. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar nuevas investigaciones sobre otros tipos de materiales que ayuden a disminuir el peso de la máquina y tenga un aspecto más pulido.

Se hace necesario un sistema de control eléctrico más avanzado que aumente la precisión y mejore las características de manejo y maniobrabilidad de la máquina.

Se sugiere a la industria CPL implementar un sistema de refrigeración ya sea aceite soluble o un refrigerante para corte en máquinas herramientas de esta manera aumente la vida útil y la calidad del acabado y no se pierdan las propiedades por excesivas temperaturas en los materiales.

Se aconseja a la industria CPL implementar elementos apropiados para la medición y ajuste en la profundidad de corte en la herramienta, ya que el método empleado es manual y no brinda precisión en la profundidad de corte.

Se recomienda que la distribución de los puertos de herramientas en las barras de alesado, tengan forma de espiral en la parte longitudinal de la barra, de esta manera reduce la vibración en la barra de alesado y mejora el mecanizado.

Se recomienda buscar una empresa que brinde los servicios de fundición de calidad, para que no presenten defectos de fundición en las piezas y evitar inconvenientes a la hora del ensamble.

BIBLIOGRAFÍA

ÅKESSON, Henrik. SMIRNOVA, Tatiana. HÅKANSSON, Lars. Design And Testing Of Piezoelectric Actuator-Controlled Boring Bar For Active Compensation Of Cutting Force Induced Errors. Analysis of dynamic properties of boring bars concerning different clamping conditions. Volume 23, Issue 8, November 2009, Pages 2629–2647

ANDRÉN L. HÅKANSSON L. BRANDT A. CLAEISSON I. Identification Of Motion Of Cutting Tool Vibration In A Continuous Boring Operation—Correlation To Structural Properties, Mechanical Systems And Signal Processing, Volume 18, Issue 4, July 2004, Pages 903–927.

ANDRÉN, L. HÅKANSSON L, BRANDT, A. CLAEISSON L. Identification of Dynamic Properties of Boring Bar Vibrations in a Continuous Boring Operation. Mechanical Systems and Signal Processing, Volume 18, Issue 4, July 2004, Pages 869–901

Catalogo página web industria Elsa, Portables Machines, Supercombinata Easy. Studio Rizzuto. 2013

Catalogo página web industria YORK, Portables Machines, 4-14 ET Line Boring Machines, Camaleón Creativa 2013.

CHIU W.M. CHAN K.W. Design and testing of piezoelectric actuator-controlled boring bar for active compensation of cutting force induced errors. International Journal of Production Economics. Volume 51, Issues 1–2, 15 August 1997, Pages 135–148

DUBBEL H. Manual del Constructor de Máquinas. Labor p. 354

FREYRE F Felipe. Aplicaciones de Tecnología Mecánica, Alsina. p.532

KADU R.S, AWARI G.K, SAKHALE C.N. MODAK J.P. Formulation Of Mathematical Model For The Investigation Of Tool Wears In Boring Machining

Operation On Cast Iron Using Carbide And Cbn Tools Procedia Materials Science, Volume 6, 2014, Pages 1710–1724

MIGUÉLEZ M.H, RUBIO L, LOYA J.A, FERNÁNDEZ-SÁEZ J. Improvement of Chatter Stability in Boring Operations with Passive Vibration Absorbers. International Journal of Mechanical Sciences Volume 34, Issues 1–2, January 2013, Pages 340–352

MOETAKEF-IMANI B, N. YUSSEFIAN Z. Dynamic Simulation of Boring Process International Journal of Machine Tools and Manufacture, Volume 49, Issue 14, November 2009, Pages 1096–1103

SEPÚLVEDA LOZANO CARLOS ELÍAS, Revista Metal Actual, Operación de Alesado, Pág. 28-32

SORTINO M, TOTIS G, PROPERITES F. The Dynamic Properties Of Conventional And High-Damping Boring Bars, Mechanical Systems And Signal Processing Modeling Volume 34, Issues 1–2, January 2013, Pages 340–352

XIAO, Wenrong. ZI Yanyang, CHEN Binqiang, BING Li, Zhengjia He A Novel Approach To Machining Condition Monitoring Of Deep Hole Boring, International Journal Of Machine Tools And Manufacture, Volume 77, February 2014, Pages 27–33.

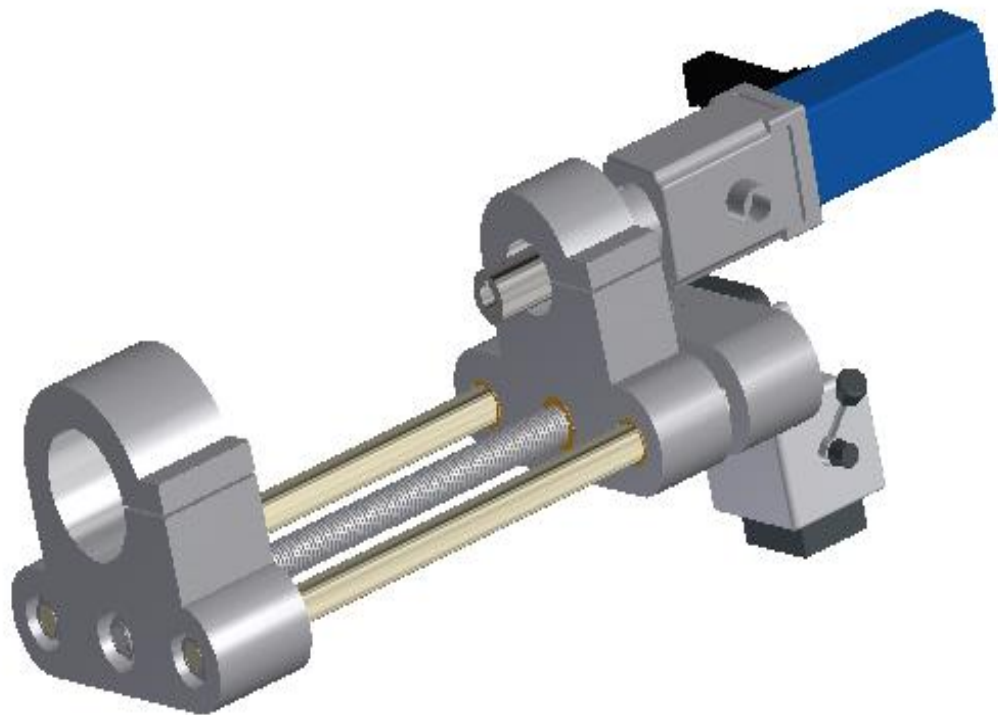
ANEXO 1

VELOCIDADES DE CORTE Y AVANCES PARA LOS ACEROS⁴⁶

Aceros designación AISI/SAE	Dureza Brinell	Material de la herramienta										
		Acero rápido	Carburo tungsteno			Carburo tungsteno recubierto		Cerámica metálica recubierta		Cement		
			Velocidad de corte	Va= avance (0.0254mm Rev.)					Vc= velocidad de corte (m/min.)			
					min.	Max	min.	Max	min.	Max	min.	Max
1010, 1016, 1020, 1024, 1026	100-125	37	Va	0,42	0,23	0,42	0,23	0,42	0,23	0,178	0,762	
			Vc	120	160	140	180	547	817	454	553	
1030, 1035, 1040, 1045	225-275	24	Va	0,432	0,203	0,432	0,203	0,711	0,33	-	-	
			Vc	80	120	230	293	357	500	-	-	
4140, 4150	250-300	20	Va	0,431	0,203	0,431	0,203	0,254	0,127	0,177	0,076	
			Vc	60	80	192	259	375	460	218	279	
4340, 8620	225-275	21	Va	0,431	0,203	0,431	0,203	0,177	0,076	0,177	0,076	
			Vc	45	70	192	259	302	369	218	279	

⁴⁶ http://www.metalactual.com/revista/8/procesos_torno.pdf

MANUAL DE USUARIO



ALESADORA PORTATIL

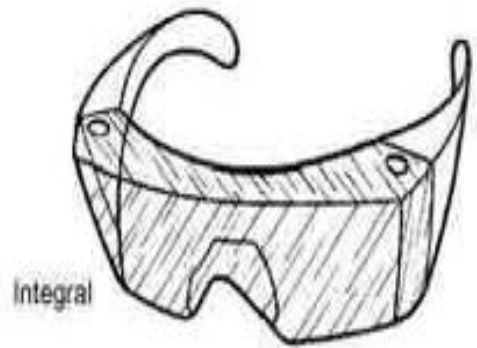
ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

Para evitar riesgos en la vida o la salud del operario a la hora de operar o manipular la máquina es necesario conocer y portar adecuadamente los elementos de protección personal que se muestra a continuación

BOTAS DE SEGURIDAD



GAFAS DE SEGURIDAD



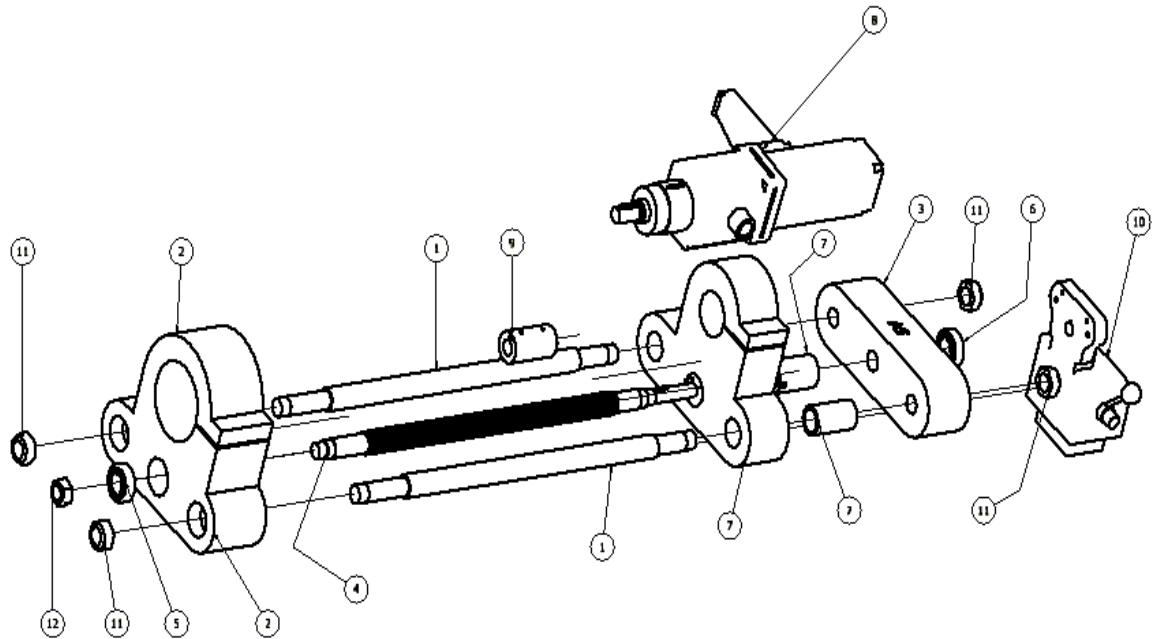
OVEROL



GUANTES

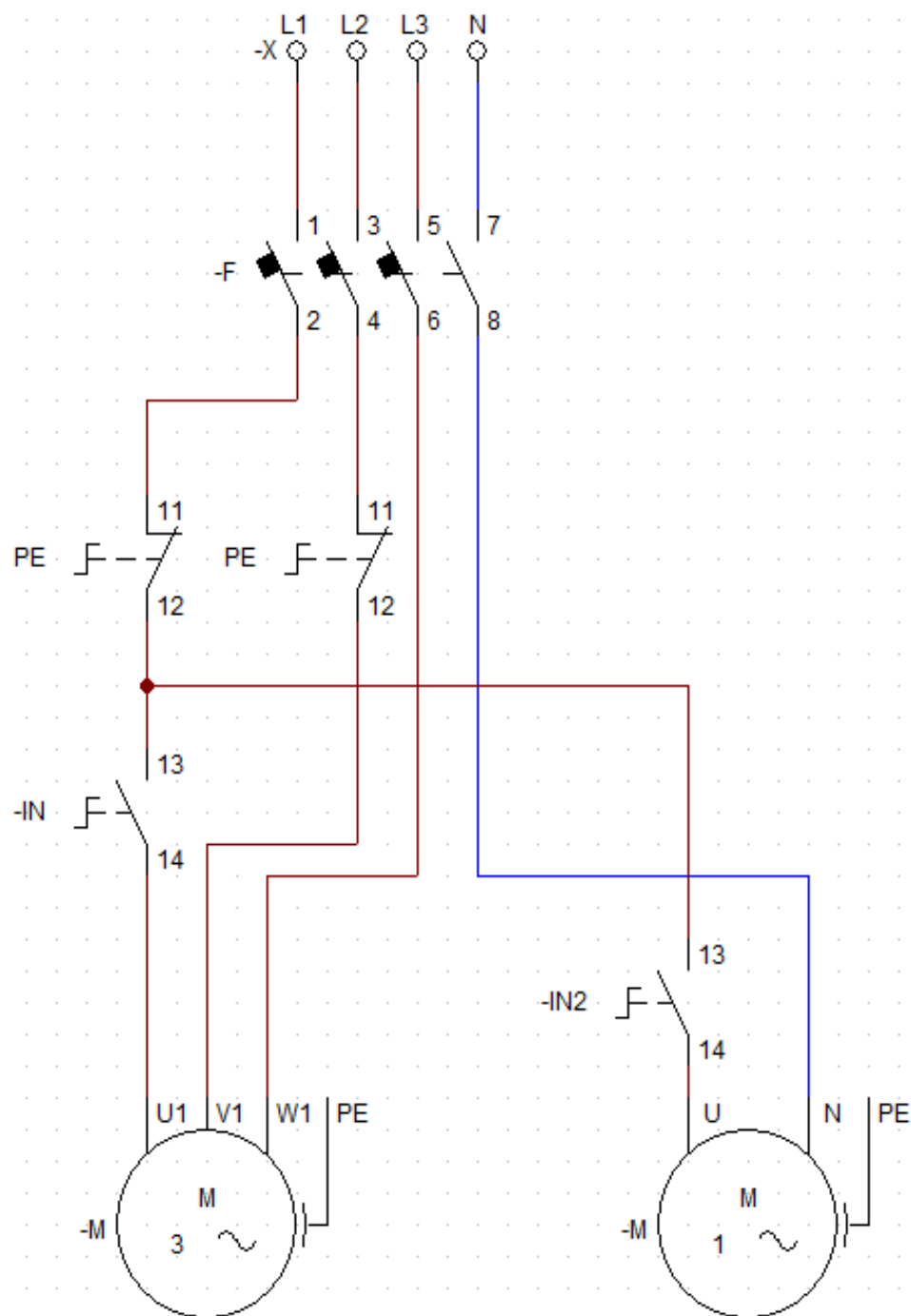


SISTEMA MECÁNICO



1. Barras de desplazamiento
2. Soporte de anclaje
3. Soporte del motor de avance
4. Tornillo de avance
5. Rodamiento
6. Rodamiento
7. Soporte cabezal móvil
8. Taladro
9. Acople cabezal - barra de alesar
10. Motor de avance
11. Tuercas de ajuste barras de desplazamiento
12. Tuerca de ajuste rodamiento

CONEXIÓN ELÉCTRICA

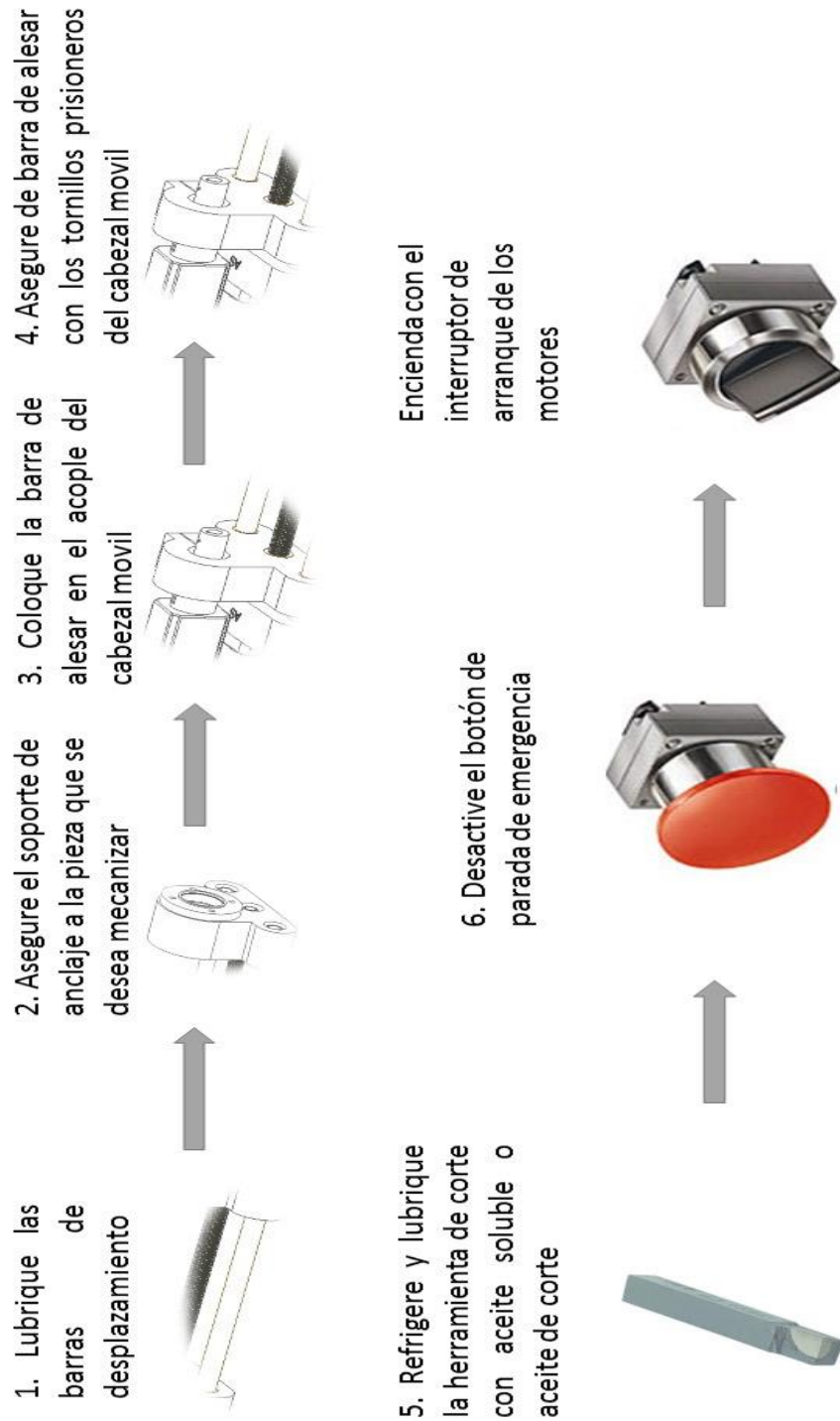


TENGA EN CUENTA ANTES DE OPERAR

La alesadora portátil es un equipo para rectificar o mecanizar cavidades por eso es importante tener en cuenta los siguientes aspectos para garantizar el mejor funcionamiento y operación de la máquina

#	DESCRIPCIÓN	
1	Portar adecuadamente los elementos de protección personal	☒
2	Revisar el estado general de la máquina	☒
3	El botón parada de emergencia debe estar presionado	☒
4	La caja de controles debe estar en perfecto estado	☒
5	Lubricar los elementos de desgaste como tornillo de avance, barras de desplazamiento y bujes	☒
6	Asegurar el soporte de anclaje a la pieza a mecanizar	☒
7	Verificar que la máquina esté debidamente anclada a la pieza a mecanizar para evitar vibraciones	☒
8	Verificar que la herramienta este en buenas condiciones	☒

PROCESO DE INSTALACIÓN



LUBRICACIÓN

El mantenimiento adecuado de la máquina hace que tenga la vida útil estimada y evita que se presenten fallas por falta de lubricación, por esta razón se presentan los diferentes puntos de lubricación y se recomienda el tipo de lubricante

SOPORTE MOVIL



TORNILLO DE AVANCE



TUERCA DE AVANCE



Para una mejor lubricación se debe usar un lubricante con baja viscosidad como **Tellus 37** o **Gufi 68** son aceites de baja viscosidad y buen desempeño en sistemas de alta fricción.

RECOMENDACIONES

Para mantener en óptimo estado se deben seguir las recomendaciones, esto evitara fallas de funcionamiento, disminuir la vida útil de la máquina y riesgos al operario y al personal de trabajo.

No exponer la máquina a condiciones medioambientales como lluvia o a líquidos que puedan deteriorar el estado de la máquina



Mantenga al personal ajeno a la operación fuera del área de trabajo



No acercarse o manipular la máquina cuando este en operación



Verifique la red eléctrica sea adecuada con los voltajes que exige la máquina para su operación



