

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA ALESADORA PARA LA  
EMPRESA INDUCOSTA LTDA.**

**RENALDO PAZ MÁRQUEZ  
ORLIS ALBERTO PERLAZA MARÍN**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA**

**ÁREA DE DISEÑO**  
**CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.**  
**2001**  
**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA ALESADORA PARA LA**  
**EMPRESA INDUCOSTA LTDA.**

**RENALDO PAZ MÁRQUEZ**  
**ORLIS ALBERTO PERLAZA MARÍN**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial  
para optar al título de Ingenieros Mecánicos**

**Director**  
**JOSÉ LUIS CERRO GONZÁLEZ**  
**Ingeniero mecánico**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**

**FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA**

**ÁREA DE DISEÑO**

**CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.**

**2001**

Cartagena de indias D.T y C., 30 de abril del 2001.

Señores:

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**

**FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA**

**COMITÉ DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS**

Cartagena.

Apreciados señores:

Por medio de la presente me dirijo a ustedes con el fin de manifestarles que he dirigido el proyecto de grado titulado **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA ALESADORA PARA LA EMPRESA INDUCOSTA LTDA”**, realizado por los estudiantes **RENALDO PAZ MÁRQUEZ Y ORLIS ALBERTO PERLAZA MARÍN**, quienes presentan como requisito para optar al título de Ingeniero Mecánico.

Atentamente,

**JOSÉ LUIS CERRO GONZÁLEZ**  
Ingeniero Mecánico  
Director

Cartagena de Indias D.T Y C., 30 de abril del 2001.

Señores:

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR**  
**FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA**  
**COMITÉ DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS**  
Cartagena.

Apreciados señores:

Con la presente nos permitimos presentar a ustedes para su estudio, consideración y aprobación, el proyecto de grado titulado **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA ALESADORA PARA LA EMPRESA INDUCOSTA LTDA”**, para optar al título de Ingeniero Mecánico.

Atentamente,

**RENALDO PAZ MÁRQUEZ**  
**COD 9603953**

**ORLIS ALBERTO PERLAZA MARÍN**  
**COD 9403014**

### **ARTÍCULO 105**

La **CORPORACIÓN UNIVERSITARIA TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR** se reserva el derecho de propiedad intelectual de todos los trabajos de grados aprobados y no pueden ser explotados comercialmente sin su autorización.

Nota de aceptación

---

---

---

---

Presidente del jurado

---

Jurado

---

Jurado

Cartagena de Indias, Abril 30 del 2001.

*A Dios por la bendición tan hermosa de haberme regalado esta profesión..*

*A mis padres y mi familia por el apoyo que me brindaron en los momentos que pensé flaquear, en especial a Marbel por su incondicional apoyo.*

*A Silvana por su incansable colaboración.*

*Renaldo*

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por habernos regalado la bendición de nacer en las familias que nos dio, en las cuales encontramos incondicional apoyo; y por haber puesto en medio de nuestras vidas la idea del estudio de esta carrera para satisfacción personal.

A José Luis Cerro Gonzáles, Ingeniero Mecánico, director y asesor del proyecto, por su incondicional colaboración y orientación.

A Oscar Banda Miranda, Gerente de Inducosta Ltda., por brindarnos su confianza y apoyo en la realización del presente proyecto.

Al personal de producción de Inducosta Ltda., por dar lo mejor de si en la fabricación y montaje de la máquina.

A Nadis Díaz, Subgerente de Inducosta Ltda., por brindarnos su apoyo.

A toda y cada una de las personas que de una u otra manera prestaron gran ayuda, sin la cual no hubiese sido posible la culminación satisfactoria de este proyecto.

## CONTENIDO

|  | pág |
|--|-----|
| INTRODUCCIÓN   | 19  |
| 1. INTRODUCCIÓN A LA TEORIA DEL MECANIZADO DE MATERIALES | 20  |
| 1.1 FORMACIÓN DE LA VIRUTA                               | 20  |
| 1.2 TIPOS DE VIRUTA                                      | 23  |
| 1.2.1 Viruta corta.                                      | 23  |
| 1.2.2 Viruta continua.                                   | 24  |
| 1.2.3 Viruta recalcada.                                  | 24  |
| 1.2.4 Viruta homogénea.                                  | 24  |
| 1.3 ESFUERZOS DESARROLLADOS EN EL ARRANQUE DE VIRUTA     | 26  |
| 1.4 GEOMETRÍA DE LA HERRAMIENTA                          | 27  |
| 1.5 MATERIALES PARA LAS HERRAMIENTAS DE CORTE            | 28  |
| 1.5.1 Aceros con alto contenido de carbono.              | 28  |
| 1.5.2 Aceros rápidos.                                    | 29  |
| 1.5.3 Aleaciones no ferrosas.                            | 29  |
| 1.5.4 Carburos.  | 30  |
| 1.5.5 Materiales cerámicos.                              | 31  |
| 1.5.6 Diamantes industriales.                            | 32  |
| 1.6 FALLAS Y VIDA ÚTIL DE LA HERRAMIENTA                 | 32  |
| 1.7 VELOCIDAD DE CORTE                                   | 33  |
| 1.7.1 Variables que influyen en la velocidad de corte.   | 33  |

|  |    |
|--|----|
| 1.7.1.1 Tipo de herramienta.                                       | 34 |
| 1.7.1.2 Clase de material a mecanizar.                             | 34 |
| 1.7.1.3 Condiciones de corte.                                      | 34 |
| 1.7.1.4 Refrigerante y lubricante.                                 | 35 |
| 1.8 POTENCIA DE CORTE  | 35 |
| 1.8.1 Influencia de los ángulos de la herramienta.                 | 35 |
| 1.9 ALESADO  | 38 |
| 1.9.1 Máquinas alesadoras, agujereadoras y fresadoras horizontales | 38 |
| 1.9.2 Máquinas de alesado y torneado vertical                      | 40 |
| 1.9.3 Alesadoras verticales automáticas                            | 40 |
| 2. HERRAMIENTAS DE CORTE PARA EL TORNO: BURILES                    | 42 |
| 2.1 Materiales de las herramientas de torno                        | 42 |
| 2.2 Ángulos de corte   | 44 |
| 2.2.1 El ángulo de incidencia $\alpha$                             | 44 |
| 2.2.2 El ángulo de filo $\beta$                                    | 44 |
| 2.2.3 El ángulo de ataque $\gamma$                                 | 44 |
| 2.2.4 El ángulo de posición $\chi$                                 | 45 |
| 2.2.5 El ángulo de la punta $\varepsilon$                          | 46 |
| 2.2.6 El ángulo de inclinación $\lambda$                           | 46 |
| 2.3 PROCEDIMIENTOS FUNDAMENTALES DEL TORNEADO                      | 47 |
| 2.4 VELOCIDADES DE CORTE, DE AVANCE Y PROFUNDIDAD DE CORTE         | 47 |
| 2.4.1 Velocidad de corte.  | 47 |
| 2.4.2 Velocidad de avance.   | 49 |

|   |    |
|---|----|
| 2.4.3 Profundidad de corte.                                 | 49 |
| 2.5 FUERZAS Y POTENCIA DE CORTE DEL TORNEADO                | 50 |
| 2.5.1 Fuerza principal de corte $F_1$ .                     | 51 |
| 2.5.2. Fuerza de penetración $F_2$ .                        | 51 |
| 2.5.3. Fuerza de avance $F_3$ .                             | 51 |
| 2.5.4 Fuerza específica de corte $K_s$ .                    | 52 |
| 2.5.5 Potencia de corte.                                    | 54 |
| 2.6 TIEMPO DE MECANIZADO EN EL TORNEADO                     | 55 |
| 2.7 TIPOS DE ÚTILES DE TORNO                                | 58 |
| 2.7.1 Útiles de desbastar.                                  | 58 |
| 2.7.2 Útiles de afinar.                                     | 58 |
| 2.7.3 Útiles de corte lateral.                              | 59 |
| 3. DISEÑO DE LA MÁQUINA                                     | 61 |
| 3.1 SELECCIÓN DEL ÚTIL                                      | 62 |
| 3.2 SELECCIÓN DEL PORTAHERRAMIENTAS                         | 63 |
| 3.3 SELECCIÓN DEL MOTOR                                     | 64 |
| 3.3.1 Sistema de rotación                                   | 64 |
| 3.3.2 Sistema de avance                                     | 68 |
| 3.4 DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE TRANSMISIÓN                   | 70 |
| 3.4.1 Sistema de transmisión para avance de la herramienta. | 70 |
| 3.4.1.1 Diseño del sistema tornillo sinfín corona           | 70 |
| 3.4.1.2 Reducción por medio de cadena.                      | 75 |
| 3.4.1.3 Tornillo de potencia.                               | 77 |

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 3.4.2 | Sistema de transmisión para rotación de la herramienta (Sistema de engranajes cónicos).                                    | 79  |
| 3.5   | DISEÑO DEL EJE TRANSMISOR DEL MOVIMIENTO DE ROTACIÓN DE LA HERRAMIENTA   | 85  |
| 3.6   | DISEÑO DE LA CUÑA  | 86  |
| 3.7   | ANÁLISIS DE SOLDADURA PARA LA UNIÓN DEL BASTIDOR CON LOS BRAZOS DE SOPORTE   | 88  |
| 3.8   | DISEÑO DE LOS TORNILLOS PARA LA UNIÓN DE LAS PLACAS DE SUJECCIÓN DEL EJE TRANSMISOR  | 95  |
| 3.9   | SELECCIÓN DE RODAMIENTOS   | 101 |
| 3.9.1 | Selección de los rodamientos instalados para sujetar el extremo inferior de los tornillos roscados transmisores del avance | 102 |
| 4.    | EVALUACIÓN DEL MECANIZADO ECONÓMICO  | 106 |
| 4.1   | COSTO DE LA MÁQUINA  | 106 |
| 4.2   | CÁLCULO DEL MECANIZADO ECONOMICO   | 108 |
| 5.    | CONCLUSIONES   | 115 |
|       | BIBLIOGRAFÍA   |     |
|       | 117  |     |
|       | ANEXOS   | 119 |

## LISTA DE TABLAS

|   | pág |
|---|-----|
| Tabla 1. Velocidades de corte y avances para herramientas de acero de alta velocidad  | 49  |
| Tabla 2. Valores de $K_1$   | 52  |
| Tabla 3. Valores del coeficiente $K_s$ de la fuerza específica de corte en función de la resistencia a la tracción del material | 53  |
| Tabla 4. Valores para $\frac{S}{\sqrt[m]{S}}$ en función de S   | 54  |
| Tabla 5. Tiempos de preparación general de trabajo de algunas máquinas herramientas.  | 56  |
| Tabla 6. Tiempos manuales para el torneado  | 56  |

## LISTA DE CUADROS

|  | pág |
|--|-----|
| Cuadro 1. Potencia específica                                  | 66  |
| Cuadro 2. Peso de los elementos de los sistemas de transmisión | 89  |
| Cuadro 3. Costo de la máquina                                  | 106 |

## LISTA DE FIGURAS

|   | pág |
|---|-----|
| Figura 1. Relación entre la herramienta de corte y el material de trabajo en la formación de viruta.        | 21  |
| Figura 2. Ilustración esquemática del mecanismo de formación de viruta.                                     | 22  |
| Figura 3. Viruta corta.   | 23  |
| Figura 4. Viruta continua.  | 24  |
| Figura 5. Viruta recalcada.   | 24  |
| Figura 6. Viruta homogénea.   | 25  |
| Figura 7. Esfuerzos desarrollados en el arranque de viruta  | 26  |
| Figura 8. Influencia del ángulo $\alpha$ de la herramienta en la potencia de corte.                         | 36  |
| Figura 9. Influencia del ángulo $\alpha$ de la herramienta en la potencia de corte.                         | 36  |
| Figura 10. Influencia del ángulo $\delta$ de la herramienta en la potencia de corte.                        | 37  |
| Figura 11. Influencia del ángulo $\delta$ de la herramienta en la potencia de corte.                        | 37  |
| Figura 12. Componentes y movimientos básicos de una máquina alesadora, Agujereadora y fresadora horizontal. | 39  |
| Figura 13. Componentes básicos de una alesadora vertical.   | 41  |
| Figura 14. Herramientas para tornear.   | 42  |
| Figura 15. Cortes y ángulos en el útil de torno.  | 45  |
| Figura 16. Ángulos de posición y de la punta en el útil de torno.   | 46  |

|   |    |
|---|----|
| Figura 17. Ángulo de inclinación $\lambda$ en un útil de desbastar. | 46 |
| Figura 18. Procedimientos de torneado.                              | 48 |
| Figura 19. Esfuerzos de corte.                                      | 50 |
| Figura 20. Útiles de desbastar.                                     | 58 |
| Figura 21. Útiles de afinar.  | 59 |
| Figura 22. Útiles de corte lateral.                                 | 60 |

## LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Selección del útil.

Anexo B. Selección del portaherramientas.

Anexo C. Factor de forma, factor C, factor B y límite de resistencia a la fatiga.

Anexo D. Coeficientes de servicio, propiedades de las cadenas de rodillos normalizadas.

Anexo E. Constantes de condición de extremos para columnas de Euler.

Anexo F. Dimensiones de las cuñas.

Anexo G. Cortante, momento y deflexión en vigas .

Anexo H. Factores de acabado de superficies, propiedades mínimas a la tensión del metal soldante para soldadura al arco, esfuerzos permitidos por el reglamento AISC para metal soldante.

Anexo I. Perfiles cuadrados.

Anexo J. Propiedades a la flexión de uniones de soldadura de filete.

Anexo K. Efecto de la temperatura de operación sobre la resistencia a la tensión del acero, Factores de reducción de la resistencia a la fatiga.

Anexo L. Especificaciones SAE para pernos de acero, Características de roscas unificadas UNC y UNF.

Anexo M. Rodamientos de rodillos cónicos

Anexo N. Plano TCTN080A

Anexo Ñ. Valores aproximados de la velocidad de corte  $V_r$

## RESUMEN

Inducosta Ltda. es una compañía de metalmecánica muy joven en el mercado industrial, que cuenta con una dirección administrativa y productiva bastante experimentadas.

Gracias a las eficientes gestiones y excelente calidad en los trabajos, Inducosta Ltda. ha entrado a ser parte de los contratistas de Tubos del Caribe S. A.

Como respuesta a una solicitud de trabajo hecha por parte de la empresa Tubos del Caribe S. A. la cual consiste en fabricar unos elementos para los hidrotester, entre los que se incluyen la fabricación de unos cilindros hidráulicos y teniendo en cuenta que debido a las exigencias en el acabado de las piezas trabajadas se requiere de una máquina especial que realice maquinados internos (alesados); la empresa Inducosta Ltda. creó la necesidad de hacer el análisis y el diseño de una máquina que diera soluciones ajustadas a las necesidades del trabajo requerido.

Para el diseño de esta máquina lo primero que se tuvo en cuenta fue tratar de implementar dicho diseño acomodándolo con las herramientas, elementos y materiales ya existentes, entre ellos el bastidor. Luego se analizaron las variables para de tal manera que garantizaran el tipo de acabado requerido para el trabajo a realizar. Posteriormente se procedió a la idealización y esquematización de la máquina, teniendo en cuenta diferentes factores como disponibilidad en los espacios, diseño y selección de los elementos y mecanismos constitutivos de la máquina, entre ellos: sistema de transmisión de avance (espárragos con cubos roscados partidos movidos por un sistema sinfín corona), sistema transmisor de rotación (sistema de engranajes cónicos), adaptación de motoreductores al sistema, selección del portaherramientas, sistema de sujeción del portaherramientas, selección de la herramienta de corte, etc.

## INTRODUCCIÓN

Nuestra costa caribe en especial Cartagena, es una de las ciudades que cada día se encuentra en un constante proceso de expansión a nivel comercial e industrial. Ese mismo afán de expansión obliga a cada uno de los sectores económicos con que cuenta la ciudad a volverse más competitivos frente a los demás. Esto es lo que ha pretendido la empresa Inducosta Ltda. con la fabricación de esta máquina alesadora, incursionar en el mercado una nueva línea de mecanizado que no se encuentra definida en esta región.

Esta nueva visión, además de presentar respuestas a los impases por los cuales pasan nuestras grandes empresas costeñas al realizar este tipo de trabajo, más específicamente la empresa Tubos del Caribe S. A., también hace posible acortar tiempo, distancia y sobretodo dinero, factor de bastante relevancia en caso de contemplar la posibilidad de reparaciones fuera de la ciudad.

Por estas razones se ha desarrollado este proyecto de fabricación de una máquina alesadora.

## 1. INTRODUCCIÓN A LA TEORIA DEL MECANIZADO DE MATERIALES

### 1.1 FORMACIÓN DE LA VIRUTA

Son varios los factores que se encuentran relacionados con el proceso de remoción de material (viruta), los más importantes son:

1. Las propiedades del material de trabajo.
2. Las propiedades y la geometría de la herramienta cortante.
3. La interacción entre la herramienta de corte y el material.

La última de estos factores resulta ser el más relevante, debido a su íntima relación con la formación de las virutas.

El procedimiento de básico involucrado en la formación de virutas consiste en la deformación cortante del material y su ruptura en la zona inmediatamente delante del filo cortante de la herramienta de corte. El movimiento relativo de la herramienta y la pieza de trabajo durante el corte, comprime el material cercano a la herramienta y genera en él una deformación cortante. Esta deformación cortante, también llamada deformación plástica, ocurre en una zona estrecha en el orden de 0.001 pulgadas o menos y aproximadamente en un plano que se extiende desde el filo cortante de la herramienta a la superficie del material de trabajo.

El mecanismo de formación de virutas se puede comprender con mayor facilidad haciendo uso del caso de corte ortogonales (caso bidimensional).

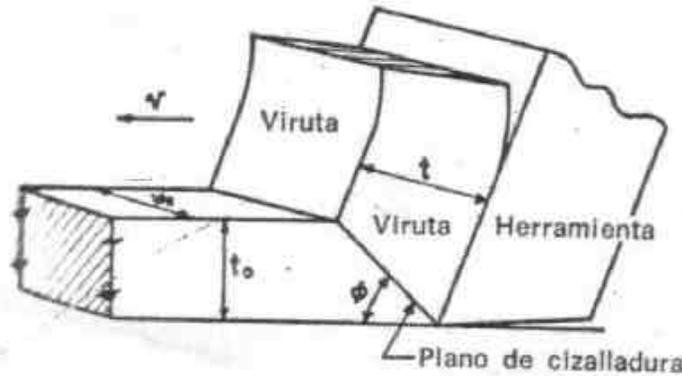


Figura 1. Relación de la herramienta de corte y el material de trabajo en la formación de viruta

En la figura 1 se ilustra la relación básica entre la herramienta y la pieza de trabajo para el caso de corte ortogonal. En la medida que la herramienta avanza a una velocidad  $v$ , transforma el metal de espesor  $t_0$ , conocido como espesor de viruta no deformada, y ancho  $w_0$ , en una viruta de espesor  $t$ . Debido a la fuerza de compresión ejercida por la herramienta de corte contra la pieza de trabajo, el material de la herramienta se deforma por cizalladura a lo largo del ángulo de corte  $\phi$  para formar la viruta y desplazarse sobre la cara de la herramienta. El proceso de deformación por cizalladura es análogo al desplazamiento de un manojo de cartas, donde cada una de éstas se desliza ligeramente sobre la carta siguiente. (véase figura 2).

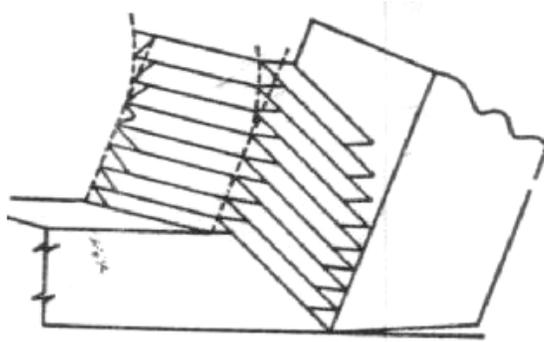


Figura 2. Ilustración esquemática del mecanismo de formación de viruta

Durante el proceso de corte del metal, los grados de deformación y compresión en el material delante de la herramienta son tales que causan deformación plástica a través de toda la zona de cizalladura y sobrepasan la resistencia del material localmente, cerca del filo cortante.

Como consecuencia de este proceso se generan presiones extremas y fuerzas que pueden ser muy grandes, actuando sobre la pieza de trajo.

En la zona de corte es generada una cantidad representativa de calor, como resultado de trabajo necesario para deformar la viruta, así como de la fricción entre la viruta y la herramienta.

Este calor generado, produce altas temperaturas en la zona de corte, especialmente en la parte de la herramienta que está en contacto permanente con la pieza de trabajo mientras se lleva a cabo el corte.

## 1.2 TIPOS DE VIRUTA

La viruta que es producida en la superficie de ataque de la herramienta, toma diversas formas que dependen de los siguientes factores:

Material de trabajo

Velocidad de corte

Ángulos de desplazamiento, incidencia y talla de la herramienta

Avance y profundidad de corte

A pesar que los anteriores factores determinan en gran manera la forma de la virutas, en distintas condiciones de trabajo mecanizando en un mismo material pueden modificar estas formas, además del empleo de rompe virutas y si el maquinado es interrumpido.

1.2.1 Viruta corta. Producida en fragmento cortos en forma de agujas o escamas en aquellos materiales duros y con poco coeficiente de alargamiento, tales como la fundición, el bronce, etc., y cuya superficie de contacto entre la herramienta y la viruta es pequeña. (véase figura 3).

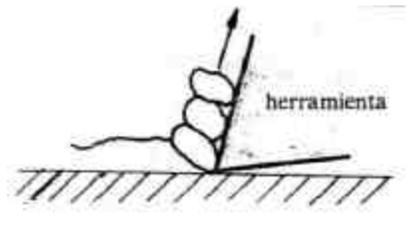


Figura 3. Viruta corta

1.2.2 Viruta continua. Esta clase de viruta es formada de manera continua y compacta, se obtiene al mecanizar materiales de elevado coeficiente de alargamiento, materiales dulces y tenaces, esta viruta se va originando en forma de tirabuzón sobre la superficie de ataque de la herramienta, permitiendo ángulos de desprendimiento de incidencia elevados. (véase figura 4).

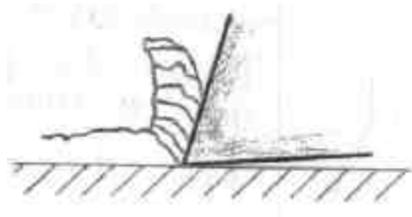


Figura 4. Viruta continua

1.2.3 Viruta recalçada. En los materiales dulces y tenaces es frecuente este tipo de virutas, la cual se desliza sobre la superficie de ataque de la herramienta cuando ve dificultada su forma natural por las superficie microsoldadas en la cara de desprendimiento que desvirtúan el ángulo de desprendimiento aplicado. (véase figura 5).

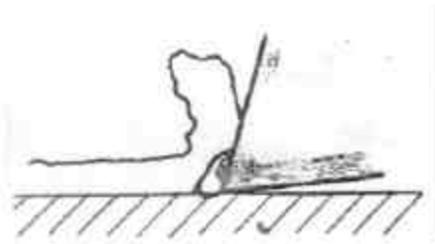


Figura 5. Viruta recalçada

1.2.4 Viruta homogénea. Asociadas a materiales más duros que bajo la presión de la herramienta se rompen a intervalos más o menos largos, presentando fuertes

desplazamientos de masas en formas de sierra por la cara opuesta al contacto de la herramienta. (véase figura 6).

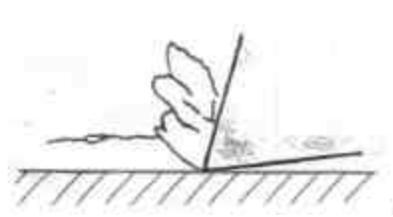


Figura 6. Viruta homogénea

Los factores que anteriormente se han mencionados que de terminan la formación de la viruta, son en su mayoría manejado por el operario de la máquina. En la práctica existen otros fenómenos como la craterización del filo de corte, soldadura de partículas de material sobre el plano de ataque de la herramienta, etc., que desvirtúan los ángulos seleccionados, condicionando el proceso de corte.

La presencia de microsoldaduras en la cara de ataque de la herramienta es un factor crítico, por lo que afecta la calidad de la superficie de la pieza, debido a que se sueldan a ella partículas del material desbastado; y porque además aumenta considerablemente la potencia necesaria para efectuar el trabajo.

La formación de este falso filo está íntimamente ligado con las temperaturas desarrolladas en el filo de la herramienta, cuando la velocidad de corte genera un calor de manera tal que existe un proceso de recristalización del material.

### 1.3 ESFUERZOS DESARROLLADOS EN EL ARRANQUE DE VIRUTA

Apoyados en la figura 7 se pueden observar los esfuerzos de corte originados en la operación de maquinado.

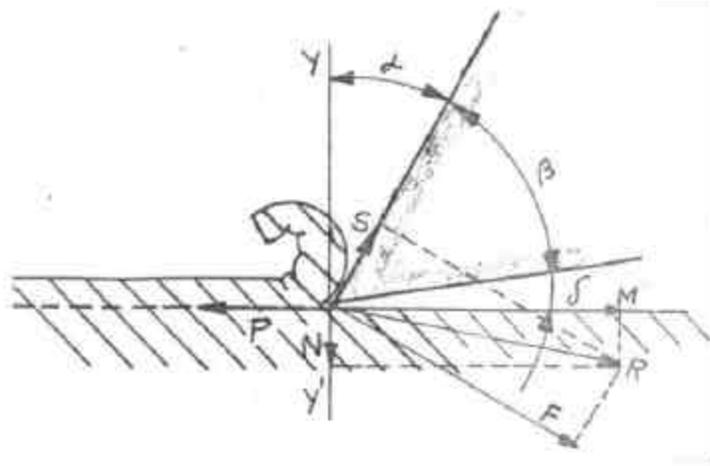


Figura 7. Esfuerzos desarrollados en el arranque de viruta

Cuando se pretende separar una parte del material mediante la penetración de la herramienta en forma de cuña, la compresión del mismo contra la cara de desprendimiento de la cuchilla hace que se deslice por ésta el material en un desplazamiento cristalino que forma la viruta.

La fuerza  $P$  que actúa en la dirección de la herramienta, es directamente proporcional a la resistencia del material, a la longitud de corte y al espesor de la viruta.

La fuerza de deformación  $F$ , se desarrolla en forma perpendicular a la cara de desprendimiento de la herramienta, está en función de la elasticidad del material y es directamente proporcional a la longitud de corte. Esta fuerza de deformación aumenta

al disminuir la magnitud del ángulo  $\alpha$  y al aumentar el espesor de la viruta.

La fuerza de rozamiento  $S$ , actúa a lo largo del desprendimiento de la herramienta en ese desplazamiento cristalino mencionado con anterioridad. Aumenta al aumentar  $F$ , al ampliar la magnitud de  $\alpha$ , y depende del coeficiente de rozamiento entre la viruta y la cara de desprendimiento de la herramienta.

La resultante  $R$  se obtiene por la composición de las fuerzas  $F$  y  $S$ . Esta resultante, origina a su vez las componentes  $M$  y  $N$ , horizontal y vertical respectivamente.

La fuerza  $N$ , ejercida verticalmente, se utiliza para dimensionar la herramienta, mientras que la suma de  $N$  y  $P$  dan la fuerza total aplicada horizontalmente para determinar la potencia de la máquina.

#### 1.4 GEOMETRÍA DE LA HERRAMIENTA

La posición y la forma de la herramienta relativas a la pieza de trabajo tienen una influencia importante sobre las características del corte. Los elementos geométricos de mayor relevancia relacionados con el arranque de viruta, son la posición del filo cortante y la orientación de la cara de la herramienta con la forma de la incidencia a con respecto al material y a la dirección de corte. Otras condiciones relacionadas con la forma son la incidencia, la inclinación o esquinado de las superficies de la herramienta para evitar el roce o el arrastre contra la pieza de trabajo.

## 1.5 MATERIALES PARA LAS HERRAMIENTAS DE CORTE

Los tipos de materiales empleados para producción de herramientas de corte deben poseer ciertas propiedades que le permitan operar satisfactoriamente. Las propiedades fundamentales son la dureza. La resistencia y tenacidad elevadas de tal manera que se mantengan a altas temperaturas.

1.5.1 Aceros con alto contenido de carbono. Con porcentajes desde 0,8 hasta 1,30, se emplean para la producción de pequeñas cantidades de piezas de madera o en la mecanización de materiales blandos tales como aceros de maquinabilidad elevada y latones. Es importante que la temperatura de operación se mantenga por debajo de los 400 °F porque el material pierde su dureza por encima de esta temperatura, razón por la cual se debe refrigerar mientras se trabaja con este tipo de material. En algunas ocasiones se adiciona vanadio y cromo para mejorar la templabilidad.

Los aceros para herramientas de corte después del temple y revenido a baja temperatura deben poseer una dureza en el filo de 60 a 65 HRC que supere considerablemente la dureza del material que se esta trabajando.

Los aceros al carbono tienen un serio inconveniente, un estrecho intervalo de temperaturas de temple y la necesidad de temple con enfriamiento en agua o soluciones acuosas alcalinas (sales), lo que intensifica la deformación y la torcedura de la herramienta e incluso produce la formación de grietas.

1.5.2 Aceros rápidos. A diferencia de los otros aceros para herramientas, poseen dureza al rojo, es decir, la propiedad de conservar su microestructura martensítica, alta dureza, resistencia mecánica y resistencia al desgaste a elevadas temperaturas. Estos aceros conservan la estructura martensítica a un calentamiento de 600 a 620°C. Por eso, el empleo de aceros rápidos permite aumentar considerablemente la velocidad y productividad de corte.

El elemento principal de aleación de los aceros rápidos que les garantiza la dureza al rojo es el tungsteno, o su análogo químico el molibdeno. La dureza al rojo se mejora con la presencia de otros elementos que forman carburos, por ejemplo el cromo y el vanadio.

Los aceros rápidos más empleados poseen composiciones químicas en porcentajes de 0.7 – 0.95 C; 3.8 – 4.4 de Cr; 17.5 – 19 de W; y 1.0 – 2.6 de V.

El acero rápido puede operar a temperaturas del orden de los 1100 °F sin perder su efectividad. Esta capacidad que posee este material para trabajar en n temperaturas elevadas se convierte en una ventaja, ya que permite un incremento en la velocidad o de la profundidad de corte; sin embargo, para aumentar la duración de la herramienta debe emplearse una eficiente lubricación.

1.5.3 Aleaciones no ferrosas. Contienen aproximadamente 2% de Carbono, del 15 al 20% de tungsteno, del 30 al 35% de cromo y del 40 al 50% de cobalto. Este tipo de material no pueden conformarse de manera efectiva y económica por trabajos en frío o en caliente, generalmente se conforman por moldeo a la forma final.

Este tipo de materiales operan eficientemente a altas temperaturas aproximadamente a 1500° F, contrario al comportamiento cuando trabaja a bajas temperaturas. En consecuencia, se pueden realizar cortes más profundos a velocidades de corte elevadas y avances reducidos. Estas aleaciones son utilizadas principalmente para mecanizar hierro fundido, hierro maleable y bronce duros.

1.5.4 Carburos. Son del tipo de materiales sinterizados. Los carburos se producen agregando carbono al metal o al óxido pulverizado y calentando luego a una atmósfera reductora a una temperatura cercana a 147° C ( 2600° F). El tiempo y la temperatura deben controlarse para conseguir el contenido apropiado de carbono en los carburos y el tamaño adecuado de las partículas. Se atribuyen propiedades especiales a las composiciones de WC-TiC, hechas por reacción en aleación de níquel fundida en el proceso de llamado “ *menstruo*”. El polvo de carburo finamente granulado que, sin embargo, se forma, se mezcla íntimamente con el aglutinante del metal pulverizado (cobalto para las cualidades o grados WC).

El carburo pulverizado se mezcla con carburo de tungsteno y titanio y carburos de tungsteno y tantalios pulverizados.

Los carburos de tungsteno se usan primordialmente para el mecanizado de metales no ferrosos, hierro fundido, plásticos caucho, etc. Los carburos de tungsteno y titanio y de tantalio y titanio se pueden emplear para el mecanizado de aceros, materiales tenaces y la mayoría de los materiales. En forma global, en la medida que el corte sea más profundo o más tenaz sea el material , menor debe ser la dureza Rockwell del material de la herramienta de corte. Por tanto, los materiales de dureza Rockwell elevada

deben utilizarse en trabajos de corte poco profundos.

Con las herramientas de carburos se puede triplicar las velocidades de corte utilizadas con las herramientas de aceros rápidos.

1.5.5 Materiales cerámicos. El material cerámico para herramientas más conocido es el óxido de aluminio, el cual puede mezclarse con un vidrio aglutinante. En algunas ocasiones el material se compacta sin aglutinantes. La sinterización ocurre a presiones del orden de 25 toneladas y a una temperatura de 2.000 °F. El material que se obtiene es duro y frágil, con posibilidad de resistir temperaturas de operación del orden de 2.000 °F sin perder dureza o resistencia. La elevada resistencia a la compresión de estos materiales y su bajo coeficiente de conductividad térmica posibilitan su empleo con velocidades de corte dos o tres veces superiores a las empleadas con herramientas de carburo.

Las limitaciones de las herramientas cerámicas radican primordialmente en la fijación del material al portaherramientas. Los materiales que se utilizan para fijar las pastillas o herramientas cerámicas desarrollan fracturas estructurales microscópicas que crean regiones de concentración elevada de esfuerzos durante la carga. Las herramientas cerámicas son frágiles, por lo que requieren que la máquina y el portaherramientas sean suficientemente rígidos para garantizar su eficiencia. En general, las herramientas cerámicas se utilizan en aquellos casos en los que no se presentan choques o vibraciones y preferiblemente se utilizan en el torneado de acabado a velocidad elevada.

1.5.6 Diamantes industriales. El diamante es el más duro de todos los materiales para

herramientas, actualmente su empleo en la mecanización de metales es bastante limitado. Pueden utilizarse para mecanizar aluminio, plásticos, caucho duro y con avances pequeños y velocidades de husillo elevadas pueden utilizarse para terminar agujeros perforados en acero. Estas herramientas tienen la gran desventaja de que son caras y difíciles de conformar.

## 1.6 FALLAS Y VIDA ÚTIL DE LA HERRAMIENTA

Durante el proceso de corte, la herramienta se desgasta y deja de trabajar satisfactoriamente, causando pérdida de precisión dimensional, mayor rugosidad y consumo de potencia. En casos extremos, la falla puede ser consecuencia de la pérdida física del borde cortante. La tasa de desgaste depende de la temperatura de la herramienta, la cual a su vez depende, entre otros factores, de la velocidad de corte, de la dureza y tipo del material de la herramienta, del tipo y condición del material de trabajo, de la geometría de la herramienta y de las dimensiones del corte. El tiempo real de corte de la herramienta acumulado antes de la falla se llama *vida de la herramienta* y se expresa en minutos. Después que ocurre la falla, la herramienta debe ser reacondicionada, en la mayoría de los casos por amolado. Las fallas en la herramienta traen como consecuencia pérdidas en la producción por el período de paralización de la máquina y por el costo de reacondicionamiento.

El desgaste de la herramienta ocurre tanto en la cara de la herramienta a una corta distancia del borde cortante, formando un cráter en el camino del flujo de virutas, como en el flanco bajo del borde cortante, resultado del contacto abrasivo con la superficie maquinada. Esta formación de cráteres se da más comúnmente en el maquinado de los

materiales dúctiles que forman virutas continuas. Si la formación de cráteres es excesiva, el borde cortante puede sufrir una fractura, separándose de la herramienta, debido a la reducción del borde de la herramienta inmediatamente detrás del borde cortante.

En los materiales frágiles se da normalmente un excesivo desgaste del flanco, debido a que el borde cortante de la herramienta rasca la superficie de trabajo. Estas fallas debidas al desgaste del flanco producen una superficie maquinada irregular.

Cuando se trata de herramientas de carburos o de cerámicas, que no forman cráteres con facilidad, la vida de la herramienta se asume como la correspondiente a un desgaste del flanco de 0,030 pulgadas.

## 1.7 VELOCIDAD DE CORTE

La velocidad de corte es la velocidad instantánea del movimiento primario de la herramienta en relación con la pieza de trabajo (en un punto seleccionado sobre el borde cortante o filo).

1.7.1 Variables que influyen en la velocidad de corte. Entre las variables más importantes que influyen en la velocidad de corte se destacan las siguientes:

- Tipo de herramienta
- Clase de material a mecanizar
- Condiciones de corte

- Tipo de refrigerante

1.7.1.1 Tipo de herramienta. Las principales características de una herramienta que influyen en su rendimiento son: su dureza en frío, su dureza en caliente y su tenacidad. Estas características van mejorando constantemente a medida que se van obteniendo materiales cada vez más idóneos para cubrir estos campos; por ejemplo, un acero rápido superior para las mismas condiciones de rendimiento de la herramienta, es aproximadamente tres veces su velocidad de corte a la de un acero al carbono.

1.7.1.2 Clase de material a mecanizar. Es fácil suponer que cuanto menor sea la resistencia del material, mayor será la producción de la herramienta y la velocidad de corte adoptada. Sin embargo, esta correspondencia entre velocidad de corte y dureza de corte no es proporcional. Mientras en materiales blandos con durezas Brinell hasta 150, por cada punto de dureza que aumenta el material corresponde un descenso en la velocidad de corte del 1%, cuando se alcanza las 200 cifras Brinell, por cada cifra que sube la dureza del material, sólo corresponde 0,8 % de reducción en la velocidad de corte y sólo un 0,5 % cuando la variación de dureza se efectúa sobre un material con 250 cifras Brinell.

1.7.1.3 Condiciones de corte. Las condiciones de corte se refieren a la profundidad y el avance mediante los cuales podemos variar la sección de la viruta, manteniendo la profundidad aproximadamente igual a cambio de reducir el tiempo de empleo de la herramienta por destrucción del filo.

Como el elevado calor generado en el filo de la herramienta ablanda la misma,

deteriorándola rápidamente, es importante obtener el mayor rendimiento de la herramienta aumentando el avance y la profundidad en las herramientas de acero rápido. Con las de metal duro debe hacerse aumentando la velocidad, aparte de otros beneficios que pueden obtenerse como la calidad superficial.

1.7.1.4 Refrigerante y lubricante. La influencia del refrigerante como difusor del calor que se genera en el filo de la herramienta y como reductor del coeficiente de rozamiento, es decisiva en el corte de los metales.

Cuando desplazamos un cuerpo sobre otro, se produce un rozamiento cuya magnitud depende de varios factores: rugosidad de las superficies en contacto, presión que ejerce una superficies sobre la otra, el ángulo con que las fuerzas actúan, velocidad con que se desplaza un cuerpo sobre otro, etc.

## 1.8 POTENCIA DE CORTE

La fuerza más importante que se debe tener en cuenta es la que sirve para el arrancamiento del material, la cual se aplica en línea recta con la herramienta y puede hallarse analíticamente por composición de las fuerzas  $S$  y  $F$  vistas en la figura 7.

1.8.1 Influencia de los ángulos de la herramienta. Anteriormente se vio cómo al variar la amplitud del ángulo alfa variaban las fuerzas  $F$  y  $N$ , lo que indica que en el juego de una y otra se puede buscar el equilibrio deseado.

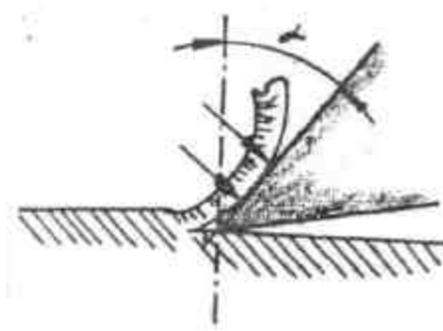


Figura 8. Influencia del ángulo  $\alpha$  de la herramienta en la potencia de corte.



Figura 9. Influencia del ángulo  $\alpha$  de la herramienta en la potencia de corte.

Las figuras 8 y 9 ilustran este concepto. En la figura 8 la viruta se desliza suavemente sobre la cara de desprendimiento, mientras que en la figura 9 la viruta choca frontalmente con la herramienta y la obliga a curvarse en un ángulo mucho mayor, necesitando una mayor potencia para su desprendimiento.

El ángulo  $\delta$  representado en las figuras 10 y 11 no se ve afectado por estos esfuerzos. Su valor depende del material a trabajar, con pequeñas dispersiones entre su valor óptimo. Un ángulo demasiado pequeño deja una superficie de contacto entre pieza y herramienta que genera un calor exagerado, cuya temperatura excesiva reduce la dureza de la herramienta y por lo tanto su capacidad de corte. (Ver figura 10).

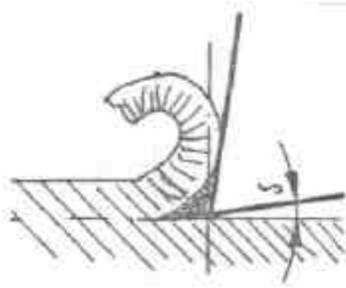


Figura 10. Influencia del ángulo  $\delta$  de la herramienta en la potencia de corte.

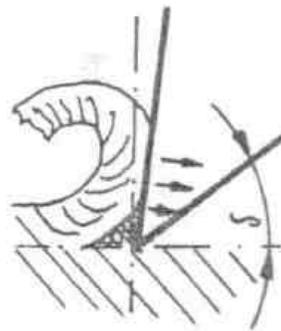


Figura 11. Influencia del ángulo  $\delta$  de la herramienta en la potencia de corte.

Un ángulo excesivo debilita la herramienta, y deja una sección insuficiente para soportar las fuerzas que actúan perpendiculares a la cara de desprendimiento, deteriorándose rápidamente el filo de la misma, el cual llega a romperse cuando superan el límite elástico. (Ver figura 11).

Este ángulo en teoría no se ve afectado por las fuerzas de corte, en los casos en que una herramienta está recién y bien afilada. Pero el filo se puede perder por la eliminación microscópica de partículas, craterización, soldadura de viruta, etc., modificando el ángulo de desprendimiento, fenómenos estos que modifican un tanto en la práctica los esfuerzos producidos en el arranque de viruta.

## 1.9 ALESADO

El alesado es un proceso en el cual un agujero existente es agrandado mediante la rotación relativa entre la pieza a trabajar y una herramienta de un solo corte. Esencialmente es un torneado interior. En este proceso el agujero resultante siempre es concéntrico con el eje de rotación de la pieza o de la herramienta. Este es un atributo importante de los agujeros alesados y en muchos casos es la razón principal para utilizar este proceso en lugar de cualquier otro, como por ejemplo el taladrado.

Debido a que el alesado se hace usualmente después del taladrado, las máquinas herramientas en las cuales se hace alesado casi siempre se puede taladrar, lo que indica que con una sola instalación de la pieza se pueden hacer ambas operaciones. La mayoría del alesado se hace en máquinas herramientas múltiples tales como tornos mecánicos. Existen dos tipos de máquinas herramientas que son diseñadas primitivamente para alesado: la alesadora, agujereadora y fresadora horizontal que como su nombre lo indica también puede hacerse agujereado y fresado. La otra máquina, la alesadora vertical, está concebida exclusivamente para alesado en producción masiva.

1.9.1 Máquinas alesadoras, agujereadoras y fresadoras horizontales. En la figura 12 se muestran los componentes básicos de una máquina alesadora, agujereadora y fresadora horizontal del tipo carro desplazable. Se distinguen las siguientes partes:

- 1) Un carro que puede moverse y avanzar en dos direcciones en un plano horizontal.
- 2) Árbol con movimiento vertical
- 3) Husillo giratorio con movimiento horizontal

4) Un soporte exterior para sostener una larga barra alesadora

Este movimiento relativo controlado con precisión entre la pieza y la herramienta se logra en tres direcciones mutuamente perpendiculares. Además, es posible hacer cortes longitudinales, transversales y verticales. Debido a estas características las máquinas alesadoras horizontales son muy versátiles y útiles para el maquinado de piezas grandes, ya que puede combinarse un trazado de precisión con varias operaciones de maquinado con una sola fijación de la pieza.

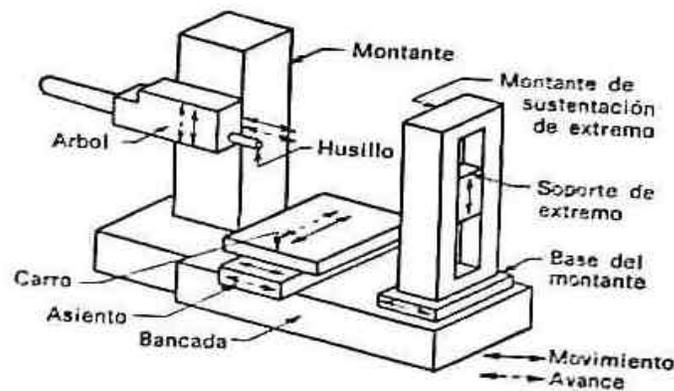


Figura 12. Componentes y movimientos básicos de una máquina alesadora, agujereadora y fresadora horizontal

El husillo es similar a un husillo de agujereadora sobredimensionado. Mediante una caja de engranajes adecuada puede proveerse un amplio rango de velocidades. También se adicionan soportes pesados para absorber el empuje en todas las direcciones.

El avance longitudinal del husillo permite hacer ambas operaciones, agujereado y alesado, a lo largo de una distancia considerable sin mover el carro.

El tamaño de las alesadoras horizontales se designa por el diámetro del husillo en pulgadas; se debe conocer también el tamaño del carro y la distancia entre el husillo y el montante de extremo para determinar si una pieza dada puede ser maquinada.

1.9.2 Máquinas de alesado y torneado vertical. Cuando deben hacerse agujeros mayores de 12 pulgadas de diámetro se usa comúnmente una alesadora torneadora de eje vertical. Estas máquinas son llamadas frecuentemente alesadoras verticales. En la figura 13 se puede ver que estas máquinas herramientas poseen un carro rotativo para soportar y mover la pieza que se trabaja. Algunas alesadoras verticales pueden ser muy grandes. El diámetro de los carros oscila entre 3 pies y 40 pies. Los cabezales sobre el travesaño están provistos con avance horizontal y vertical, además pueden ser elevados por el movimiento de todo el travesaño. En estos cabezales se usan herramientas de punta simple, del tipo de las de torno común, principalmente para alesado y frentado. Otra posibilidad es usar los dos cabezales del travesaño para hacer simultáneamente alesados grueso y fino.

El tamaño de las alesadoras verticales es designado por el diámetro de la mesa de trabajo, expresado en pies o en pulgadas.

1.9.3 Alesadoras verticales automáticas. Uno de los tipos especiales de alesadoras verticales que existen es esencialmente una máquina para torneado interior con control automático y movimiento cíclico de los cabezales portaherramientas. Después de ajustada la máquina hace automáticamente todos los montajes y ajustes de las herramientas en los ciclos subsiguientes.

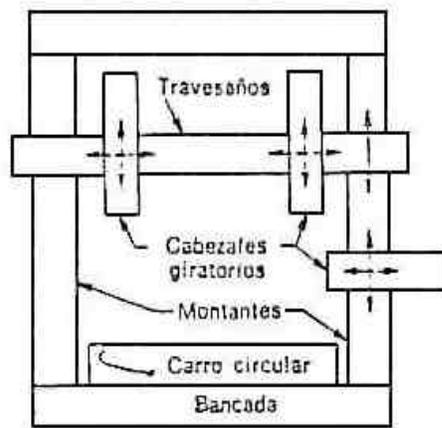


Figura 13. Componentes básicos de una alesadora vertical

## 2. HERRAMIENTAS DE CORTE PARA EL TORNO: LOS BURILES

Para el arranque de virutas se utilizan herramientas de corte ( herramientas para torno) y las cuchillas o cinceles de tornear (herramientas de torno con filo de metal duro).

El aspecto más importante de un buril es su forma geométrica: la inclinación hacia los lados y hacia atrás, las holguras y los rompedores de rebaba.

### 2.1 MATERIALES DE LAS HERRAMIENTAS DE TORNO

El material tiene que reunir las siguientes propiedades: dureza, tenacidad, dureza en caliente y resistencia al desgaste.

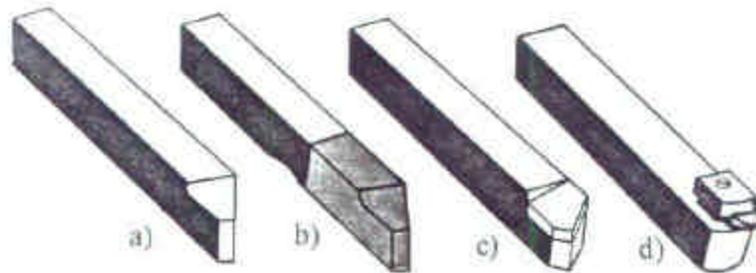


Figura 14. Herramientas para tornear. a) Herramienta de corte hecha completamente de acero rápido, b) parte cortante de acero rápido soldada a tope, c) placa de acero rápido sobrepuesta mediante soldadura o placa de metal duro unido mediante falsa soldadura, d) diamante con pieza porta-diamante.

*La dureza* es necesaria para que el filo pueda penetrar en el material. Cuando falta *tenacidad* se quiebra la cuchilla por acción de la presión del corte. Es necesario que

exista una cierta *resistencia en caliente*, con objeto de que la dureza se mantenga incluso cuando el filo se caliente en virtud del rozamiento que se produce en el arranque de viruta. *La resistencia al desgaste* tiene por objeto impedir un rápido desgaste del filo.

Para las herramientas de torneado se emplean diversos tipos de materiales, tales como:

*Acero de herramientas no aleado.* Contiene de 0.5 a 1.5 % de carbono. A temperaturas del orden de los 250 °C pierde ya su dureza, por lo que es inapropiado para grandes velocidades de corte y no se le utiliza, salvo en casos excepcionales, para la fabricación de herramientas de torno. Estos aceros también se les denomina aceros al carbono o aceros de herramientas.

*Acero de herramientas aleado.* Este acero contiene como elementos aleados, además del carbono, adiciones de wolframio, cromo, vanadio, molibdeno y otros. Existen aceros débilmente aleados y fuertemente aleados. *El acero rápido* es un acero fuertemente aleado, con una elevada resistencia al desgaste. No pierde la dureza sino al llegar a los 600 °C. Esta resistencia en caliente, que es debida sobre todo al contenido de wolframio, hace posible el torneado con velocidades de corte elevadas. Como el acero rápido es un material caro, la herramienta lleva frecuentemente sólo la parte cortante o una palca constituida por este material soldada a un mango de acero de máquinas. (Ver figura 14).

*Los metales duros* hacen posible un gran aumento de la velocidad de corte de la herramienta. Los componentes principales de un metal duro son el wolframio y el molibdeno, además del cobalto y el carbono. El metal duro es caro y se suelda en forma de plaquitas normalizadas sobre mangos de herramienta que pueden ser de acero

barato. Con temperaturas de corte de 900 °C todavía se manifiestan buenas propiedades de corte y puede trabajarse con grandes velocidades. Con esto se reduce el tiempo de trabajo y además la gran velocidad de corte ayuda a que la superficie de la pieza que se trabaja resulte lisa.

*El diamante* se utiliza muchas veces para corte de herramientas. El diamante es muy duro y no se desgasta. Se emplean sobretodos para trabajos muy finos en máquinas especiales.

*Los materiales de corte cerámicos* son muy duros y constituyen la parte cortante del útil, se sujetan convenientemente en soportes adecuados.

## 2.2 ÁNGULOS DE CORTE

2.2.1 El ángulo de incidencia  $\alpha$  es el formado por la superficie de corte y la de incidencia (ver figura 15).

2.2.2 El ángulo de filo  $\beta$  se halla entre las superficies de incidencia y de ataque.

2.2.3 El ángulo de ataque  $\gamma$  es el ángulo entre la normal a la superficie de corte y la superficie de ataque.

La suma de los ángulos de incidencia, de filo y de ataque, dan 90°. Con objeto de que no se rompa el filo, el material duro exige un ángulo de filo mayor que el material blando. El ángulo de incidencia se hace de una magnitud tal que la superficie de incidencia

no roce con la pieza . Un ángulo de ataque grande facilita el arranque de las virutas; sin embargo, no podrá aumentarse arbitrariamente porque el ángulo de filo resultaría demasiado pequeño.

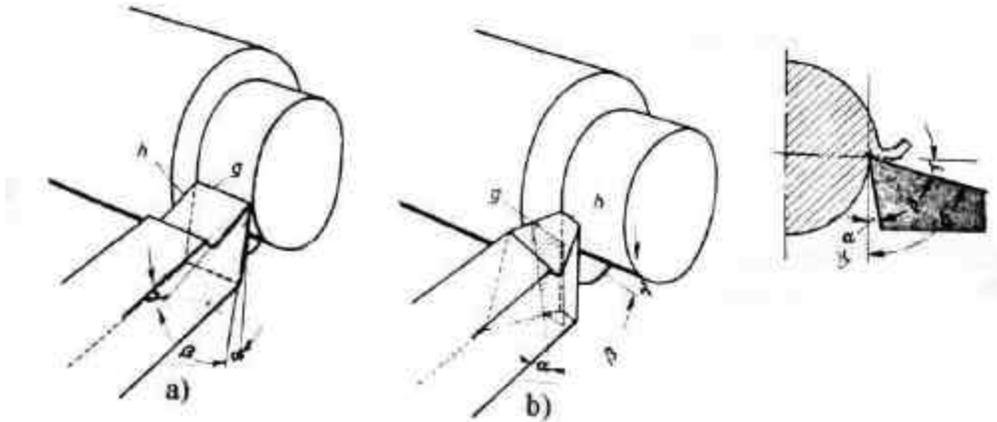


Figura 15. Cortes y ángulos en el útil de torno. g) corte principal, h) corte secundario,  $\alpha$ ) ángulo de incidencia,  $\beta$ ) ángulo de filo,  $\gamma$ ) ángulo de ataque,  $\delta$ ) ángulo de corte a) corte principal paralelo al eje de giro, b) corte principal oblicuo al eje de giro

En los útiles de desbastar ( cinceles de desbastar) se presentan, además de los ángulos de corte ord inarios, los de posición o ajuste, el de punta y el de inclinación.

2.2.4 El ángulo de posición  $\chi$  (ver figura 16) es el formado por el corte principal con la superficie de trabajo. Cuando el ángulo de posición es grande, la anchura de viruta es pequeña y la presión o fuerza de corte principal se reparte sobre un pequeño trozo de cuchilla. La cuchilla en este caso sufre un trabajo muy fuerte y dura muy poco. Un ángulo de posición pequeño da lugar a una fuerza de reacción grande que tiene como consecuencia un esfuerzo de flexión cuando la pieza que se tornea es larga y delgada. Cuando el ángulo de posición es grande, el esfuerzo de reacción es menor y el peligro de flexión también lo es. En el caso más general el ángulo de posición suele ser de  $45^\circ$ .

2.2.5 El ángulo de la punta  $\epsilon$  es el formado por los cortes principal (arista del filo que está dirigida en el sentido del avance) y secundario (va unido lateralmente al corte principal). Suele valer  $90^\circ$ . Un útil de torno que tenga un ángulo de la punta pequeño se desfila rápidamente.

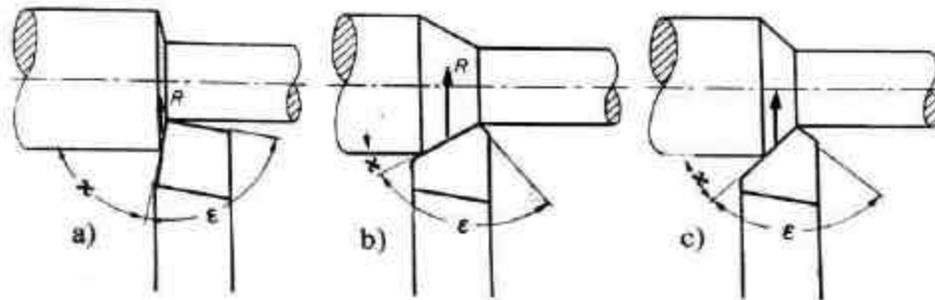


Figura 16. Ángulos de posición y de la punta en el útil de torno.  $\chi$ ) ángulo de posición,  $\epsilon$ ) ángulo de la punta, R) presión o esfuerzo ejercido contra el eje de giro, a) ángulo de posición grande, b) ángulo de posición pequeño, c) ángulo de posición normal.

2.2.6 El ángulo de inclinación  $\lambda$  (ver figura 17) fija la posición del corte principal respecto a la horizontal. El corte o cuchilla puede tener posición horizontal, empinada o caída. El ángulo de inclinación suele variar para útiles de desbastar entre los  $3$  y  $5^\circ$ .

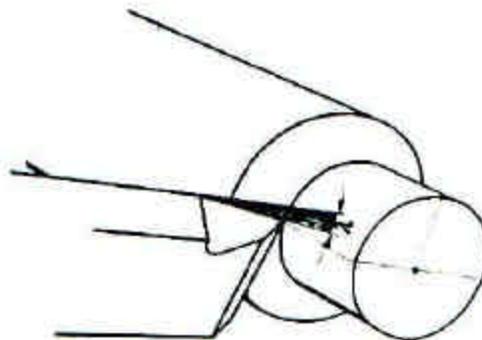


Figura 17. Ángulo de inclinación  $\lambda$  en un útil de desbastar

### 2.3 PROCEDIMIENTOS FUNDAMENTALES DEL TORNEADO

La diversidad de formas de las piezas de revolución se obtiene mediante distintos procedimientos de torneado. Cuando las piezas son trabajadas exteriormente se habla de torneado exterior y cuando son trabajadas interiormente se habla de torneado interior. Las piezas cilíndricas se obtienen mediante torneado longitudinal o cilindrado, las superficies planas mediante refrentado o torneado al aire, los conos mediante torneado cónico, las piezas perfiladas o de forma mediante torneado de forma, las roscas mediante roscado o tallado de rosca al torno. Estos procedimientos se muestran en la figura 18.

### 2.4 VELOCIDADES DE CORTE, DE AVANCE Y PROFUNDIDAD DE CORTE EN EL TORNEADO

Como el tiempo de maquinado es un factor importante en las operaciones de torno, es necesario que se comprenda perfectamente los principios de las velocidades y avances con el propósito de lograr la utilización más económica de una determinada máquina.

2.4.1 Velocidad de corte. Las velocidades (RPM) para el torneado de una pieza de trabajo se determinan de la siguiente manera:

$$RPM = (VC \cdot 4) / D \quad \text{Ec. 2.1}$$

En la cual: RPM = velocidad en revoluciones por minuto

D = diámetro de la pieza de trabajo

VC = velocidad lineal de corte, en pies por minuto

Las velocidades de corte para diversos materiales se presentan en la tabla 1.

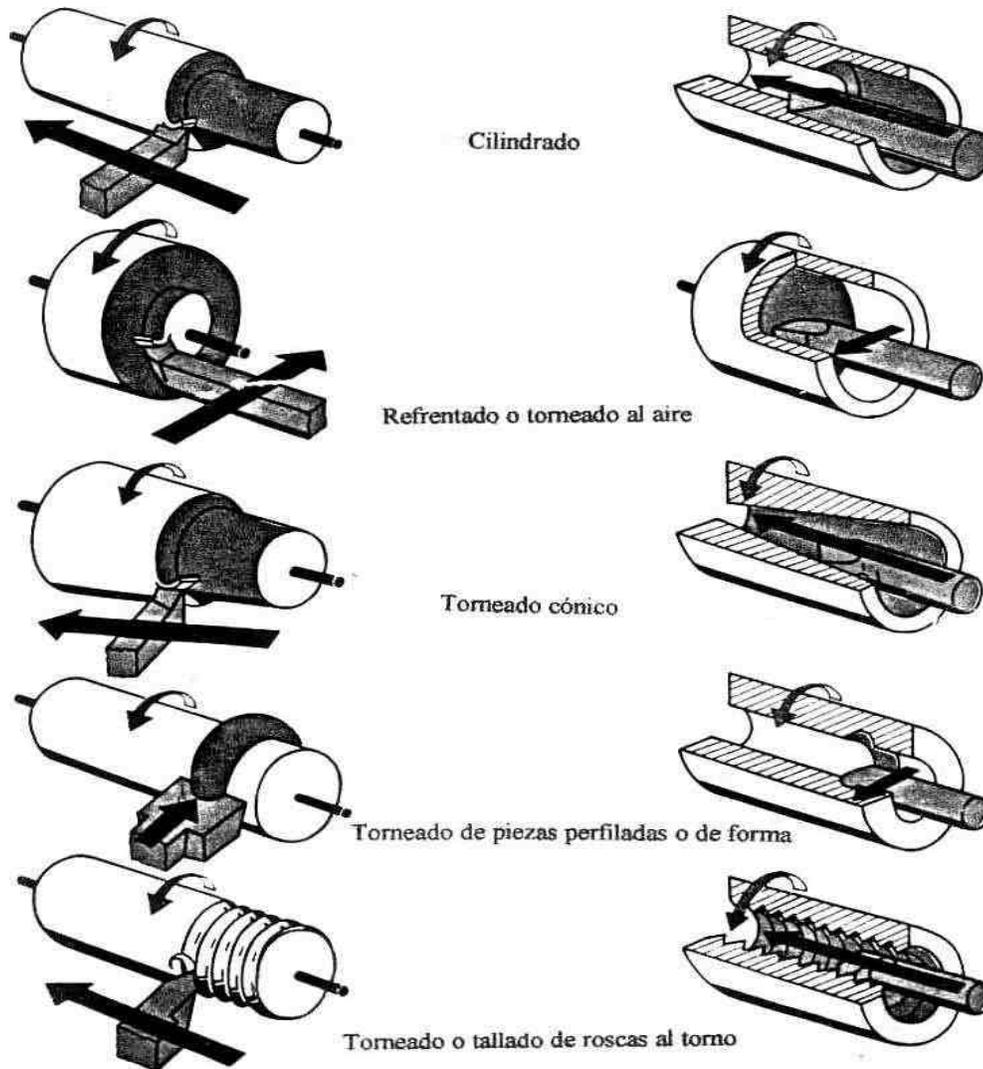


Figura 18. Procedimientos de torneado

Tabla 1. Velocidades de corte y avances para herramientas de acero de alta velocidad

|   | <b>Acero de bajo contenido de carbono</b> | <b>Acero al alto carbono, recocido</b> | <b>Acero aleado normalizado</b> | <b>Aleaciones de aluminio</b> | <b>Hierro fundido</b> | <b>Bronce</b> |
|---|---|--|---------------------------------|-------------------------------|-----------------------|---------------|
| <i>Veloc. de desbastado, (pies/min)</i> | 90  | 50                                     | 45                              | 200                           | 70                    | 10            |
| <i>Veloc. de acabado, (pies/min)</i>    | 120                                       | 65                                     | 60                              | 300                           | 80                    | 13            |
| <i>Avance de desbastado, (pulg/rev)</i> | .010-.020                                 | .010-.020                              | .010-.020                       | .015-.030                     | .010-.020             | .010-.020     |
| <i>Avance de acabado, (pul/rev)</i>     | .003-.005                                 | .003-.005                              | .003-.005                       | .005-.010                     | .003-.010             | .003-.010     |

2.4.2 Velocidad de avance. La velocidad de avance se define como la velocidad instantánea del movimiento de avance en relación con la pieza de trabajo (en un punto seleccionado del borde cortante).

La velocidad de avance se expresa en pulgadas por revolución del husillo. Los avances se seleccionan por medio de una tabla indicadora que se encuentra ya sea sobre la caja de engranajes de cambio rápido o en la parte lateral de la carcasa de la cabeza del torno.

2.4.3 Profundidad de corte. En el torneado la profundidad de corte es la distancia que el borde cortante o filo penetra o se proyecta por debajo de la superficie original de la pieza. La profundidad de corte determina las dimensiones finales de la pieza. En el torneado, con avance axial, la profundidad de corte es una medida directa de la

disminución en el radio de la pieza, y con avance radial la profundidad de corte es igual a la disminución en la longitud de la pieza.

El avance y la profundidad de corte deben corresponder a lo que pueda soportar la herramienta, la pieza de trabajo o la máquina, sin que se originen esfuerzos indebidos. La velocidad de avance para desbastado debe ser de una quinta parte a un tercio de la profundidad de corte.

## 2.5 FUERZAS Y POTENCIA DE CORTE DEL TORNEADO

El conocimiento de los esfuerzos de corte que intervienen en el arranque de viruta, son necesarios para poder calcular la potencia de la máquina, dimensionar la herramienta y demás dispositivos que habrán de soportar estos esfuerzos. (Ver figura 19). Para el proceso de torneado, la relación entre las tres componentes es aproximadamente:  $F_1 : F_2 : F_3 = 5 : 2 : 1$ .

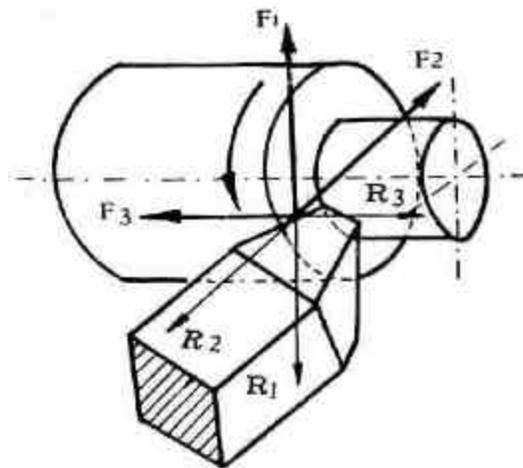


Figura 19. Esfuerzos de corte

2.5.1 Fuerza principal de corte  $F_1$ . Es la fuerza necesaria para separar el material en forma de viruta y depende, principalmente, de la clase de material a mecanizar, de la sección de viruta y del ángulo de desprendimiento. Se sitúa tangencialmente a la superficie de mecanizado y en la misma dirección del movimiento de corte.

En la misma dirección, pero en sentido opuesto se encuentra la reacción  $R_1$ , del material a arrancar.

Como esta fuerza  $F_1$  absorbe la mayor parte de la potencia, es la única que se considera en el cálculo de potencia.

2.5.2 Fuerza de penetración  $F_2$ . Es la fuerza que necesitamos aplicar a la herramienta para que alcance la profundidad de corte fijada. Se desarrolla perpendicular a  $F_1$ , según el eje de la herramienta y en el sentido de la pieza. La reacción a esta fuerza,  $R_2$ , se manifiesta en sentido opuesto y tiende a separar la herramienta de la pieza. Esta fuerza es de naturaleza estática, por lo que no interviene prácticamente en el cálculo del consumo de potencia, pero su conocimiento sí interesa para el cálculo del portaherramientas.

2.5.3 Fuerza de avance  $F_3$ . Es perpendicular a las dos fuerzas anteriores,  $F_1$  y  $F_2$ , y es la fuerza que necesitamos transmitir a la herramienta para que efectúe el avance sobre la pieza. La reacción a esta fuerza,  $R_3$ , aparece en el sentido opuesto a la misma. Esta fuerza absorbe poca potencia, ya que el desplazamiento de la cuchilla tiene lugar a velocidad muy pequeña en relación con la de la pieza.

2.5.4 Fuerza específica de corte  $K_s$ . Es la fuerza necesaria para arrancar una viruta

de 1 mm<sup>2</sup> de sección. Esta fuerza es mayor cuanto menor es la sección total de la viruta y depende principalmente de la clase de material a mecanizar, la sección de viruta, geometría de la herramienta, ángulo de desprendimiento y de posición. Su valor se encuentra entre cuatro y cinco veces la resistencia del material para el acero hasta 60 kilogramos de resistencia, fundición y bronce; y de dos a tres para aceros duros.

La fórmula siguiente nos da los valores de K<sub>s</sub>:

$$K_s = \frac{K_1}{\sqrt[m]{S}} \quad \text{Ec. 2.2}$$

En donde: K<sub>s</sub> = fuerza específica de corte en kilogramos

$$K_1 = Un$$

*coeficiente que está en función de la clase de material a mecanizar. (Ver tabla 2).*

S = La sección de viruta en mm<sup>2</sup>.

m = Un coeficiente que fluctúa entre 4 y 8, según la clase de material.

Tabla 2. Valores de K<sub>1</sub>

| Ángulo de desprendimiento | ACERO                          |     |     |     | FUNDICIÓN      |     |     |
|---------------------------|--------------------------------|-----|-----|-----|----------------|-----|-----|
|                           | Resistencia del material en kg |     |     |     | Dureza Brinell |     |     |
| α                         | 50                             | 60  | 70  | 80  | 100            | 140 | 180 |
| 5                         | 263                            | 301 | 340 | 380 | 78             | 91  | 100 |

|    |     |     |     |     |    |    |    |
|----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|
| 10 | 254 | 291 | 329 | 367 | 75 | 87 | 95 |
| 15 | 245 | 280 | 317 | 354 | 71 | 82 | 91 |
| 20 | 235 | 270 | 304 | 340 | 58 | 78 | 86 |
| 25 | 225 | 258 | 291 | 325 | 64 | 74 | 82 |
| 30 | 215 | 246 | 278 | 310 | 60 | 70 | 76 |

---

La tabla 3 proporciona valores aproximados para  $K_s$ , pero que varían según las condiciones de trabajo, por lo tanto siempre que se requiera de mayor aproximación, se ha de recurrir a la fórmula anterior.

Tabla 3. Valores del coeficiente  $K_s$  de la fuerza específica de corte en función de la resistencia a la tracción del material.

| <b>Resistencia R</b>       | <b>Valores de <math>K_s</math></b> |
|----------------------------|------------------------------------|
| <b>Kg / mm<sup>2</sup></b> | <b>Kg</b>                          |
| 50                         | 228                                |
| 60                         | 278                                |
| 75                         | 320                                |
| 90                         | 360                                |
| 100                        | 380                                |

---

Una vez conocida la expresión para calcular la fuerza específica de corte  $K_s$ , la expresión para calcular la fuerza principal de corte  $F_1$  es la siguiente:

$$F_1 = K_s * S = K_1 \frac{S}{\sqrt[3]{S}} = K_s * p * a \quad \text{Ec. 2.3}$$

Donde:  $F_1$  = fuerza principal de corte en kg.

$K_s$  = fuerza específica de corte en kg.

$S = p$  (paso) \*  $a$  (avance) = sección de la viruta en  $\text{mm}^2$

En la tabla 4 se pueden obtener valores para  $\frac{S}{\sqrt[3]{S}}$  en función de  $S$ .

Tabla 4. Valores para  $\frac{S}{\sqrt[3]{S}}$  en función de  $S$

|                         | Acero |     |     |     |     |     |      | Fundición |     |     |   |     |      |      |
|-------------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----------|-----|-----|---|-----|------|------|
| $S$                     | 2     | 3   | 4   | 5   | 10  | 15  | 20   | 2         | 3   | 4   | 5 | 10  | 15   | 20   |
| $\frac{S}{\sqrt[3]{S}}$ | 1.75  | 2.4 | 3.1 | 3.6 | 6.4 | 8.8 | 11.2 | 1.8       | 2.6 | 3.3 | 4 | 7.3 | 10.4 | 13.3 |

2.5.5 Potencia de corte. La potencia necesaria en el filo para el avance del material, se compone de las potencias necesarias de avance correspondiente a cada una de las fuerzas estudiadas anteriormente ( $F_1, F_2, F_3$ ), así:

$P_T$  potencia para corte correspondiente a la fuerza de corte tangencial  $F_1$ .

$P_A$  potencia para el avance correspondiente a la fuerza de avance  $F_3$ .

$P_R$  potencia para la penetración correspondiente a la fuerza de penetración  $F_2$ .

Si  $V_T$  es la velocidad tangencial, la potencia de corte tangencial será:

$$P_T = F_1 * V_T \quad \text{Ec. 2.4}$$

Si  $V_A$  es la velocidad de avance, la potencia de avance será:

$$P_A = F_3 * V_A \quad \text{Ec. 2.5}$$

Como la fuerza  $F_2$  de penetración no se mueve, no consume potencia.

Por lo tanto, la potencia total estará dada por:

$$P = P_T + P_A \quad \text{Ec. 2.6}$$

Como la potencia  $P_A$  de avance es muy pequeña e inferior al 5% de  $P_T$ , puede ser despreciada en un cálculo aproximado; quedando como potencia necesaria en el filo:

$$P_C = P_T = F_1 * V_T \quad \text{Ec. 2.7}$$

Si tenemos la velocidad  $V$  en m/min, y deseamos obtener la potencia en CV, la fórmula 2.7 queda de la siguiente manera:

$$P_C = F_1 * V_T = \frac{F_1 * V}{60 * 75} \text{ [CV]} \quad \text{Ec. 2.8}$$

Esta es la potencia absorbida por el corte.

## 2.6 TIEMPO DE MECANIZADO EN EL TORNEADO

El tiempo de realización de una pieza torneada se compone de los tiempos de preparación, de manipulación (maniobra y verificación) y de máquina.

El tiempo de preparación para el trabajo realizado en los tornos puede verse en la tabla 5.

Tabla 5. Tiempos de preparación general de trabajo de algunas máquinas herramientas

| <b>Máquinas herramientas</b> | <b>Tiempos (min)</b> |
|------------------------------|----------------------|
| Cepilladoras medianas        | 60                   |
| Cepilladoras grandes         | 100                  |
| Limadoras normales           | 30                   |
| Mortajadoras normales        | 30                   |
| Tornos cilíndricos medianos  | 30                   |
| Tornos cilíndricos grandes   | 45                   |
| Tornos verticales            | 60                   |
| Taladradoras normales        | 30                   |
| Mandrinadoras pequeñas       | 45                   |
| Mandrinadoras grandes        | 45                   |
| Rectificadoras normales      | 30                   |
| Fresadoras normales          | 45                   |

En la tabla 6 se puede observar los valores del tiempo de manipulación (maniobra y verificación) para las operaciones más corrientes.

Tabla 6. Tiempos manuales para el torneado

| Detalle de las operaciones               | <i>Tornos de 2</i>    |               | <i>Tornos</i>  |
|--|-----------------------|---------------|----------------|
|  | <i>Tornos de 1 m.</i> | <i>a 4 m.</i> | <i>grandes</i> |
| Fijar útil y centrarlo                   | 0.3-0.5               | 0.5-0.7       | 0.3-1          |
| Acercar útil, iniciar pasada y medir     | 0.1-0.2               | 0.2-0.3       | 0.3-0.4        |
| Acercar herramienta para roscar exterior | 0.2                   | 0.2           | 0.2            |
| Acercar herramienta para roscar interior | 0.3                   | 0.3           | 0.3            |
| Fijar broca al cabezal móvil             | 0.3                   | 0.4           | 0.5            |
| Fijar escariador al cabezal móvil        | 0.4                   | 0.5           | 0.6            |
| Fijar las herramientas de roscar:        |                       |               |                |
| Roscado interior                         | 1                     | 1.5           | 1.5            |
| Roscado exterior                         | 1.5                   | 2             | 2              |
| Fijar herramientas para acabar           | 0.5-0.7               | 0.7-0.8       | 1-1.5          |

Respecto al tiempo de máquina, el tiempo  $t$  empleado en la pasada de torneado es:

$$t = \frac{L}{a * n} \quad \text{Ec. 2.9}$$

Siendo:  $L$  = la longitud de pasada, que es igual a la longitud de la pieza más 5 a 10 mm.

$a$  = el avance en mm

$n$  = el número de revoluciones por minuto.

Si a la pieza es necesario darle N pasadas iguales, el tiempo de máquina será:

$$T = N * t \quad \text{Ec. 2. 10}$$

Si las pasadas son de distintas profundidades de pasada o de avance, se determinan los tiempos de cada pasada y finalmente se halla el tiempo total sumando los tiempos parciales.

## 2.7 TIPOS DE ÚTILES DE TORNO

Cada trabajo exige el útil de torno más apropiado y de esta manera, habrá que escoger el útil cuya forma se adapte convenientemente a esos trabajos. Los principales útiles de torno están normalizados.

2.7.1 Útiles de desbastar. Al desbastar se trata de arrancar en poco tiempo una gran cantidad de viruta y por esta razón los útiles de desbastar tienen que ser de construcción robusta. Pueden ser rectos o tener forma curva. (Ver figura 20).

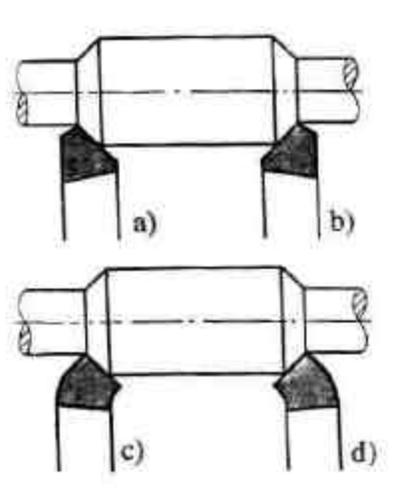


Figura 20. Útiles de desbastar. a) útil recto con corte a la izquierda, b) útil recto

con corte a la derecha, c) útil curvo con corte a la izquierda, d) útil curvo con corte a la derecha

Según la posición del corte principal puede distinguirse entre herramientas con corte a la derecha o con corte a la izquierda.

2.7.2 Útiles de afinar. (Ver figura 21). Mediante el afinado se trata de obtener una superficie cuidadosamente terminada. Generalmente, se emplea el útil de afinar puntiagudo con corte redondeado. En muchas ocasiones también se emplea el útil de afinar ancho. Para que la superficie de la pieza torneada resulte limpia, es necesario que el corte del útil de afinar se repase cuidadosamente con la piedra de afilar después de haber sido afilado.

Mediante el afinado no se trata solamente de que la superficie de la pieza resulte con buen aspecto; las superficies lisas son necesarias, además, para disminuir rozamientos de piezas que deslizan unas sobre otras como sucede, por ejemplo, con los gorriones en los cojinetes.

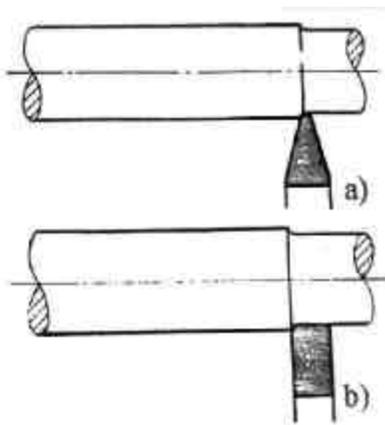


Figura 21. Útiles de afinar. a) útil de afinar puntiagudo, b) útil de afinar ancho.

2.7.3 Útiles de corte lateral. (Ver figura 22). Se utilizan para refrentar y para torneear entrantes o salientes formando esquinas muy marcadas. Son inapropiados para arrancar virutas gruesas por ser la cuchilla poco resistente debido a su forma puntiaguda.

El corte secundario no es adecuado para el arranque de viruta y por esta razón el útil debe moverse durante el trabajo de dentro hacia afuera.

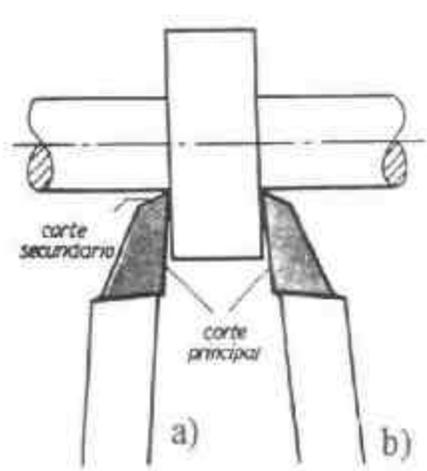


Figura 22. Útiles de corte lateral. a) útil de corte lateral a la izquierda, b) útil de corte lateral ala derecha.



### 3. DISEÑO DE LA MÁQUINA

La máquina alesadora tendrá como función principal mecanizar las superficies interiores de cualquier pieza de trabajo de diámetros comprendidos entre 5 pulg y 12 pulg nominales, con altura de trabajo de 2 mt y recorrido de husillos de 1,60 mt para un maquinado efectivo de 1,6 mt.

Esta máquina está compuesta principalmente por los siguientes elementos:

- Bastidor de 4 mt de altura x 0,710 mt de ancho.
- Eje transmisor del movimiento de rotación.
- Husillos de avance.
- Sistema de transmisión de avance (sistema sinfín-corona).
- Sistema de transmisión de rotación (sistema de engranajes cónicos).
- Sistema de reducción de velocidad de avance (sistema de transmisión por cadena).
- Dos motoreductores.
- Herramienta y portaherramientas.
- Sistema de fijación.

La máquina funcionará de la siguiente manera:

1. El operario debe alinear la pieza de trabajo y la máquina antes de accionarla (bujes, eje, pieza, etc.).

2. Luego de alineada la máquina, se coloca en posición el portaherramientas con su herramienta a la medida seleccionada del corte.
3. Seguidamente a la máquina se le accionan los interruptores para realizar el mecanizado en forma descendente.
4. Al llegar al punto final, los motores son desenergizados , la herramienta es retirada por la parte inferior para no dañar la superficie maquinada.
5. El eje es levantado con ayuda de una contrapesa posterior al bastidor.
6. El proceso se repite nuevamente a partir del ítem 2.
7. Cuando se ha dado la medida necesaria a la pieza de trabajo y el eje es devuelto a la posición superior, este puede ser extraído puesto que los cubos partidos que se desplazan por los husillos salen y la pieza bipartida de sujeción del eje y husillos aflojan el eje permitiendo sacarlo y por ende la pieza.

### 3.1 SELECCIÓN DEL ÚTIL

#### **Parámetros de selección**

- Diámetros interiores mínimo y máximo para alesar: 5 pulg. y 10 ½ pulg.
- Útil recomendado para un desbaste a bajas y a moderadas velocidades: útil con contenido de cromo.

- Profundidad de corte = 1 mm.
- Avance del eje: 1.15 mm/rev
- Velocidad de rotación del eje: 12.2 r.p.m.
- Avance de corte  $1.15 / 12.2 = 0.094$  mm/rev
- Tipo de acabado: pulido (espejo).
- Material de la pieza de trabajo: acero grado X42.

Esfuerzo último de rotura mínimo de la pieza de trabajo (tubo),  $S = 60.000$  psi.

Esfuerzo último de rotura máximo de la pieza de trabajo = 120.000 psi.

Esfuerzo de fluencia = 42.000 psi.

Según anexo A, el útil seleccionado es: plaquita SNMG – 61.

Donde:

S: forma plaquita cuadrada

N: filo de corte principal, ángulo de incidencia  $0^\circ$

M: tolerancia mm.

G: rompevirutas y/o tipo fijación.

### 3.2 SELECCIÓN DEL PORTAHERRAMIENTAS

#### Parámetros de diseño

- Diámetro interior del portaherramientas = 3 plg. Diámetro exterior del portaherramientas =  $4 \frac{3}{4}$  plg.

Según anexo B, el portaherramientas seleccionado es el PSDNN 2020K 12.

Donde:

P: fijación por el agujero

S: forma de la plaquita cuadrada

D: tipo de mango, ángulo de posición =  $45^\circ$

N: ángulo de incidencia de la plaquita  $0^\circ$

N: versión de la herramienta

### 3.3 SELECCIÓN DEL MOTOR

#### 3.3.1 Sistema de rotación.

#### **Parámetros de selección**

Los parámetros de selección que suministrará el movimiento de rotación, están sujetos a las características del moto-reductor que ya posee la empresa Inducosta Ltda..

Después de analizar que las características de dicho moto-reductor cumple con los requisitos exigidos por el diseño del sistema de transmisión, las especificaciones del motor seleccionado son las siguientes:

Reductor marca Cuñat S.A.

Potencia = 1 hp

r.p.m. de salida = 30

r.p.m de entrada = 1400

Relación de velocidad = 16 : 6

### **Potencia requerida al cortar**

La fuerza tangencial que actúa en una herramienta de corte, depende de su geometría, la profundidad del corte, la resistencia al corte del material, el ritmo de avance, el aumento en la velocidad de corte dentro del rango normal de la operación.

$$\text{Potencia (w)} = \text{ritmo de ejecución del trabajo} = \frac{\text{Trabajo realizado}}{\text{Tiempo invertido}}$$

$$\text{Potencia (w)} = \frac{\text{Fuerza(N)} \times \text{distan. movida al rededor de la circunferencia (m)}}{\text{Tiempo invertido (s)}}$$

$$= \frac{F_t \times 2p \times R \times n}{60}$$

Donde:  $F_t$  = fuerza tangencial

$R$  = radio de la pieza (mt).

$n$  = velocidad del husillo (rev/min)

La acción de avance de la herramienta sobre la pieza de trabajo requiere también la aplicación de potencia, sin embargo no solamente la fuerza axial es sustancialmente más baja que la fuerza tangencial, sino que la velocidad de corte es considerablemente menor que la velocidad de la pieza de esta forma, la potencia de avance es despreciable

al determinar la potencia requerida en determinada operación de corte.

Al calcular la potencia de corte requerida durante la planeación de un determinado proceso de maquinado, no siempre es conveniente o posible calcular la potencia requerida partiendo de la teoría mecánica de las fuerzas que actúan en la punta de la herramienta. Por lo anterior, se ha desarrollado un método de cálculo más simple a través de investigaciones experimentales, registrando sus resultados en tablas de potencia unitaria para diferentes tipos de materiales. Mediante la tabla siguiente puede calcularse la potencia requerida utilizando la expresión:

$$\text{Potencia (w)} = \text{Potencia específica} \times \text{Ritmo de eliminación del metal.}$$

Cuadro 1. Potencia específica

| Material                | Potencia Específica<br>W/mm <sup>3</sup> /s |
|-------------------------|---|
| Aleación de aluminio    | 1.25  |
| Latón ( de corte fácil) | 2.15  |
| Fundición gris          | 3.25  |
| Cobre                   | 1.7   |
| Acero de bajo carbono   | 3.5   |
| Acero de medio carbono  | 4.75  |
| Acero de alto carbono   | 6   |

Ritmo de eliminación de metal removido = volumen de metal removido por minuto

Volumen de metal removido por revolución = Área de corte x Circunferencia.

Área de corte = profundidad de corte (D) x avance por revolución (F).

Volumen de metal removido por revolución = Profundidad de corte (D) x Avance por revolución (F) x Circunferencia =  $D \times F \times \pi \times \phi$

Pero,  $\pi \times \phi \times n$  = velocidad de corte (mt/min)

Volumen metal removido x rev =  $D * F * V$  ó  $(D * F * V * 1000) / S$  ( $\text{mm}^3/\text{S}$ )

### **Cálculo de la potencia requerida**

Asumiendo:

Profundidad de corte =  $3/16$  in = 4.7625 mm

Avance = 0.05 mm/rev

$n = 20$  rev/min

Diámetro a maquinar = 10.75 in = 0.27305 mt

Velocidad de corte =  $\pi * D * n = \pi * 0.27305 \text{ mt} * 20 \text{ rev/min} = 17.16 \text{ mt/min}$

Volumen de metal removido =  $D * F * V = 4.7625 * 0.05 * 17.16 = 4.085 \text{ (mm}^2 * \text{mt)}/\text{min}$   
 $= 68.09 \text{ mm}^3/\text{s}$

Como la potencia requerida es:

Potencia (w) = Potencia específica x Ritmo de eliminación del metal.

Según la tabla anterior la potencia específica = 6, para un acero con alto carbono.

Potencia (w) =  $6 * 68.09 = 405.53 \text{ Watt} = 0.549 \text{ HP}$

Como la potencia disponible del motoreductor es de un HP, supera sustancialmente la potencia requerida por el sistema de transmisión, haciendo el diseño satisfactorio.

### 3.3.2 Sistema de avance.

#### **Parámetros de selección**

Los parámetros de selección que alimentará el sistema de avance de la herramienta de corte, están sujetos a las características de un moto-reductor existente en Inducosta Ltda., el cual cumple con los requisitos necesarios para el diseño del sistema dentro de la máquina.

Después de analizar que las características de dicho moto-reductor cumple con los requisitos exigidos por el diseño del sistema de avance, las especificaciones del motor seleccionado son las siguientes:

Motor eléctrico Marca SIEMENS

Potencia = 0.29 kW

IP 55

r.p.m. = 1620

Cos  $\phi$  = 0.72

Frecuencia = 60 Hz

Reductor Marca Cuñat S.A.

Potencia = 0.33 hp

Relación de velocidad = 45 :1

r.p.m de salida = 30

r.p.m. de entrada = 1340

## Potencia requerida para el avance

Para determinar la potencia requerida en el sistema de transmisión para el avance, Calcularemos la potencia que requieren los husillos roscados de diámetro 7/8 in – 9 UNRF.

Para un tornillo 7/8 in – 9 UNRF,  $2\alpha = 60^\circ$  —  $\alpha = 30^\circ$

Coeficiente de fricción  $\mu = 0.1$  (caso más crítico)

Peso del eje = 1395.4 N

Calcularemos la potencia mediante la expresión:

$$HP = (T \cdot n) / 63000$$

El cálculo del torque para un tornillo lo podemos conseguir mediante la expresión:

$$T = \frac{F \cdot dm}{2} \left( \frac{L + \mu dm \cdot \sec \alpha}{dm - \mu L \cdot \sec \alpha} \right)$$

donde: L = avance

$\mu$  = coeficiente de fricción

$\alpha$  = ángulo de avance

F = peso del eje / 2

$$dm = d - p/2 = 28.575 \text{ mm} - 2.82 \text{ mm} / 2 = 27.16 \text{ mm} = 27.16 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Reemplazando en la ecuación anterior,  $T = 1.4126 \text{ N.m}$

Entonces  $\text{HP} = 0.00010 \text{ HP}$

Para este diseño se cuenta con un motor que transmite  $0.5 \text{ HP}$ , lo que indica que el diseño es satisfactorio.

### 3.4 DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE TRANSMISIÓN

3.4.1 Sistema de transmisión para avance de la herramienta.

3.4.1.1 Diseño del sistema tornillo sinfín corona

#### **Condiciones de diseño**

Potencia de entrada (suministrada por el motor) =  $0.5 \text{ HP}$

Relación de velocidad,  $m_w = 30$

Distancia entre centros,  $C = 5.5$

Según anexo C, para bronce fosforado  $S_u = 80000 \text{ psi}$ .

➤ *Cálculo del diámetro primitivo del tornillo sinfín*

$$\frac{C^{0.875}}{3} \leq D_w \leq \frac{C^{0.875}}{1.7}$$

$$1.48 \leq D_w \leq 2.61$$

$$D_w = 1.75, \text{ pero } D_w \cong 3P_c \quad \text{---} \quad P_c = (1.75/3) = 0.58$$

➤ *Cálculo del diámetro primitivo de la corona*

$$D_g = 2C - D_w$$

$$D_g = 2 * 5.5 - 1.75 = 9.25 \text{ pulg.}$$

Ng debe ser múltiplo de 30

$$N_w = 1, 2, 3, 4$$

➤ *Cálculo del paso circular de la corona*

$$(D_g * \pi) / P_c \cong 30, 60, 90, 120$$

$$P_c = (9.25 * \pi) / 30 = 0.9687 \text{ ó } (9.25 * \pi) / 60 = 0.48 \text{ ó } (9.25 * \pi) / 90 = 0.32$$

Seleccionamos  $P_c = 0.48$ , estandarizando  $P_c = 1/2$  pulg.

➤ *Recalculando el diámetro primitivo de la corona y del tornillo sinfín*

$$D_g = (P_c * N_g) / \pi = (0.5 * 60) / \pi = 9.5493 \text{ pulg.}$$

$$D_w = 2 * 5.5 - 9.5493 = 1.451 \text{ pulg.}$$

➤ *Cálculo del ángulo de avance del tornillo sinfín*

$$\tan \alpha = (P_c * N_w) / (\pi * D_w) = (0.5 * 2) / (1.451 * \pi) = 0.219 \text{ — } \alpha = 12.373^\circ$$

➤ *Cálculo del factor de forma y*

Como  $N_g = 60$ , según anexo C,  $y = 0.134$

➤ *Cálculo del paso normal circular*

$P_{nc} = P_c * \cos \alpha = 0.4884$  pulg.

➤ *Cálculo del ancho del diente*

$b = 0.73 * D_w = 1.059$  pulg, estandarizando  $b = 1 \frac{1}{4}$  pulg.

➤ *Cálculo de la velocidad media de la corona*

$V_m = (\pi * D_g * N_g) / 12 = 10$  fpm

➤ *Cálculo de la fuerza transmitida*

$F_t = (33000 * HP) / V_m = 1650$  lbf

➤ *Cálculo de la fuerza tangencial de la rueda*

$S = S_o * (1200 / (1200 + V_m))$ , pero  $S_o = S_u / 3 = 80000 / 3$

—  $S = 26446.3$  psi

$F_{perm} = S * b * y * P_{nc} = 2163.5$  lbf

Como  $F_{perm} > F_t$ , el diseño es satisfactorio.

### **Comprobación del diseño por desgaste**

➤ *Cálculo de la carga dinámica*

$$F_d = ((1200 / (1200 + V_m)) * F_t = 1636.4 \text{ lbf}$$

➤ *Cálculo de la carga de desgaste*

$$F_w = D_g * b * B$$

Según anexo C, para bronce fosforado templado superficialmente,  $B = 150$

Finalmente,  $F_w = 1790.5 \text{ lbf}$ .

Como  $F_w > F_d$ , el diseño es satisfactorio.

### **Condiciones finales de diseño**

$$D_g = 9.55 \text{ pulg.}, N_g = 60$$

$$D_w = 1.451 \text{ pul.}, N_w = 2$$

$$P_c = 0.5 \text{ pulg.}$$

$$m_w = 30$$

$$b_{\text{corona}} = 1.25 \text{ pulg.}$$

Material de la corona: bronce fosforado templado superficialmente. SAE 64, B 139 – C.

Material del sinfín: acero AISI 1045.

### **Cálculos para la construcción**

#### ***Magnitudes del tornillo sinfín***

- Paso lineal,  $P = 0.5$  pulg. = 12.7 mm.
- Módulo,  $M = P / p = 12.7 / p = 4.04$ , estandarizando  $M = 4$
- Ángulo de inclinación del filete o de la hélice,  $\alpha = 12.373^\circ$
- Diámetro primitivo,  $d_p = (2P / \tan \alpha * \pi) = 36.856$  mm.
- Diámetro exterior,  $d_e = d_p + 2M = 44.856$  mm.
- Altura total del filete,  $h = 2.167 * M = 8.668$  mm.
- Diámetro el fondo del hilo,  $d = d_e - 2h = 27.52$  mm.
- Espacio entre filetes,  $C = P / 2 = 6.35$ ,  $e = P / 2 = 6.35$
- Al tura del pie del filete,  $l = 1.167 * M = 4.668$  mm.
- Ángulo en el flanco del filete,  $\beta = 20^\circ$
- Ancho en el fondo del filete y ancho de la punta de la cuchilla para roscar,

$$T = \left( \frac{P * \cotg \beta}{4} - 1 \right) * 2tg \beta = 2.952 \text{ mm}$$

- Longitud de la parte roscada,  $L_R = P * \left( 4.5 + \frac{N_g}{50} \right) = 72.39$  mm
- Extremos sin rosca,  $F = 12.7$  mm.
- Radio en la cabeza del filete,  $R = 0.05 * 12.7 = 0.635$  mm.

### ***Magnitudes de la corona***

- $M = 4$
- $De = (60 + 2) * 4 = 248 \text{ mm.}$
- $Dp = 60 * 4 = 240 \text{ mm.}$
- $Di = De + (0.4775 * P) = 254.06 \text{ mm.}$
- $A = 2.38 * P + 6 = 36.226 \text{ mm.}$
- $R = 0.5 * dp - M = 116 \text{ mm.}$
- $\alpha = 0.25 * 12.7 = 3.175 \text{ mm.}$
- $E = (Dp + dp) / 2 = 138.43 \text{ mm.}$

#### 3.4.1.2 Reducción por medio de cadena.

### **Condiciones de diseño**

Potencia = 1 HP

rpm a la salida del motor = 200

Se utilizará una cadena N° 40, puesto que la empresa Inducosta Ltda. poseía los dos sprockets necesarios para la transmisión de este sistema.

Según anexo D, para una cadena N° 40, paso =  $\frac{1}{2}$  pulg.

Número de dientes de la rueda grande,  $N_g = 57$  dientes

Número de dientes de la rueda pequeña,  $n_p = 20$  dientes

➤ *Cálculo de la velocidad media de la rueda pequeña*

$$V_m = (P * N_s * \eta_p) / 12 = 166.67 \text{ fpm}$$

➤ *Cálculo de la relación de velocidad*

$$m_w = 57 / 20 = 2.85 \quad \text{N}^\circ \text{ de revoluciones} = 70.175 \text{ rpm.}$$

➤ *Cálculo de la potencia de diseño*

$$(\text{HP}) \text{ diseño} = N_{sf} * \text{Potencia transmitida}$$

$$\text{Del anexo D, } N_{sf} = 1.1, \quad \text{--- } (\text{HP}) \text{ diseño} = 1.1 \text{ hp}$$

➤ *Cálculo de la potencia nominal*

a. Fatiga placa-eslabón:  $\text{HP} = 0.004 * 20^{1.08} * 200^{0.9} * (1/2)^{3-0.07^{(1/2)}} = 1.533$

b. Impacto casquillo-rodillo:  $\text{HP} = 17 * (100 * 20 / 200)^{1.5} * 1/2^{0.8} = 308.76$

➤ *Cálculo del número de ramales*

$$\text{N}^\circ \text{ ramales} = \text{Hp}_{\text{diseño}} / 1.533 = 0.7175 \cong 1 \text{ ramal}$$

➤ *Cálculo del diámetro primitivo de la rueda pequeña y de la rueda grande*

$$d_p = 1/2 * 20 / \pi = 3.183 \text{ pulg.}$$

$$D_g = (1/2 * 57) / \pi = 9.071 \text{ pulg.}$$

➤ *Cálculo de la distancia entre centros*

$$C = D_g + d_p / 2 = 10.6625 \text{ pulg.}$$

➤ *Cálculo de la longitud de la correa*

$$L = 2 * C + \frac{N_g + n_p}{2} + \frac{(N_g - n_p)^2}{40 * C} = 82.75 \text{ pasos}$$

$$L \cong 84 \text{ pasos}$$

➤ *Recalculando la distancia entre centros*

$$C = 10.98 \text{ pulg.}$$

3.4.1.3 Tornillo de potencia.

### Condiciones de diseño

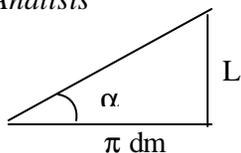
Para tornillo con  $D = 7/8''$ , paso  $P = L = 1/9$  hil/pulg

Diámetro del tornillo,  $D = 7/8$  pulg.

Diámetro medio,  $D_m = 0.8750$  pulg.

Revoluciones del tornillo de potencia,  $n = 6$  rpm.

*Análisis*



$$\text{Ángulo de avance, } \tan \alpha = L / \pi d_m \quad \text{--- } \alpha = 2.3146^\circ$$

Coefficiente de fricción,  $\mu = 0.07$

➤ *Cálculo de la carga axial de compresión*

$$F = W_{eje} / 2 = (256 / (2 * 2)) * 32.2 = 2060.8 \text{ lbf}$$

➤ *Cálculo del momento de rotación para elevar la carga*

$$T_{sub} = F \frac{dm}{2} \left( \frac{L + \mu dm}{pdm - \mu L} \right) \Rightarrow T_{sub} = 99.80 \text{ lbf} - \text{pulg}$$

$$HP = (T * n) / 63000 = (99.80 * 6) / 63000 = 0.0095 \text{ hp}$$

➤ *Cálculo de la fuerza necesaria para subir el eje*

$$T = F * d, \text{ pero } d = D_g / 2$$

$$\text{— } F = (2T) / D_g = (2 * 99.80) / 9.25 = 21.578 \text{ lbf}$$

Como la fuerza transmitida = 1135.66 lbf, —

$F_{transm} > F_{necesaria}$  para subir el eje, lo que indica que el diseño es satisfactorio.

### **Cálculo por resistencia**

Diámetro del eje,  $d = 0.875$  pulg.

$$E = 207 \text{ Gpa} = 30 \text{ Mpsi}$$

$$I = (\pi * D)^4 / 64 = (\pi * 0.875)^4 / 64 = 0.02877 \text{ pulg}^4.$$

Longitud del eje = 66.929 pulg = 1750 mm.

Fuerza que soporta el eje = 2060.8 lbf.

➤ *Cálculo de la carga crítica*

$$P_{cr} = (C * \pi^2 * E * I) / L^2$$

Como los extremos son empotrados, según anexo E,  $C = 1.2$ ; entonces,

$$P_{cr} = 2281.98 \text{ lbf.}$$

Como  $P_{cr} > F$ , no ocurre pandeo puesto que la carga aplicada es menor que la carga crítica.

Como la longitud del eje = 1750 mm, quiere decir que esta es la máxima longitud que puede tomar el mismo sin que ocurra pandeo.

3.4.2 Sistema de transmisión para rotación de la herramienta (Sistema de engranajes cónicos).

### **Condiciones de diseño.**

$$n = 360 \text{ rpm}$$

Potencia transmitida por el motor = 2 HP

**Se asumió:**

1. Material:

Acero AISI 1045.  $S_{UT} = 106700$  psi.

*Composición química %*

| C           | Mn          | Pmax | Smax | Si         |
|-------------|-------------|------|------|------------|
| 0.43 – 0.50 | 0.60 – 0.90 | 0.40 | 0.05 | 0.15 - 0.3 |

2. Número de dientes del engranaje ,  $N_g = 60$

3. Número de diente del piñón,  $N_p = 21$

4.  $\frac{L}{L - b} = \frac{3}{2}$

➤ *Cálculo de la relación de velocidad*

$$m_w = \frac{n_g}{n_p} \Rightarrow m_w = \frac{60}{21} \Rightarrow m_w = 2.857$$

➤ *Cálculo del torque*

$$T = \frac{63000 * 2HP}{360} = 350 \text{ lb} - \text{pulg}$$

➤ *Cálculo del número virtual de dientes del piñón,  $N_p$*

$$N_{ep} = \frac{N_p}{N_g} \sqrt{N_g^2 + N_p^2} \Rightarrow N_{ep} = 22.25$$

$$N_{eg} = \frac{N_g}{N_p} \sqrt{N_p^2 + N_g^2} \Rightarrow N_{eg} = 181.625$$

$$\text{Sea: } b = \frac{L}{3} = \frac{N_p}{6P_D} \sqrt{1 + R^2} = \frac{10.653}{P_D}$$

➤ *Cálculo del factor de forma*

Para el piñón

|                   |   |   |
|-------------------|---|---|
| Evolvente 20°     | } | Según anexo C, interpolando $y = 0,105$ . |
| $N_{ep} = 22.25$  |   |   |
| Profundidad total |   |   |

➤ *Cálculo del esfuerzo producido real:*

$$S_{\text{producido real}} = \frac{2 * T * P_d^2}{b * p * y * N_p} \left( \frac{L}{L - b} \right) \Rightarrow S_{\text{producido real}} = 14,228 P_d^3$$

➤ *Cálculo del esfuerzo permisible*

$$S_{perm} = S_o \left( \frac{1200}{1200 + v_p} \right) \text{ pero } S_o = \frac{1}{4} S_u = 26675 \text{ psi}$$

$$\text{Para un } P_d = 7 \Rightarrow D_p = \frac{21}{7} = 3 \text{ pulg} \Rightarrow V_{mp} = \frac{P}{12} D_p * N_p = 282.74 \text{ fpm}$$

$$\Rightarrow S_{perm} = 21588.36 \text{ psi}$$

$$\text{Con } P_d = 7, S_{\text{producido real}} = 14.228 * 7^3 = 4880.20 \text{ psi}$$

$$\text{Como } S_{\text{permisible}} = 21588.36 \text{ Psi} \geq S_{\text{producido real}} = 4880.20 \text{ Psi}$$

El diseño es satisfactorio por resistencia

➤ *Cálculo del diámetro primitivo de la rueda*

$$m_w = \frac{D_{pg}}{D_{pp}} \Rightarrow D_{pg} = 3 * 2.857 \Rightarrow D_{pg} = 8.571 \text{ in}$$

➤ *Recalculando y ajustando la longitud del diente b*

$$b = \frac{L}{3}, \text{ pero } L = \sqrt{1.5^2 + (8.571/2)^2} = 4.54 \text{ pulg}$$

$$\Rightarrow b = 1.5 \text{ pulg}$$

$$\text{cosa} = \frac{1.5}{4.54} = 0.3304$$

➤ *Cálculo del factor de esfuerzo por fatiga de la superficie del material del diente  $K_g$*

Evolute 20° profundidad total }  
Piñón de acero } según anexo C,  $K_g = 105$   
Rueda de bronce }

➤ *Cálculo del factor de relación  $Q$*

$$Q = \frac{2 * N_{eg}}{N_{eg} + N_e} \Rightarrow Q = 1,782$$

➤ *Calculo de la carga límite de desgaste*

$$F_w = \frac{D_p * b * K_g * Q}{\text{cosa}} \Rightarrow F_w = 1911.3 \text{ Lb}$$

➤ *Cálculo de la carga límite de fatiga*

$$F_s = \frac{S_o * b * p * y \left( \frac{L - b}{L} \right)}{P_d} \Rightarrow F_s = 1262.56 \text{ Lb}$$

➤ *Cálculo de la carga transmitida*

$$F_T = \frac{33000 * HP}{V_{mp}} \Rightarrow F_T = 233.43 \text{ Lb}$$

➤ *Cálculo del factor de deformación C para verificar cargas dinámicas*

$$\left. \begin{array}{l} \text{Error, } e = 0.002 \\ \text{evolvente } 20^\circ \end{array} \right\} \text{Según anexo C, } C=830$$

➤ *Cálculo de la carga dinámica*

$$F_d = F_T + \frac{0.05 * V_m * (F_t + Cb)}{0.05 * V_m + (F_t + Cb)^{1/2}} = 630.874 \text{ lb.}$$

Como  $F_w > F_d$ . El diseño es satisfactorio por desgaste.

Como  $F_s > F_d$ . El diseño es satisfactorio por fatiga.

**Cálculo de los datos para la fabricación:**

$$D_p = N * M \text{ — } 25.4 * 8.751 = 60 * M \text{ — } M = 3.70$$

$$\text{Para una fresa de } M = 3.25 \text{ — } D_p = 60 * 3.25 \text{ — } D_{pg} = 195 \text{ mm} = 7.677 \text{ pulg}$$

$$D_{pp} = (D_{pg} * 21)/60 = 2.687 \text{ pulg.}$$

$$V_m = (\pi/12) * 2.687 \text{ pulg} * 360 \text{ rpm} = 253.24 \text{ fpm}$$

$$L = 4.066 \text{ pulg}$$

$$b = 1.355 \text{ pulg, } b_{\text{stand}} = 1 \frac{3}{8} \text{ pulg}$$

$$\cos \alpha = 0.3304$$

$$\text{Como } Q = 1.782, K_g = 105, y = 0.105$$

$$F_w = 1569.23 \text{ lb, } F_s = 1143.91 \text{ lb, } F_d = 463.5 \text{ lb}$$

## Condiciones finales del diseño

Rueda

Módulo = 3.25

Número de dientes  $N = 60$

Diámetro primitivo  $D_g = 195 \text{ mm}$  (7.677 pulg)

Diámetro exterior  $D_e = 2M \cos \alpha_1 + D_p = 2 * 3.25 * 0.9438 + 195 \text{ mm}$

$$D_e = 201.13 \text{ mm}$$

### ***Piñón***

Módulo = 3.25

Número de dientes = 21

Diámetro primitivo  $D_p = 68.25 \text{ mm}$

Diámetro exterior  $D_e = 2M \cos \alpha_2 + D_p = 2 * 3.25 * 0.33 + 68.25 \text{ mm}$

$$D_e = 70.56 \text{ mm}$$

*Material:* piñón y engranaje del mismo material, Acero AISI 1045

## 3.5 DISEÑO DEL EJE TRANSMISOR DEL MOVIMIENTO DE ROTACIÓN DE LA HERRAMIENTA

### Parámetros de diseño

- Eje redondo de 3 plg. de diámetro x 4 m. de largo de sección constante a lo largo de su longitud.
- Según anexo F, cuñero de 5/8 plg = 15.875 mm. de ancho x 3/8 plg = 9.525 mm. de alto a lo largo de toda la longitud del eje.

- Material del eje: Acero AISI 1045.  $S_{UT} = 106700$  psi.

*Composición química %*

| C           | Mn          | Pmax | Smax | Si         |
|-------------|-------------|------|------|------------|
| 0.43 – 0.50 | 0.60 – 0.90 | 0.40 | 0.05 | 0.15 - 0.3 |

### 3.6 DISEÑO DE LA CUÑA

#### Parámetros de diseño

- Según anexo F, el coeficiente de servicio para carga permanente y basado en la resistencia máxima,  $N = 3$ .
- Diámetro del eje de transmisión = 7.62 cm.
- Potencia transmitida por el motor al sistema de engranajes cónicos = 2 HP
- Revoluciones de salida del sistema de engranajes cónicos,  $n = 100$  rpm
- Material de los engranajes cónicos y del eje (ver anexo F): Acero AISI 1045.  $S_y = 4148 \text{ kg/cm}^2 = 59 \text{ Ksi}$
- Tomando un material más débil para la chaveta, acero AISI 1020 —  $S_y = 3374 \text{ kg/cm}^2$ .

Como el material de la chaveta es más débil que el del eje y engranajes cónicos, entonces los cálculos de los esfuerzos están basados en el valor de  $S_y$  de la chaveta:

- *Cálculo del esfuerzo por cizalladura*

$$S_s = (0.5 * S_y) / N = (0.5 * 3374) / 3 = 562.33 \text{ kg/cm}^2$$

➤ *Cálculo del esfuerzo por aplastamiento*

$$S_c = (S_y / N) = 1124.667 \text{ kg/cm}^2$$

➤ *Cálculo del momento de torsión transmitido*

$$T = (71620 * CV) / n = (71620 * 2) / 100 = 1432.4 \text{ cm/kg}$$

Según anexo F, para un eje de 76.2 mm., se requiere de una chaveta con  $b = 16 \text{ mm}$ ,  $t = 10 \text{ mm}$ , para chaveta rectangular.

➤ *Cálculo de la longitud de la chaveta*

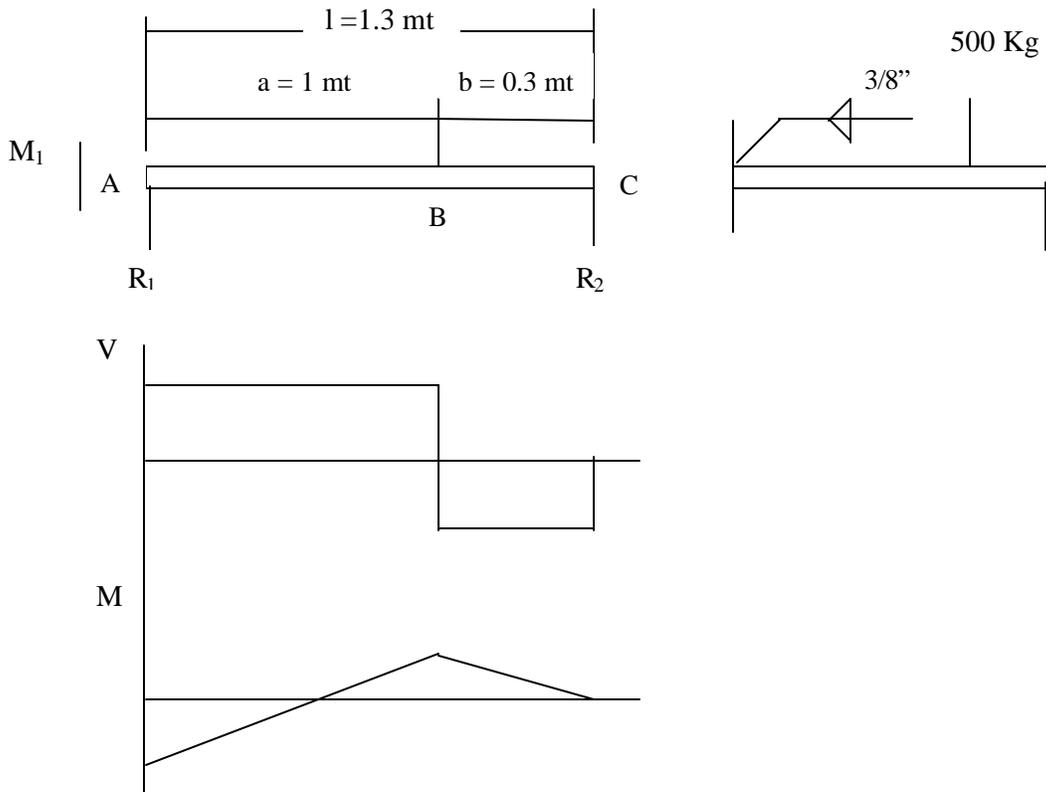
$$\text{Por cizalladura, } L = (2 * T) / (S_s * b * D) = 0.418 \text{ cm.}$$

$$\text{Por aplastamiento, } L = (4 * T) / (S_c * t * D) = 0.668 \text{ cm}$$

Por el cálculo anterior observamos que la longitud mínima que puede tomar la chaveta es 0.418 cm, lo que indica que para las condiciones de nuestro diseño (longitud del eje = 400 cm) este cálculo es satisfactorio.

### 3.7 ANÁLISIS DE SOLDADURA PARA LA UNIÓN DEL BASTIDOR CON LOS BRAZOS DE SOPORTE

Analizaremos el comportamiento de la soldadura en los brazos de soporte de los elementos de transmisión de la máquina, en los que se encuentra una carga intermedia apoyada en los extremos de la viga (perfil cuadrado de 4" x 4" x 3/16"), uno empotrado en un extremo y el otro con apoyo simple.



Donde la fuerza  $F$  es la fuerza que soportará cada uno de los brazos soportes de los elementos de transmisión. La fuerza  $F$  es estimada por el peso de los elementos que soportan dichos soportes.

Cuadro 2. Peso de los elementos de los sistemas de transmisión

| Item | Descripción                           | Cantidad | Unidad | W unitario | W total |
|------|---------------------------------------|----------|--------|------------|---------|
|      |                                       |          |        | kg         | kg      |
| 1    | Moto reductor de 1 h.p. sist. Avance. | 1        | Ud     | 32         | 32      |
| 2    | Chumaceras TU 30 TF                   | 2        | Ud     | 1.25       | 2.5     |
| 3    | Tornillo sinfín F 45 mm               | 1        | Ud     | 8.79       | 8.79    |
| 4    | Coronas                               | 2        | Ud     | 16.96      | 33.92   |
| 5    | Rodamientos ref. 30304                | 2        | Ud     | 0.17       | 0.34    |
| 6    | Lámina A36 30 mm 70 x50 cms           | 2        | Ud     | 87.5       | 175     |
| 7    | Husillos de avance F 7/8" x 1.8 mts   | 2        | Ud     | 9.         | 18.4    |
| 8    | Eje AISI 1045 F 3" x 4 mts.           | 1        | Ud     | 256        | 256     |
| 9    | Lámina A36 30 mm 356 x 100 mm         | 1        | Ud     | 12.2       | 12.2    |
| 10   | Rodamiento ref. 61822                 | 1        | Ud     | 0.6        | 0.6     |
| 11   | Rodamientos ref. 32006X               | 2        | Ud     | 0.17       | 0.34    |
| 12   | Piñón conductor cónico F 70.3 mm      | 1        | Ud     | 3.75       | 3.75    |
| 13   | Rueda conducida cónica F 201 mm       | 1        | Ud     | 18.3       | 18.3    |
| 14   | Lámina A36 30 mm 70 x 50 mm           | 2        | Ud     | 87.5       | 175     |
| 15   | Moto reductor de 1 h.p.               | 1        | Ud     | 32         | 32      |
| 16   | Buje primario de apoyo                | 1        | Ud     | 21.166     | 21.166  |
| 17   | Buje secundario de apoyo              | 1        | Ud     | 10.372     | 10.372  |
| 18   | Tubo Cuadrado 4 x 4 x 1/4"            | 3.3      | Mts    | 18.88      | 62.304  |
| 19   | Tubo Cuadrado 5 x 5 3/16"             | 3.3      | Mts    | 18.12      | 59.796  |
| 20   | Porta herramientas                    | 1        | Ud     | 12.12      | 12.12   |
| 21   | Lámina A36 19 mm                      | 1        | Ud     | 57.8       | 57.8    |

Para un peso total de 991.298 ~ 1000 kg. Como se trata de dos brazos que soportan la carga, el valor de la fuerza que actúa en cada brazo es de 500 kg.

Según el anexo G:

$$R_1 = \frac{F \cdot b}{2 \cdot l^3} (3 \cdot l^2 - b^2) = \frac{500 \text{ kg} \cdot 9.81 \text{ m/s}^2 \cdot 0.3}{2 \cdot 1.3^3} \cdot (3 \cdot 1.3^2 - 0.3^2)$$

$$R_1 = 1666.04$$

$$R_2 = \frac{F \cdot a^2}{2 \cdot l^3} \cdot (3 \cdot l - a) = \frac{4900 \cdot 1^2}{2 \cdot 1.3^3} \cdot (3 \cdot 1.3 - 1)$$

$$R_2 = 3233.95$$

$$M_1 = \frac{F \cdot b}{2 \cdot l^2} \cdot (b^2 - l^2) = \frac{4900 \cdot 0.3}{2 \cdot 1.3^2} \cdot (0.3^2 - 1.3^2)$$

$$M_1 = -695.85 \text{ N} - \text{m}$$

$$y_{AB} = \frac{F \cdot b \cdot x^2}{12E \cdot I \cdot l^3} \cdot [3 \cdot l \cdot (b^2 - l^2) + x \cdot (3l^2 - b^2)]$$

Considerando que el tipo de unión en el punto A es soldadura por arco y que soporta un tipo de carga a flexión, a la cual se le aplicó un pase de soldadura E 6010 1/8" con  $S_u = 427 \text{ Mpa} = 62 \text{ Kpsi}$ ,  $S_y = 345 \text{ Mpa} = 50 \text{ Kpsi}$  (ver anexo H) y porcentaje de elongación de 7-25 para penetración y luego un segundo pase de relleno con soldadura 7018 5/32",  $S_u = 482 \text{ Mpa}$ ,  $S_y = 393 \text{ Mpa}$  y % elongación de 22.

Como la carga es a flexión y junta a tope, según anexo H:

El esfuerzo permisible para metal soldante =  $0.6 - 0.66S_y$

Con un factor de seguridad considerando el criterio de energía de distorsión entre 1.52 y 1.67. Tomamos  $n = 1.6$ .

Los materiales a soldar son:

Tubos de aceros del mismo material ASTM A 513 de 5" x 5" x 1/8" y 4" x 4" x 3/16" respectivamente (perfiles cuadrados de norma ASTM A500 grado C. Ver anexo I).

**Para el uso del E 6010 calcularemos el valor de la fuerza que puede aplicarse a la unión:  $S_u = 62$  Kpsi,  $S_y = 50$  Kpsi**

➤ **Cálculo del límite de resistencia a la fatiga  $S_e$  del perfil cuadrado de 4" x 4" x 3/16"**

$$S_e = K_a * K_b * K_c * K_d * K_e * S_e'$$

Donde:  $S_e'$  = límite de resistencia a la fatiga de la muestra de viga rotatoria.

$K_a$  = factor de superficie

$K_b$  = factor de tamaño

$K_c$  = factor de carga

$K_d$  = factor de temperatura

$K_e$  = factor de efectos diversos

$$\text{Como: } S_e' = \begin{cases} 0.504S_{ut} & S_{ut} \leq 200 \text{ Kpsi} \\ 100 \text{ Kpsi} & S_{ut} > 200 \text{ Kpsi} \end{cases}$$

Como  $S_{ut} \leq 200$  Kpsi, entonces  $S_e' = 0.504 * 62 \text{ Kpsi} = 31.248 \text{ Kpsi}$ .

### **Cálculo del factor de superficie $K_a$**

$$K_a = a * S_{ut}^b$$

Según anexo H, para acabado laminado en caliente:  $a = 39.9 \text{ Kpsi}$

$$b = - 0.995$$

Finalmente,  $K_a = 0.657$

### **Cálculo del factor de tamaño $K_b$**

$$K_b = (d/0.3)^{-0.1133} \text{ pulg} \quad 0.11 \leq d \leq 2 \text{ pulg}$$

Para tamaños mayores,  $K_b$  está comprendido entre 0.60 y 0.75 en flexión y torsión.

Para una sección rectangular,  $d_e = 0.808 * (hb)^{1/2} = 0.808 * A$

Pero  $A$  para el caso de análisis de soldadura, según anexo J:

Área de la garganta,  $A = 1.414 h * (b+d)$ , donde  $h$  es la garganta

$$A = 1.414 * 3/8'' * (4'' + 4'') = 4.242 \text{ pulg}^2$$

Finalmente,  $d_e = 3.3936 \text{ pulg}$ .

Como de es mayor al rango  $0.11 \leq d \leq 2$  pulg, entonces asumimos  $K_b = 0.7$ .

### **Cálculo del factor de carga $K_c$**

$$K_c = \begin{cases} 0.932 & \text{carga axial} & S_{ut} \leq 220 \text{ Kpsi} \\ 1 & \text{carga axial} & S_{ut} > 220 \text{ Kpsi} \\ 1 & \text{flexión} & \\ 0.577 & \text{torsión y cortante} & \end{cases}$$

Por tanto  $K_c = 1$ .

### **Cálculo del factor de temperatura $K_d$**

$$K_d = S_T / S_{RT}$$

Donde:  $S_T$  = resistencia a la tensión a la temperatura de operación

$S_{RT}$  = resistencia a la tensión a la temperatura del lugar de trabajo

Para una temperatura ambiente de  $30^\circ \text{C}$  (ver anexo K),

$S_T / S_{RT} \approx 1$ , entonces  $K_d = 1$ .

### **Factor de efectos diversos $K_e$**

Considerando concentración de esfuerzos en las juntas a soldar:

$K_e = 1 / K_f$ , donde  $K_f$  = es el factor de reducción de la resistencia a la fatiga.

Según anexo K,  $K_f$  para tipo de junta con refuerzo  $K_f = 1.2$

Finalmente,  $K_e = 0.833$ .

Finalmente, el valor del límite de resistencia a la fatiga es:  $S_e = 12.051$  Kpsi.

Basándonos en la relación de Goodman modificado, tenemos:

$$\frac{s_a}{S_e} + \frac{s_m}{S_{ut}} = \frac{1}{F.S.}$$

El esfuerzo cortante debido a  $R_1$  es:  $\tau = R_1 / A$ ,

Donde  $A$  es el área de la garganta =  $4.242 \text{ pulg}^2$ .

El esfuerzo de corte debido al momento  $M_1$  es:  $\tau = (M \cdot c) / I_u$

Donde  $I_u = (d^2 / 6) * (3b + d) = (4^2 / 6) * (3 \cdot 4 + 4) = 42.667 \text{ pulg}^3$

El segundo momento de área con respecto a un eje que pasa por  $G$  paralelo al eje  $z$  (ver anexo J) es:

$$I = 0.707 * h * I_u = 0.707 * (3/8 \text{ pulg} * 42.667 \text{ pulg}^2) = 11.312 \text{ pulg}^4$$

Esfuerzo principal de flexión y torsión combinada:

$$s' = (s_x^2 + 3t_{xy})^{1/2}$$

$$s_a = s_m = \sqrt{\left(\frac{F}{4.242}\right)^2 + 3 * \left(\frac{718.63F * 2}{11.312}\right)^2} \rightarrow s_a = 5.701F$$

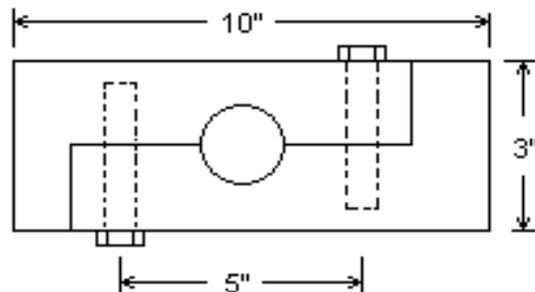
$$\frac{5.701F}{12051 \text{ Psi}} + \frac{5.701F}{62000 \text{ Psi}} = \frac{1}{1.6}$$

$$F = 28.975 \text{ Klbs} > F_{real} = 11,0112 \text{ Klbs}$$

El diseño cumple por resistencia.

### 3.8 DISEÑO DE LOS TORNILLOS PARA LA UNIÓN DE LAS PLACAS DE SUJECCIÓN DEL EJE TRANSMISOR

Para el desarrollo de este diseño se asumió inicialmente el número y la clase de pernos de acuerdo a la geometría de la máquina. Finalmente se comprobó que los pernos asumidos si son adecuados para el diseño.



Número de pernos = 2

Pernos SAE grado 5 con diámetro = 5/8 pulg, 11 hilos por pulgada (ver anexo L).

El objetivo de los pernos es aplicar y mantener la presión entre las dos piezas que sujetan el eje de transmisión de rotación, considerando que la fuerza de separación para el caso más crítico será igual a la fuerza principal de corte = 0.722 KN = 0.1622 Kpsi.

Según anexo L:

Área de esfuerzo de tensión  $A_t = 0.226 \text{ pulg}^2$

Acero de mediano carbono, templado y revenido,  $S_p = 85 \text{ Kpsi}$

$S_{ut} = 120 \text{ Kpsi}$

$S_y = 92 \text{ Kpsi}$

Para tomar la determinación de si es factible o no utilizar este tipo de perno, se procede a calcular el factor de seguridad (n), cualquier valor de  $n > 1$ , asegura que el esfuerzo en el perno es menor que la resistencia límite.

$$n = \frac{S_p * A_t - F_i}{CP}$$

*Cálculo de la precarga o fuerza de sujeción ( $F_i$ )*

$F_i = 0,75 * F_p$ , para condiciones reutilizables; donde la carga límite  $F_p = A_t * S_p$

$F_i = 0,75 * A_t * S_p = 0,75 * 0.226 * 85 * 10^3$

$F_i = 14407.5 \text{ lbs}$

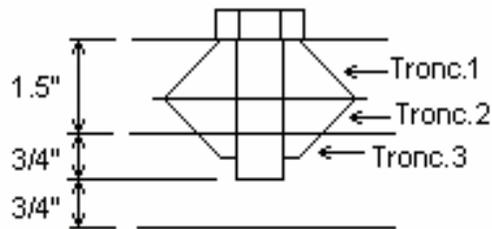
*Cálculo de la constante de unión C*

$$C = \frac{K_b}{K_b + K_m}$$

$K_b$ : Rigidez efectiva estimada del perno

Módulo de elasticidad del perno  $E = 30 \text{ MPsi}$

$$A_d = (\pi/4) * (5/8 \text{ pulg})^2 = 0.3067 \text{ pulg}^2$$



$$L_B = 1\frac{1}{2}'' + \frac{3}{4}'' = 2\frac{1}{4}''$$

Como la longitud total del sujetador  $L \leq 6'' \rightarrow L_T = 2d + 1/4$

$$L_T = \frac{1}{2} \text{ pulg}$$

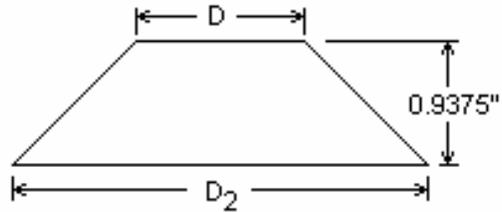
$$L_d = L_B - L_T = 2\frac{1}{4} - 1\frac{1}{2} = \frac{3}{4} \text{ pulg}$$

Reemplazando en  $K_b$ :

$$K_b = \frac{0.3067 * 0.226 * 30 * 10^6}{0.3067 * 1.5 + 0.226 * 0.75} = 3.303 * 10^6 \frac{\text{lbs}}{\text{pulg}}$$

*Cálculo del valor de  $K_m$*

## Troncocono 1



$$D = 1,5d = d_w \text{ (Diámetro de la cara inferior de la cabeza del tornillo)}$$

$$D_2 = 1,5d + (2 * 0.9375 * \tan 30^\circ)$$

$$D_2 = 1,5 * 0.625 + (2 * 0.9375 * \tan 30^\circ)$$

$$D_2 = 2.02 \text{ pulg}$$

$$K_1 = \frac{0,577 * p * E * d}{\ln \left[ \frac{(1,15t + D - d) * (D + d)}{(1,15t + D + d) * (D - d)} \right]}$$

donde  $E = 30 \text{ Mpsi}$

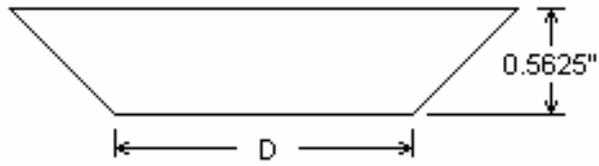
$$d = 0.625 \text{ pulg}$$

$$D = 0.9375 \text{ pulg}$$

$$t = 0.9375 \text{ pulg}$$

$$K_1 = 35.09 \text{ Mlbs/pulg}$$

## Troncocono 2



$$K_2 = \frac{0,577 * p * E * d}{\text{Ln} \left[ \frac{(1,15t + D - d) * (D + d)}{(1,15t + D + d) * (D - d)} \right]}$$

donde  $E = 30 \text{ Mpsi}$

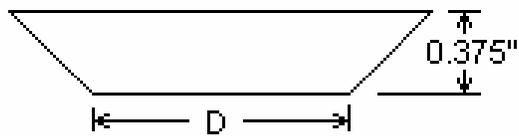
$$d = 0.625 \text{ pulg}$$

$$D = 1.37 \text{ pulg}$$

$$t = 0.5625 \text{ pulg}$$

$$K_2 = 34.45 \text{ Mlbs/pulg}$$

Troncocono 3



$$K_3 = \frac{0,577 * p * E * d}{\text{Ln} \left[ \frac{(1,15t + D - d) * (D + d)}{(1,15t + D + d) * (D - d)} \right]}$$

donde  $E = 30 \text{ Mpsi}$

$$d = 0.625 \text{ pulg}$$

$$D = 0.9375 \text{ pulg}$$

$$t = 0.375 \text{ pulg}$$

$$K_3 = 226.22 \text{ Mlbs/pulg}$$

Para calcular el valor de  $K_m$ , se procede de la siguiente manera:

$$\frac{1}{K_m} = \frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} + \frac{1}{K_3}$$

$$K_m = 16.14 \text{ Mlbs/pulg}$$

$$\text{Finalmente, } C = \frac{3.303 * 10^6}{3.303 * 10^6 + 16.14 * 10^6} = 0.1698$$

Reemplazando en  $n$ , tenemos:

$$P = 0.722 \text{ KN} = 162.24 \text{ lbs (Carga de tensión externa).}$$

$$P \text{ en cada tornillo} = P/2 = 81.12 \text{ lbs}$$

*Factor de carga con base en la resistencia límite:*

$$n = \frac{85 * 10^3 * 0.226 - 14.4075 * 10^3}{0.1648 * 81.12} = 359.23$$

*Factor de carga con base en la separación de las juntas:*

$$n = \frac{F_i}{P * (1 - C)} = 213.64$$

Los pernos seleccionados son SAE grado 5, 5/8" – 11NC.

### 3.9 SELECCIÓN DE RODAMIENTOS

Los rodamientos que soportan los tornillos roscados transmisores del avance, se ven sujetos a cargas de empuje debido al peso de los tornillos y las coronas, y debido también a las fuerzas axiales que operan.

Los rodamientos de rodillos cónicos tienen los rodillos dispuestos entre los caminos de rodadura cónicos de los aros interior y exterior. Las superficies cónicas de ambos caminos, al prolongarlas, convergen sobre un mismo punto en el eje del rodamiento. Esto implica que las condiciones de rodadura son óptimas. El diseño de estos rodamientos los hace especialmente adecuados para soportar cargas combinadas (radiales y axiales).

Para esta aplicación la selección de dichos rodamientos estuvo limitada por el espacio sobrante después de haber instalado los elementos externos y por el espacio interno del

cuerpo del bastidor.

3.9.1 Selección de los rodamientos instalados para sujetar el extremo inferior de los tornillos roscados transmisores del avance.

*Rodamientos N° 1*

Fuerza axial =  $W_{\text{tornillo}} + W_{\text{corona}} + W_{\text{lámina}}$  donde se alojan los rodamientos superiores.

$$F_a = 9.2 \text{ kg} + 16.9 \text{ kg} + 11.5 \text{ kg} = 37.6 \text{ kg} = 0.36848 \text{ kN.}$$

De acuerdo a la posición de este rodamiento en el sistema de transmisión de avance de la máquina, físicamente se puede observar que dicho rodamiento soportará la mayor parte de la carga (se asumió un 80 % de la fuerza axial).

$$F_a = 0,8 * 0,36848 = 0,294784 \text{ kN.}$$

Para un diámetro interior del rodamiento igual a 20 mm (diámetro del extremo del tornillo roscado). Del anexo M :

$$C = 34,1 \text{ kN} \quad C_o = 32,5 \text{ kN} \quad e = 0,30$$

Verificando que se cumplan las condiciones necesarias para una efectiva selección en los rodamientos:

Para el caso más crítico: fuerza radial = fuerza de corte

$$\text{Fuerza de corte} = K_s * p * a = 0.722 \text{ kN.}$$

Donde:  $p = \text{paso} = 0.094 \text{ mm.}$

$a = \text{avance} = 2.82 \text{ mm.}$

$K_s = \text{fuerza específica de corte. Según tabla 3, } K_s = 278 \text{ kg, para un acero de}$   
 $\text{resistencia} = 60 \text{ kg/mm}^2.$

Fuerza radial

$$F_r = 0.722 \text{ kN}$$

$$F_a/F_r = 0,41 \quad Y = 2 \quad Y_o = 1.1$$

Cálculo de la carga dinámica equivalente

$$\text{Como } F_a/F_r > e \quad \text{---} \quad P = 0.4 * F_r + Y * F_a = 0.878368 \text{ kN}$$

Cálculo de la carga estática equivalente

$$P_o = 0,5 * F_r + Y_o * F_a = 0,6852624 \text{ kN}$$

$$\text{Como } P_o < F_r \quad \text{---} \quad P_o = F_r = 0.722 \text{ kN.}$$

Comparando las cargas dinámicas y estáticas con las que resiste el rodamiento,

se puede observar que el rodamiento seleccionado es adecuado, cuya designación es:  
30304, según anexo M.

.

Rodamiento N° 2

De acuerdo a la posición de este rodamiento en el sistema de transmisión de avance de la máquina, físicamente se puede observar que dicho rodamiento soportará la menor parte de la carga (se asumió un 20 % de la fuerza axial).

$$F_a = 0,2 * 0.36848 = 0,073696 \text{ kN.}$$

Para un diámetro del extremo del tornillo transmisor de avance de 30 mm

$$C = 35.8 \text{ kN} \quad C_o = 44 \text{ kN} \quad e = 0,43$$

Verificando que se cumplan las condiciones necesarias para una efectiva selección en los rodamientos:

Fuerza radial

$$F_r = 0,722 \text{ kN}$$

$$F_a/F_r = 0,102072 \quad Y = 1.4 \quad Y_o = 0.8$$

Cálculo de la carga dinámica equivalente

$$\text{Como } F_a/F_r < e \quad \text{---} \quad P = F_r = 0,722 \text{ kN}$$

Cálculo de la carga estática equivalente

$$P_o = 0,5 * F_r + Y_o * F_a = 0,4199568 \text{ kN}$$

Como  $P_o < F_r$  , entonces  $P_o = F_r = 0.722 \text{ kN}$ .

Comparando las cargas dinámicas y estáticas, con las cargas que resiste el rodamiento, se puede observar que el rodamiento seleccionado es adecuado, cuya designación es: 32006 X, según anexo M .

#### 4. EVALUACIÓN DEL MECANIZADO ECONÓMICO

##### 4.1 COSTO DE LA MÁQUINA

Cuadro 3. Costo de la máquina

| ITEM | DESCRIPCIÓN                             | CANTIDAD | VALOR    | VALOR   |
|------|---|----------|----------|---------|
|      |   |          | UNITARIO | TOTAL   |
| 1    | Cemento x 50 kilos                      | 20       | 13.621   | 272.420 |
| 2    | Varillas ½ x 6 mt                       | 11       | 5.776    | 63.536  |
| 3    | Arena fina x metro                      | 2        | 22.759   | 45.518  |
| 4    | Buje bronce fosforado 4"x2 1/2"x20"     | 1        | 400.000  | 400.000 |
| 5    | Barra de acero AISI 1045 8 ¼" x 5"      | 1        | 153.700  | 153.700 |
| 6    | Barra de acero AISI 1045 3 ½" x 2 ½"    | 1        | 150.00   | 150.00  |
| 7    | Barra de acero AISI 1045 2" x 28"       | 1        | 38.000   | 38.000  |
| 8    | Buje de bronce de 8 1/2" x 10 ½" x 1 ¾" | 2        | 150.000  | 300.000 |
| 9    | Rodamientos 30304                       | 2        | 28.000   | 54.000  |
| 10   | Rodamientos 32006 X                     | 2        | 42.000   | 84.000  |
| 11   | Arandelas de fijación KM 5              | 5        | 12000    | 60.000  |
| 12   | Lámina A36 de 25 mm.                    | 1        | 92.000   | 92.000  |
| 13   | Lámina A36 de 12 mm.                    | 1        | 142.000  | 142.000 |

|             |  |        |           |            |
|-------------|--|--------|-----------|------------|
| 14          | Lámina A36 de 30 mm.                           | 1      | 133.000   | 133.000    |
| 15          | Tubo cuadrado de 5" x 5" x 1/8" x<br>19.8 mts  | 1      | 313.256   | 313.256    |
| 16          | Tubo cuadrado de 4" x 4" x 3/16" x<br>39.3 mts | 1      | 426.615   | 426.615    |
| 17          | Barra de acero AISI 1045 3" x 4 m.             | 1      | 672.000   | 672.000    |
| 18          | Soldadura 6010 1/8" x Kg                       | 25     | 4600      | 115.000    |
| 19          | Soldadura 7018 5/32" x Kg                      | 40     | 5200      | 208.000    |
| 20          | Tornillos                                      | Global | 196.000   | 196.000    |
| 21          | Motoreductores                                 | 2      | 80.000    | 160.000    |
| 22          | Chumaceras                                     | 2      | 42.000    | 84.000     |
| 23          | Sprocket 57B40                                 | 1      | 35.000    | 35.000     |
| 24          | Cadena N° 40 de 84 pasos                       | 1      | 28.500    | 28.500     |
| 25          | Mano de obra                                   | Global | 7'787.500 | 7'787.500  |
| 26          | Tubo Cuadrado de 2 3/4" x 2 3/4" x 4<br>mts    | 1      | 27.352    | 27.352     |
| 27          | Tubo de 6" sch 40 x 2 mts                      | 1      | 20.000    | 40.000     |
| 28          | Rodamiento ref. 61822                          | 1      | 250.000   | 250.000    |
| Valor total |  |        |           | 12'334.397 |

Según investigaciones realizadas en Internet ([www.maquinet.com.arg](http://www.maquinet.com.arg)), se encontró que el valor de una máquina alesadora (Alesadora TOS H80 (1961) - Husillo 80 mm. XYZ: 1100x1000x900 mm.) ya usada es de 11.000 dólares, 23'100.000 pesos

colombianos, esto indica que la construcción de este proyecto es rentable, sin mencionar que la mayoría de los elementos constitutivos de la máquina se construyeron con materiales restantes (retalea) de trabajos anteriores, esto hace que el costo real de la máquina sea aún más bajo que el mostrado anteriormente.

Es de mencionar también, que el valor de los trabajos de alesado requeridos por la empresa TUBOCARIBE S. A., duplicó el valor del costo de fabricación de la máquina, factor que hace que el proyecto siga siendo rentable (ver anexo N).

#### 4.2 CÁLCULO DEL MECANIZADO ECONÓMICO

Para efectos del cálculo del mecanizado económico de la máquina alesadora, se tendrán como parámetros los siguientes puntos, que están determinados por los trabajos a realizar para Tubocaribe S.A, según plano TCTN080A (ver anexo N):

- Lote de tubos que van a ser desbastados hasta  $5 \frac{1}{2}$  pulg (139,7 mm) de diámetro interior  $d_w$  en una longitud  $l_w = 39$  pulg (990,6 mm).
- Avance  $f$  de 0,094 mm.
- Herramienta de carburo del tipo sujeción por tornillo.
- Velocidad de corte constante.
- Resistencia a la tracción 120.000 psi (827,6 Mpa).
- Costo de la máquina = \$ 12'334.397
- Tiempo de amortización de la máquina = 5 años.
- Salario del operario,  $W_o = \$ 0,4166 / \text{seg}$  ( $\$ 1.500 / \text{h}$ ).
- Tiempo de cambio de la herramienta y reacondicionamiento dela

máquina,  $t_t = 480$  seg. (8 min).

- Costo de la herramienta = \$ 24.000
- Filos o afiladas que permite la herramienta = 8
- Costo afilada = \$ 3.000. Tiempo de montar y desmontar cada pieza y regresar la herramienta al comienzo de corte,  $t_t = 900$  seg.
- Gasto general de operación = 100 %.
- Gasto general de la máquina = 100 %.

El primer paso para este proceso, es calcular las magnitudes de los factores fundamentales:

1. Costo total de la máquina y operario por unidad de tiempo (M).

### **Parámetros**

El cálculo del tiempo en que se emplea la máquina es estimativo, puesto que dicha máquinas no requerirá de trabajos disponibles diariamente, sino especiales; por tanto se tendrá:

$$\begin{aligned}\text{Tiempo de trabajo estimado} &= 8 \text{ h/día} * 2 \text{ días} * 12 \text{ semanas/año} * 3.600 \text{ seg/1h} \\ &= 691.200 \text{ seg/año}\end{aligned}$$

$$M = W_o + W_o * (\text{porcentaje de gastos generales del operario}/100) + \text{Depreciación de la máquina (Mt')} + Mt * (\text{porcentaje de gasto de la máquina}/100)$$

Donde  $M_t$  = costo inicial de la máquina / (número de horas trabajadas \* año \* periodo de amortización)

$$M_t = 12'334.397 / (691.200 * 5) = \$ 3.56 / \text{seg.}$$

$$\begin{aligned} \text{Finalmente, } M &= 0,4166 + 0,4166 * (100/100) + 3,56 + 3,56 * (100/100) \\ &= \$ 7,97 / \text{seg.} \end{aligned}$$

2. El costo de suministrar una herramienta afilada ( $C_t$ ).

$$\begin{aligned} C_t &= \text{costo de afilada} + \\ &(\text{costo herramienta} / \\ &\text{promedio de afiladas} \\ &\text{posibles}) \\ &= 3.000 + (24.000/8) = \$ \\ &6.000 \end{aligned}$$

3. Estimativo de la vida de la herramienta y velocidad de corte.

*Para costo mínimo*

$$\text{Vida de la herramienta, } t_c = 3 * (t_{ct} + (C_t / M)) = 3698.14 \text{ seg}$$

$$\text{Velocidad de corte, } V_c = V_r * (t_r / t_c)^n$$

Donde:  $n$  = índice propio que depende del material de la herramienta

Acero rápido,  $n \approx 0.125$

Carburo,  $0.25 < n < 0.3$

Cerámicos,  $0.5 < n < 0.7$

Para esta aplicación como empleamos una herramienta con material carburado,  $n = 0.275$ .

Según anexo Ñ,  $V_r = 1.5$  m/s cuando la vida de la herramienta  $t_r = 60$  seg

Finalmente,  $V_c = 0.483$  m/s.

#### **Para producción mínima $t_p$**

$$t_p = 3 * t_{ct} = 3 * 480 = 1.440 \text{ seg.}$$

Velocidad de corte,  $V_p = 0.625$  m/s

Estas condiciones incluyen como prioridad la economía de la operación o del tiempo de producción, podemos considerar que cualquier velocidad entre  $V_c$  y  $V_p$  producirá un mecanizado eficiente.

Supongamos que puede emplearse tanto  $V_c$  como  $V_p$ .

#### **4. Cálculo del costo por pieza y del tiempo de producción**

### Para costo mínimo

El tiempo mínimo en mecanizar un componente  $t_m$

$$t_m = K / V_c$$

Donde:  $K$  = constante para la operación en particular, para maquinado interior  $k = (\pi * d_w * l_w) / f$

$$d_w * l_w) / f$$

$V_c$  = velocidad de corte

Finalmente,  $t_m = (\pi * 139,7 \text{ mm} * 990,6 \text{ mm}) / (0,094 \text{ mm} * 0,483 \times 10^3 \text{ mm})$

$$= 9.575,6789 \text{ seg.}$$

**Costo total = costo improductivo + costo mecanizado + costo herramienta**

Donde:

$$\text{Costo improductivo} = 7,97 * 900 = \$ 7.173$$

$$\text{Costo mecanizado} = 7,97 * 9.575,67 = \$ 76318,08$$

$$\text{Costo herramienta} = (N_t / N_b) * (M * t_{ct} + C_t)$$

Como  $t_c / t_m = 3698,14 \text{ seg} / 8.645 \text{ seg} = 0,4197$ , entonces  $N_t / N_b = 1 / 0,4198$

$$\text{Finalmente, el costo de la herramienta} = 2,589 * (7,97 * 480 + 6000) = \$ 25.438,47$$

Por tanto, el costo total = \$ 108.929,55.

*Tiempo total de producción = tiempo improductivo + tiempo de maquinado + tiempo de cambio de la herramienta*

Tiempo improductivo = 900 seg

Tiempo de maquinado = 9.575,679 seg

Tiempo de cambio de la herramienta =  $(N_t / N_b) * t_{ct} = 2,589 * 480 = 1.242$  seg.

Finalmente, el tiempo total de producción = 11718,399 seg.

### **Para producción mínima**

De manera muy similar se calcula para la producción mínima

El tiempo mínimo en mecanizar un componente  $t_m$

$$t_m = K / V_c$$

Donde:  $K$  = constante para la operación en particular, para maquinado interior  $k = (\pi * d_w * l_w) / f$

$$d_w * l_w / f$$

$V_c$  = velocidad de corte

Finalmente,  $t_m = (\pi * 139,7 \text{ mm} * 990,6 \text{ mm}) / (0,094 \text{ mm} * 0,635 \times 10^3 \text{ mm})$

$$= 7.283,54 \text{ seg.}$$

**Costo total = costo improductivo + costo mecanizado + costo herramienta**

Donde:

Costo improductivo =  $7,97 * 900 = \$ 7.173$

Costo mecanizado =  $7,97 * 7.283,54 = \$ 58.049,81$

Costo herramienta =  $(N_t / N_b) * (M * t_{ct} + C_t)$

Como  $t_c / t_m = 1.440 \text{ seg} / 7.283,54 \text{ seg} = 0,19$ , entonces  $N_t / N_b = 1 / 0,19$

Finalmente, el costo de la herramienta =  $5.263 * (7,97 * 480 + 6000) = \$ 51.682,656$

Finalmente, el costo total = \$ 116.905,46 seg.

*Tiempo total de producción = tiempo improductivo + tiempo de maquinado + tiempo de cambio de la herramienta*

Tiempo improductivo = 900 seg

Tiempo de maquinado = 7283.54 seg

Tiempo de cambio de la herramienta =  $(N_t / N_b) * t_{ct} = 7,97 * 480 = 3.825,6 \text{ seg.}$

Finalmente, el tiempo total de producción = 12.009,14 seg.

Si analizamos el empleo de velocidades de corte, en variable de tiempo y costos totales de fabricación de las piezas, tenemos:

$$\frac{t_{pr} \text{ Prod mín.} - t_{pr} \text{ Costo.mín}}{t_{pr} \text{ costo mín.}} * 100 = 2,42\%$$

$$\frac{C_{pr} \text{ prod.mín.} - C_{pr} \text{ costo mín.}}{C_{pr} \text{ costo mín.}} * 100 = 7.32\%$$

Según los datos arrojados después de este análisis, puede observarse que el uso de velocidades de corte para tiempo mínimo en vez de para tiempo de producción mínima, resulta en una reducción del 2,42 % y una reducción en el costo de producción de 7,32

%. Para el caso particular en que se fija un valor constante para el mecanizado de cada pieza, claramente se observa que resultan preferibles las condiciones de costo mínimo.

## 5. CONCLUSIONES

En el diseño de la máquina se hizo necesario sobredimensionar ciertos elementos con el fin de amoldarlos a la geometría del diseño, como es el caso de las cajas de rodamientos de los husillos transmisores de avance, platinas de soporte de máquina, etc.

Cabe anotar, que la empresa Inducosta Ltda. ya había construido el cuerpo bastidor pensando en fabricar una alesadora horizontal. Después de analizar bien esta posibilidad, optamos por recomendar que se fabricara una alesadora vertical, la cual ofrece la ventaja de evitar trabajar con el peso de la máquina y de la pieza de trabajo en contra de la fuerza de corte, y como además se buscaba dar un buen acabado de superficie, con la alesadora horizontal por la posible flexión de los tubos (pieza de trabajo) no se hubiese podido lograr este tipo de acabado.

Al decidir el sentido de corte optamos por uno descendente, puesto que este nos favorecía el tener la fuerza axial en sentido contrario al peso de los elementos de transmisión.

En el análisis realizado para obtener con el alesado un tipo de acabado pulido (espejo), se tuvo que emplear sistemas de transmisión de poco avance y rotación, encontrando serios problemas a la hora de calcular y garantizar que los sistemas engranajes cónicos y sinfín-corona cumplieren con los requerimientos básicos de resistencia a raíz de las pocas revoluciones que exigía el diseño.

La parte más gratificante dentro del proyecto estuvo centrada en lo recursivos que se tuvo que ser para adaptar y modificar elementos ya existentes en la empresa, entre ellos el bastidor, sprockets para el sistema de transmisión de avance, la barra roscada (utilizada como husillo para el avance), los motoreductores para los sistemas de transmisión.

Mediante los resultados obtenidos en el mecanizado económico se pudo concluir, que por ser la alesadora una máquina herramienta de uso no frecuente, resulta más provechoso realizar trabajos con velocidades de corte que garanticen que el tiempo de producción de una pieza sea mínimo basados en el análisis de costo mínimo.

En lo concerniente al sistema de refrigeración de la herramienta, este estará a cargo del operador que se encargará de realizar la operación manualmente.

## BIBLIOGRAFÍA

ACEROS Industriales Ltda. Productos. Información técnica.

AUSTILLO, Jiménez Fidel. Máquinas – Herramientas. Organización y sistemas. Edición original. México. Ediciones ALFA OMEGA, S. A de C. V, 1991. p. 33-37.

AVALLONE, Eugene A. BAUMEISTER, Theodore. MARKS. Manual del ingeniero mecánico. 9ª ed. en inglés (3ª ed. en español). Tomo I. México. Editorial Mc GRAW-HILL, 1997.

BEER, Ferdinand P. JOHNSTON, Jr. E. Russell. Mecánica de materiales. 2ª ed. Santa Fe de Bogotá. Editorial Mc GRAW-HILL, 1993. p. 629-682.

BOOTHROYD, Geoffrey. Fundamentos del corte de metales y de las máquinas – herramientas. 1ª ed. México, D. F. Editorial Mc GRAW-HILL LATINO AMERICANA, S. A., 1978. p. 144-157.

CASILLAS, A. L. Máquinas. Cálculos de taller. 23ª ed. Madrid (España). Gráficas reunidas S. A., 1958. p 184-192, p. 200-222.

DEGARMO, E. Paul. Materiales y procesos de fabricación. 2ª ed. España. Editorial REVERTÉ S. A., 1975. p. 595-603, p. 561-565.

FAIRES, Virgil M. Diseño de elementos de máquinas. 1ª ed. en español. México. Editorial LIMUSA, S. A. de C. V., 1992. p. 365-373, p. 602, 606-614, 744, 745.

GERLING, Heinrich. Alrededor de las máquinas – herramientas. 2ª ed. Barcelona. Editorial REVERTÉ S. A., 1975. p. 15, p. 25-29.

KIBBE, Richard R. /NEELY Jhon E. Manual de máquinas – herramientas. 4ª ed. México. Editorial LIMUSA: Vol. 2., 1991. p. 37-41, p. 65-67, p. 75-77.

LAJTIN, Yu. M., Metalografía y tratamiento térmico de los metales. 2ª ed. Traducción del ruso. URSS. Editorial MIR MOSCÚ, 1997. p 322-343.

LASHERAS, Esteban José María. ARIAS, Sanvicente Héctor. Procedimientos de fabricación y control. 6ª ed. Barcelona. Ediciones CEDEL: Vol 2, 1976. p. 532-537, p. 548, 549, p. 676-679.

MEMBRETTI, Gerolamo. Máquinas herramientas para el trabajo de metales. 1ª ed. Barcelona. Editorial Gustavo Gili, S. A., 1987.

METAL. Material, número, forma. Tablas para la industria metalúrgica. Editorial REVERTÉ S. A.

MOTT, Robert L. Diseño de elementos de máquinas. 2ª ed. México. Editorial PRENTICE HALL HISPANO AMERICANA S.A., 1995. p. 331- 340, p. 466-470.

NICASTILLO S.A. Catálogo de productos.

SANDVIK Coromant HV – 1000 – SPA Catálogo Herramientas de torno.

SHIGLEY, Joseph Edward. MISCHKE, Charles R. Diseño en ingeniería mecánica. 5ª ed. 4ª ed. en español. México. Editorial Mc GRAW-HILL, 1990. p. 133- 144, 368-377, 635-502.

TUBOCARIBE S. A. Catálogo Structural tubing.

# ANEXOS