

117
2º ej.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DISEÑO. CONSTRUCCION Y PRUEBA DE
UN MOTOR DE DESPLAZAMIENTO
POSITIVO DE EMBOLOS ROTATIVOS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A :

RODRIGO ALBERTO RINCON GOMEZ

ASESOR DE TESIS,

Ing. Andrés Ruiz Mijares



México, D. F.

1992

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

INTRODUCCION	1
CAPITULO I DESCRIPCION GENERAL DEL MOTOR HIDRAULICO	3
CAPITULO II TEORIA DE FUNCIONAMIENTO	6
CAPITULO III DISEÑO DE LAS PARTES DEL MOTOR	12
DISEÑO DEL ROTOR	12
FLECHA	16
CHAVETA Y CHAVETERO	20
DISEÑO DE LA CARCASA	22
DISEÑO DE LAS TAPAS LATERALES DEL MOTOR	25
DISEÑO DE LOS PUERTOS DE ENTRADA Y SALIDA	25
DISEÑO DE LA VALVULA DESLIZANTE	28
CAPITULO IV MATERIALES	30
PRODUCTOS SIDERURGICOS	31
COBRE Y SUS ALEACIONES	46
ALEACIONES DE ALUMINIO Y MAGNESIO	48
PLASTICOS Y COMPUESTOS	49
CAPITULO V MANUFACTURA DEL MOTOR HIDRAULICO	57
CONSIDERACIONES GENERALES	57
ASPEREZA DE LAS SUPERFICIES, AJUSTES Y TOLERANCIAS	60
MANEJO DEL MATERIAL EN EL LUGAR DE TRABAJO	67
FACILIDAD DE MAQUINADO	71
REFRIGERANTES	83
METODOS DE CALCULO DE TIEMPOS PRINCIPALES	85
RUTA DE TRABAJO	95
COSTOS DEL PROYECTO	100
CAPITULO VI PRUEBAS DEL MOTOR HIDRAULICO	112
CONCLUSIONES	126
BIBLIOGRAFIA	131

INTRODUCCION

En la década pasada y en esta que comienza, la industria se ha visto obligada a buscar que la economía y la eficiencia de sus procesos para la generación de energía e industriales se vean mejorados para poder obtener rendimientos positivos y aceptables.

Para este efecto la industria requiere de tecnología nueva que de como resultado la posibilidad de fabricación de maquinaria con los recursos disponibles en el país y que responda a esas necesidades. El motor hidráulico de émbolo rotatorio objeto de ésta tesis, no es una solución definitiva sino una alternativa más, pero que presenta muchas ventajas sobre las máquinas convencionales conocidas actualmente.

Para poder comprender bien los principios de funcionamiento de este motor procederemos a definirlo y clasificarlo.

Se trata de una máquina de desplazamiento positivo; porque el principio de transferencia de energía entre el medio fluido y el sistema mecánico es en base al trabajo mecánico directo al desplazarse un volumen determinado de fluido bajo la acción de una presión. La diferencia de este con las demás máquinas, es que este puede manejar un caudal muy grande de fluido con flujo unidireccional casi continuo. Lo que lo hace atractivo para la generación de energía y por su geometría, para la perforación de pozos profundos.

El motor según el tipo de fluido que maneje, puede ser hidráulico o de $\rho = \text{cte.}$ o térmico cuando se usen gases.

Esta a su vez puede ser motriz, si la transferencia de energía es del medio fluido hacia el sistema mecánico, o generatrices (bombas o compresores) si el intercambio de energía se realiza del sistema mecánico hacia el medio fluido.

Como vía de comparación las turbomáquinas realizan el intercambio de energía en base a fuerzas dinámicas que se desarrollan entre las partes móviles de la máquina y el fluido en movimiento; es decir la ecuación fundamental en que se basa este principio es la de la cantidad de movimiento de la que se deduce la ecuación de Euler de las turbomáquinas.

Estas son muy rápidas y manejan grandes volúmenes de fluido o

grandes potencias pero adolecen de que la fabricación de sus partes requiere de gran precisión y de superficies alabeadas sin la cual se pierde toda su eficiencia; ventaja esta que presenta el motor de émbolos rotatorios además de ser sencillo, ya que no requiere de mecanismos auxiliares como lo son: árbol de levas, mecanismos biela manivela, mecanismos de 4 barras ó dispositivos complejos de distribución.

CAPITULO I DESCRIPCION GENERAL DEL MOTOR HIDRÁULICO

El motor rotatorio de desplazamiento positivo que se presenta en esta tesis tiene grandes ventajas en cuanto a sus aplicaciones, tales como: la perforación de pozos profundos, haciendo uso de una mesa rotaria sumamente simple y con la ayuda de un equipo de bombeo que suministre el fluido o sustancia de trabajo que ha de transferir la energía que se transformará en trabajo mecánico, también para el maquinado de piezas grandes en tornos en que se requiere de velocidades angulares bajas y pares motores sumamente altos o en cualquier aplicación industrial en donde se requiera de las características antes mencionadas.

El motor consiste de una carcaza cilíndrica sólida en que se han maquinado en ambas caras, dos receptáculos cilíndricos y en el centro un taladro que comunica a estos para dejar pasar la flecha motriz en que van montados y sujetados los dos rotores. En cada receptáculo cada rotor tiene dos lóbulos semicirculares excentricos y simétricos, para evitar en esta forma las vibraciones mecánicas que de otra forma se generarían al operar el motor, según se observa en la figura 1.1, que funcionan como émbolos giratorios, pues al desplazarse estos, el volumen admitido es directamente proporcional al ángulo girado, que genera siempre una recámara cilíndrica curva y de sección rectangular. Cada émbolo de cada rotor desarrolla al desplazarse un ángulo de trabajo efectivo de aproximadamente $180-\delta$, en que δ es el arco en que se encuentran alojadas las válvulas de deslizamiento simple y los puertos de admisión y descarga de fluido de trabajo. En cada media revolución las válvulas son lanzadas al brincar la nariz o extremo superior del lóbulo, estableciéndose así las recámaras de alta presión y que a su vez separan al puerto de descarga del puerto de admisión, permitiendo que el líquido que ya trabajó escape libremente por el desplazamiento mismo de la parte curva del lóbulo.

Los rotores que van colocados yuxtapuestos al tabique que separa los dos receptáculos, van acoplados a la flecha motriz por medio de una cuña para transmitir el par motor y defasados en un ángulo de 90°

para que la acción de uno de ellos obligue al otro a pasar por los puntos muertos y se establezca así el movimiento continuo de estos.

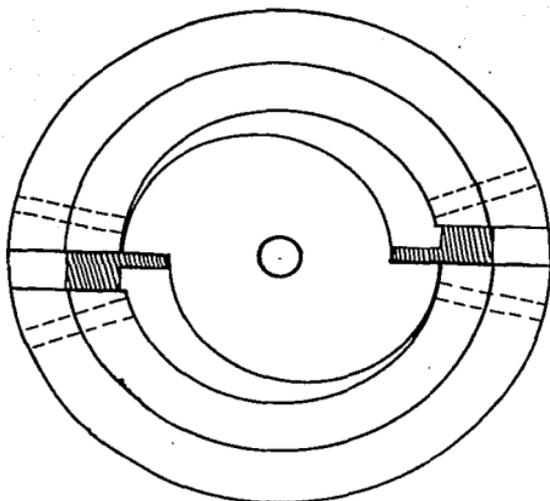


Fig.1.1 Esquema básico del motor hidráulico (este puede usar cualquier tipo de fluido como sustancia de trabajo)

En cada cara, el motor lleva tapas que sellan los recintos de los rotores y el líquido se les hace llegar a estos por medio de dos puertos; uno de alimentación y otro de descarga, separados por el cuerpo deslizante de la válvula. Los puertos son taladros radiales hechos sobre la superficie cilíndrica de la carcasa. A su vez el puerto de alimentación recibe el líquido a través de una válvula de aguja que regula el gasto de alimentación por estrangulamiento de un orificio de paso con fronteras hidrodinámicas, para evitar las pérdidas de energía de tal forma que la presión de entrada se mantenga prácticamente constante, regulándose así la velocidad angular por

medio del gasto suministrado.

Al efectuarse una media revolución, los lóbulos mismos levantan las válvulas en forma continua como si se trataran de planos inclinados, de tal forma que al llegar a los bordes de estos y quedar libres, la presión interna sobre las válvulas las lanzan con gran rapidez pues la presión en la parte inferior de los mismos o la presión de descarga es cero. En ese momento quedan al descubierto los puertos de descarga, que a su vez han estado permitiendo la salida del líquido en forma continua, de la revolución anterior.

El motor resulta así sumamente simple desde el punto de vista constructivo y con el menor número de partes en operación y a su vez el control de su regulación es sencillo. En la figura 1.2 se muestra la instalación de un sistema de perforación de pozos en que se encuentra montado el motor en la parte inferior de la columna de soporte que termina en la mesa rotaria.

La naturaleza misma del diseño del motor se presta para este tipo de trabajos, en que en los pozos que se van perforando el dispositivo debe ser de sección circular reducida y que a su vez vaya descendiendo por tramos, llevando el motor con el elemento perforador o broca en su extremo inferior, sin necesidad de tener que usar una flecha motriz larga.

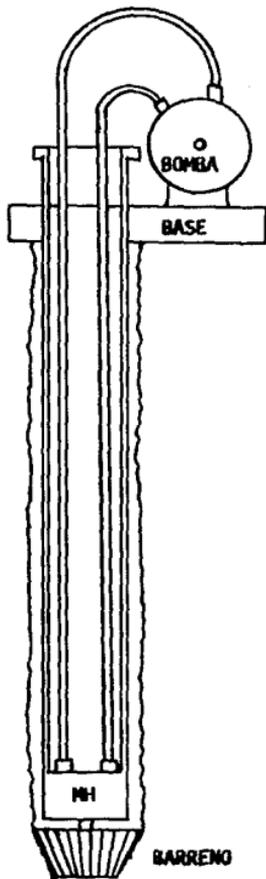


Fig 1.2 Esquema de uso propuesto para el (MH) motor hidráulico

CAPITULO II TEORIA DE FUNCIONAMIENTO

El funcionamiento de este motor sigue netamente el principio de desplazamiento positivo; es decir : $\tau = P \cdot V$

En la figura 2.1 se muestra el émbolo giratorio desarrollando un trabajo elemental, al desplazarse este una distancia de arco circular igual a "ds". Como se puede ver la válvula no permite la comunicación entre el puerto de descarga y el de alimentación . La presión interna P por el área del émbolo Ae nos da la fuerza neta sobre la cara del émbolo: $F = P \cdot Ae$

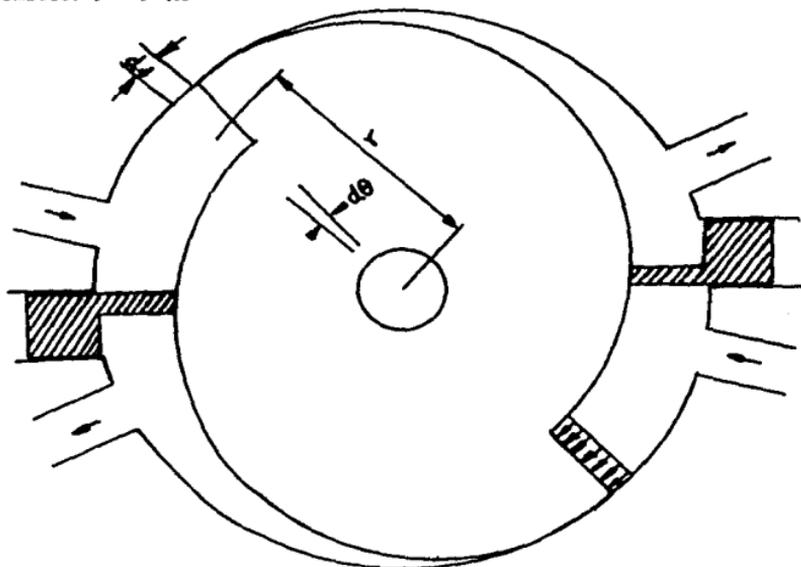


Fig 2.1 Sección del motor hidráulico: se muestran detalles del rotor y de los parámetros que rigen el funcionamiento del motor.

La fuerza multiplicada por la distancia elemental ds recorrida por el émbolo da el trabajo dr, es decir:

$$d\tau = F \cdot ds$$

y llevando esta el valor de F se tiene:

$$d\tau = P \cdot Ae \cdot ds$$

pero $Ae \cdot ds = dV$ es el volumen desplazado de líquido por el émbolo; luego:

$$d\tau = P \cdot dV$$

y la potencia desarrollada será :

$$d\tau/dt = P \cdot dV/dt \quad \text{pero}$$

$$Q = dV/dt$$

es el gasto de alimentación; es decir :

$$\text{Pot} = P \cdot Q$$

otra forma de analizar el trabajo desarrollado es:

$$d\tau = F \cdot ds \quad \text{pero}$$

$$ds = r \cdot d\theta \quad \text{luego}$$

$$d\tau = F \cdot r \cdot d\theta$$

pero a su vez $F \cdot r$ es el par motor M por lo que:

$$d\tau = M \cdot d\theta$$

que integrando de 0 a $\pi - \delta$ nos da:

$$\tau = M \int_0^{\pi - \delta} d\theta = M \cdot (\pi - \delta)$$

y la potencia será: $\text{Pot} = d\tau/dt = M \cdot d\theta/dt$

$$\text{Pot} = M \cdot \omega$$

en que ω es la velocidad angular en rads/s. Igualando los dos se obtiene:

$$M \cdot \omega = P \cdot Q$$

$$\text{de donde:} \quad \omega = P \cdot Q / M \quad \text{y}$$

$$M = F \cdot r = P \cdot Ae \cdot r \quad (\text{por émbolo})$$

luego se tiene que el par es constante y:

$$\omega = P \cdot Q / (P \cdot Ae \cdot r) = Q / (Ae \cdot r)$$

Entonces la velocidad angular del motor depende directamente del gasto de alimentación suministrado, por lo que su regulación resulta sumamente simple.

Si llamamos e a los lados del émbolo para simplificar la geometría y los cálculos, entonces $Ae = e^2$ quedando finalmente lo anterior así

$$\omega = Q / (e^2 \cdot r) = (\pi \cdot N) / 30 \quad \text{de donde}$$

$$N = 30 \cdot Q / (\pi \cdot e^2 \cdot r)$$

y de aquí si Q es constante, la velocidad angular del motor es también

constante .

Veamos ahora la relación de potencia al freno contra la velocidad angular.

$$\text{Pot} = T \cdot \omega = P \cdot A_e \cdot r \cdot \pi \cdot N / 30$$

$$\text{Pot} = (P \cdot A_e \cdot r \cdot \pi / 30) \cdot N \quad (\text{por l6bullo 6 6mbolo})$$

luego, la potencia desarrollada por el motor es directamente proporcional a la velocidad angular y para los dos rotores en total se tiene:

$$\text{Pot} = (4/30) \cdot P A_e \cdot \pi \cdot r \cdot N$$

Luego las curvas caracteristicas de este tipo de motor son como las mostradas en la figura 2.2.

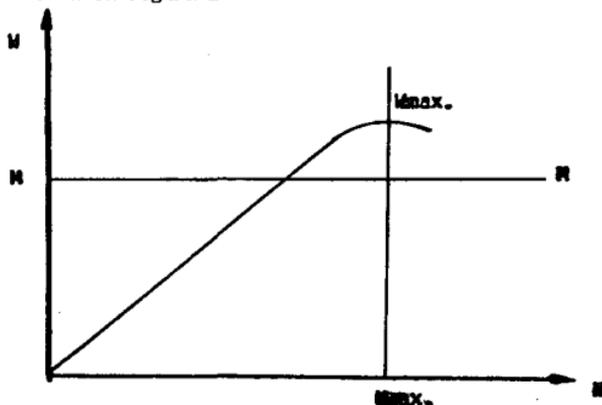


Fig. 2.2 Comportamiento típico de la potencia en el motor hidráulico de desplazamiento positivo.

Aparentemente la potencia del motor es indefinida y depende de la velocidad angular que a su vez depende del gasto, pero en realidad hay una velocidad crítica máxima para lo cual el motor falla, debido a la rapidez con que se puedan cerrar automáticamente las válvulas.

Veamos cual es esta velocidad máxima que puede alcanzar el motor sin que varíe el par y se pierda también la eficiencia. Esta la podemos determinar calculando el tiempo de cierre, aplicando la segunda ley de Newton al movimiento acelerado del cuerpo de la válvula ver figura 2.3

$$EF_x = m \cdot a_x$$

en que el eje X se encuentra colineal al sentido del movimiento de la válvula. Las fuerzas que intervienen son la fuerza de presión sobre la superficie superior de la válvula:

$$F_P = P \cdot A_v = P e^2$$

y las fuerzas de fricción de contacto de la superficie de la válvula con la corredera al realizarse el deslizamiento:

$$F_r = \tau_o \cdot A_s$$

en que τ_o es el esfuerzo cortante viscoso y A_s la superficie del área total de contacto. Esta última se puede despreciar porque es pequeña en comparación con la anterior, luego

$$F_{P_x} = m \cdot A_x$$

$$P \cdot A_v = (Wv/g) \cdot d^2 x / dt^2$$

en que: Wv es el peso de la válvula y A_x es $d^2 x / dt^2$ como las cantidades que intervienen son constantes, se puede integrar la ecuación diferencial multiplicando por dt , luego:

$$(d^2 x / dt^2) dt = (g \cdot P \cdot A_v / Wv) dt \quad 6$$

$$\int d/dt(dx/dt) dt = (g \cdot P \cdot A_v / Wv) \int dt + C_1$$

$$dx/dt = (g \cdot P \cdot A_v / Wv) t + C_1 = V$$

y volviendo a integrar se tiene:

$$\int (dx/dt) dt = (g \cdot P \cdot A_v / Wv) \int t dt + C_1 dt + C_2$$

$$X = (g \cdot P \cdot A_v / 2Wv) t^2 + C_1 \cdot t + C_2$$

analizando las condiciones de frontera se tiene:

de la primera : para $t=0$, $V=0$, por tanto $C_1 = 0$

de la segunda : para $t=0$, $x=0$, por tanto $C_2 = 0$

$$X = (g \cdot P \cdot A_v / 2Wv) \cdot t^2$$

el tiempo de cierre de la válvula es; para $t = t_c$

luego

$x = e$

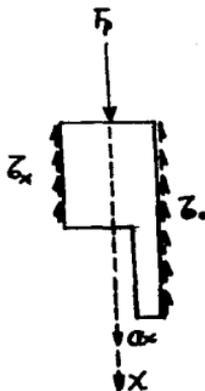


Fig. 2.3. D.C.L. de la válvula deslizante

donde "e" es la carrera de la válvula luego:

$$t_c = \sqrt{2^*e^*Wv/(g^*P^*Av)}$$

y este tiempo es el tiempo η que puede el émbolo barrer el arco de círculo "δ" que ocupan los puntos muertos; luego $\omega = \theta/t_c$ ó :

$$\omega_m = \frac{\delta}{r^*t_c} = \frac{\delta}{r^*\sqrt{2^*e^*Wv/(g^*P^*Av)}} \quad \delta$$

$$N_m = \frac{30^*\delta/\pi^*r^*\sqrt{2^*e^*Wv/(g^*P^*Av)}}{x}$$

Veamos ahora cual sería la N_m de un motor de este tipo si:

$$\delta = 0.025 \text{ m}$$

$$r = 0.04 \text{ m}$$

$$e = 0.02 \text{ m}$$

$$P = 10 \text{ kgr/cm}^2 = 100,000 \text{ kgr/m}^2$$

$$Av = 0.02^*0.02 = 0.0004$$

$$Wv = (0.02^3 + 0.02^2^*0.005)7800 = .078 \text{ kg}$$

$$N_m = \frac{30^*.025/(\pi^*.04^*\sqrt{2^*0.02^*0.078/(9.81^*100000^*0.0004)})}{x}$$

$$N_m = 2116.59 \text{ r.p.m}$$

Como se puede ver, la potencia que puede desarrollar este motor sería:

$$Pot = (4/30)^*P^*Ae^*\pi^*r^*N$$

$$Pot = (4/30)^*100000^*0.0004^*\pi^*0.04^*2116.59 = 1418.52 \text{ kgrm/s}$$

$$Pot = 18.66 \text{ h.p.}$$

y el par motor desarrollado sería :

$$M = 4^*P^*Ae^*r$$

$$M = 4^*100000^*0.0004^*0.04 = 6.4 \text{ Kg-m}$$

Naturalmente no se há tomado en cuenta la pérdida volumétrica en el momento de cierre de las válvulas por fuga del puerto de admisión al de descarga ni los rozamientos de los lóbulos con la carcasa, pero el resultado permite ver que existe todavía un amplio margen ya que los motores generalmente trabajan en sus aplicaciones normales de 500 a 1500 r.p.m.

Finalmente veamos de qué orden andaría la eficiencia si se tratára de operarlo simplemente como motor. La eficiencia del motor se expresa con: $\eta = \eta_h^*\eta_v^*\eta_m$ en que:

η_h ; es la eficiencia hidráulica

η_v ; es la eficiencia volumétrica

η_m ; es la eficiencia mecánica

La η_h la podemos determinar por medio de las pérdidas a través de la válvula de admisión y las pérdidas en las entradas y las salidas de los puertos así:

$$h_f = (k_v + k_e + 2^*k_s)V^2/2g$$

en que los k_i son los coeficientes de las pérdidas locales antes mencionadas y V es la velocidad del flujo en los conductos; ó

$$h_f = \sum k_i \cdot Q^2 / (2 \cdot g \cdot A_c) \quad \text{en que:}$$

Q ; es el gasto a travez de un émbolo

A_c ; es el área de los conductos.

luego

$$\eta_h = (h_p - h_f) / h_p = (1 - h_f / h_p) = (1 - P_r / P)$$

$$\eta_h = 1 - \gamma h_f / P = 1 - \gamma \sum k_i Q^2 / (2 + g \cdot A_c \cdot P)$$

se ve que η_h sube mucho con P .

Eficiencia volumetrica

El trabajo efectivo es : $\tau_e = P \cdot V_e$

en que

$$V_e = e^{2 \cdot (\pi - \delta)} \cdot r$$

luego

$$\tau_e = P \cdot e^{2 \cdot (\pi - \delta)} \cdot r$$

El trabajo entregado realmente al émbolo es:

$$\tau = P \cdot e^{2 \cdot \pi} \cdot r$$

o sea el volúmen de líquido realmente desplazado, luego:

$$\eta_v = \tau_e / \tau = P \cdot e^{2 \cdot (\pi - \delta)} \cdot r / (P \cdot e^{2 \cdot \pi} \cdot r) = (\pi - \delta) / \pi$$

La *eficiencia mecanica* que toma en cuenta las pérdidas por rozamiento viscoso de los lóbulos y la flecha motriz, se ha visto que es la más alta por ser estos rozamientos muy pequeños del orden de $\eta_m = .99$.

Veamos de qué orden anda la eficiencia de este motor.

Eficiencia Hidraulica.

$$\sum k_i = (0.01 + 0.5 + 2 + 1.00) = 2.60$$

$$A_c = 0.02 \cdot 0.02 = 0.0004 \text{ m}^2$$

$$Q = e^{2 \cdot \pi} \cdot r \cdot N / 30 = 0.02^2 \cdot \pi \cdot 0.04 \cdot 2116.59 / 30 = .00355 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\eta_h = 1 - 1000 \cdot 2.60 \cdot (0.00355)^2 / (2 \cdot 9.81 \cdot .0004 \cdot 100000) = .99$$

$$\eta_v = (\pi - \delta) / \pi = (180 - \delta) / 180$$

$$\eta_v = (180 - 35.81) / 180 = .80$$

como se ve, esta es la más baja de todas: luego

$$\eta = 0.99 \cdot 0.80 \cdot 0.99 = 0.784$$

Todas estas características hay que verificarlas en el laboratorio para poder sacar así factores reales.

CAPITULO III DISEÑO DE LAS PARTES DEL MOTOR

DISEÑO DEL ROTOR

El diseño de este rotor está basado en conceptos simples pero fundamentales, ver figura 3.1. Uno es el área sobre la cual actúa la presión del fluido, la cual puede ser rectangular, cuadrada o de cualquier otra forma maquinable tanto en el rotor como en la carcasa,

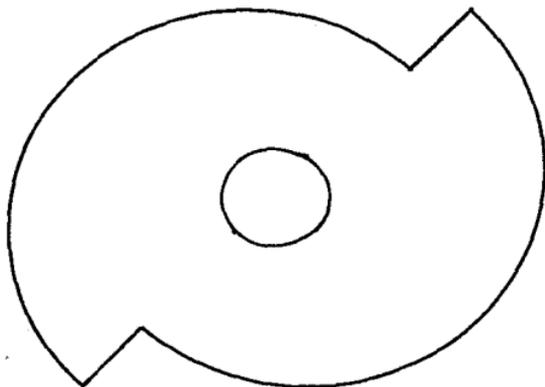


Fig 3.1 Esquema de un rotor del motor hidráulico

y el otro es el perfil de las narices o lévas que conforman al rotor y del número de estas; ya sea desde 1 hasta el número necesario según lo permita el tamaño del motor y el criterio del diseñador, dado que el par de acción que puede desarrollar el motor, (descrito en la sección teórica del funcionamiento) depende de estas. Nos limitaremos así, a analizar los diferentes tipos de perfiles para nuestro rotor, recomendando el uso de los siguientes desarrollos de espirales:

La espiral de Arquímedes se rige mediante la ecuación $R = \theta K$ en donde K es una constante. Este tipo de espiral dará una velocidad de desplazamiento constante a la válvula, y por consiguiente una aceleración nula.

Las espirales de 2, 3 y 4 centros seran otras alternativas más para efectuar el trazado del perfil del rotor. El perfil del rotor también se puede obtener apartir de dos semicircunferencias, ver figuras 3.2 a 3.6.

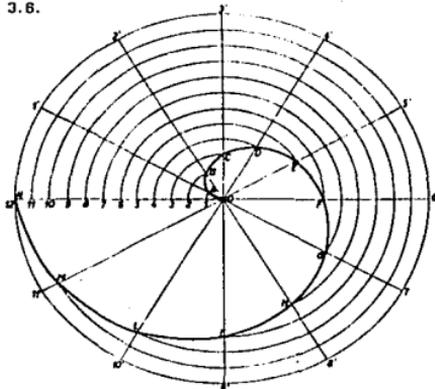


Fig 3.2 Espiral de Arquimedes.

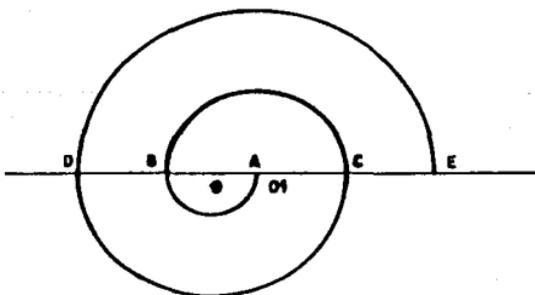


Fig 3.3 Espiral de dos centros.

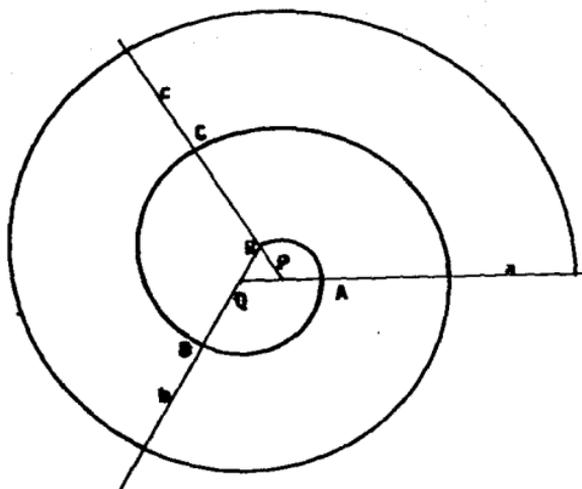


Fig 3.4 Espiral de tres centros.

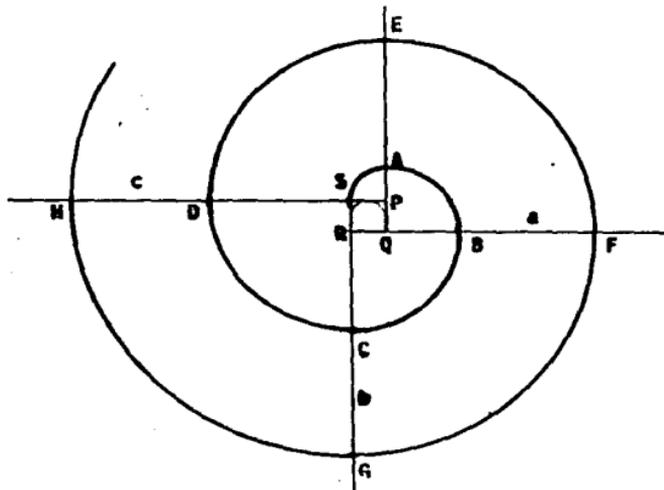


Fig 3.5 Espiral de cuatro centros.

Para dibujar el rotor se desarrolla una espiral con el paso deseado para el diámetro máximo en que el rotor estará contenido, se dividirá dicha circunferencia en tantas partes iguales como narices tenga el rotor, y se dibujará la espiral N veces, defasadas un ángulo $\alpha = 360/N$

El perfil del rotor se puede obtener a partir de dos semicircunferencias, de la siguiente manera:

- 1) Se trazan dos circunferencias concéntricas, cuyos radios tienen una diferencia igual al desplazamiento de la válvula.
 - 2) Se traza una línea que cruce a las dos circunferencias partiéndolas por la mitad en forma exacta.
 - 3) El diámetro del perfil de la semicircunferencia, será el diámetro de la circunferencia mayor, menos el desplazamiento de la válvula.
 - 4) Los centros de cada semicircunferencia, se trazarán desde las intersecciones de la recta con la circunferencia mayor, sobre la misma línea.
 - 5) Por último se traza cada semicircunferencia, en su propio centro.
- Como en la figura 3.6.

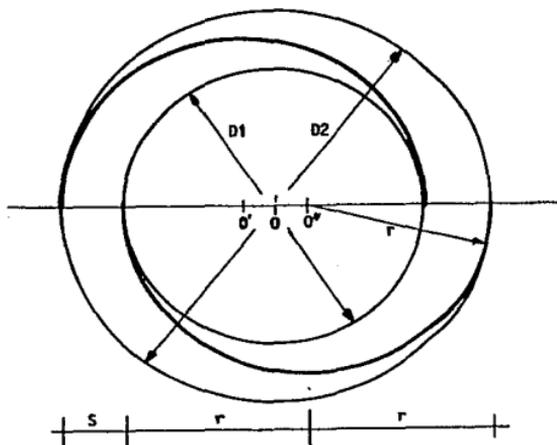


Fig. 3.6 Rotor trazado a partir de dos semicircunferencias

Para dibujar el rotor se desarrolla una espiral con el pá

FLECHA

El Diseño de la flecha del motor hidráulico se puede hacer en función de la carga máxima a la que se encontrará sujeto el propio motor al estar trabajando ó en función de la potencia disponible . Dado que la flexion estática es prácticamente nula, no se presentará velocidad crítica alguna, además las componentes de las fuerzas se equilibrarán quedando unicamente el par sobre la flecha. Luego tenemos que el esfuerzo cortante que actuará en la flecha será :

$$\tau = \frac{16 T}{\pi d^3}$$

Para el propósito de este motor experimental y para efecto de cálculo del par de torsión T haremos uso de una presión de 78.52 kPa, disponible en cualquier laboratorio de ensayos de fluidos; lo que da para el caso específico de este motor: $T = 2.9 \text{ N-m}$. Suponiendo además una flecha de diámetro mínimo de $3/4$, de acuerdo con la expresión anterior, el esfuerzo de torsión máximo a que quedará sometido esta será de 2.13 MPa, que comparada con el esfuerzo permisible que dan las tablas para estos materiales es de 156.85 MPa. el elemento se encuentra sobrado, incluyendo los factores de concentración de esfuerzo debido a los chaveteros.

Como se tiene un defasamiento entre los rotores, y el sistema de alimentación del motor no trabaja en forma permanente; por momentos se suspenderá el par torsionante y por otros este actuará, lo que nos indica que se debe de hacer un análisis por fatiga a la torsión ya que las fracturas comienzan con una grieta microscópica en una zona de concentración de esfuerzos, más alguna posible grieta que se encuentre dentro del material. y como por experiencia se tiene que el límite de resistencia a la torsión es aporximadamente el 58 % de la resistencia a los esfuerzos flexionantes, entonces se tiene un $C1 = .58$.

Los valores experimentales para esfuerzos últimos torsionantes son:

$$S_{us} = .8 S_u \text{ para acero } \quad y$$

$$S_{us} = .75 \text{ para otros metales dúctiles en } 10^3 \text{ ciclos}$$

La figura 3.7 muestra estas relaciones.

Para el uso de materiales más quebradizos se tendrá que hacer uso de los datos respectivos o se podrá asumir un límite de resistencia de .8

a los 10^6 ciclos para el momento torsionante ó el mismo que para los

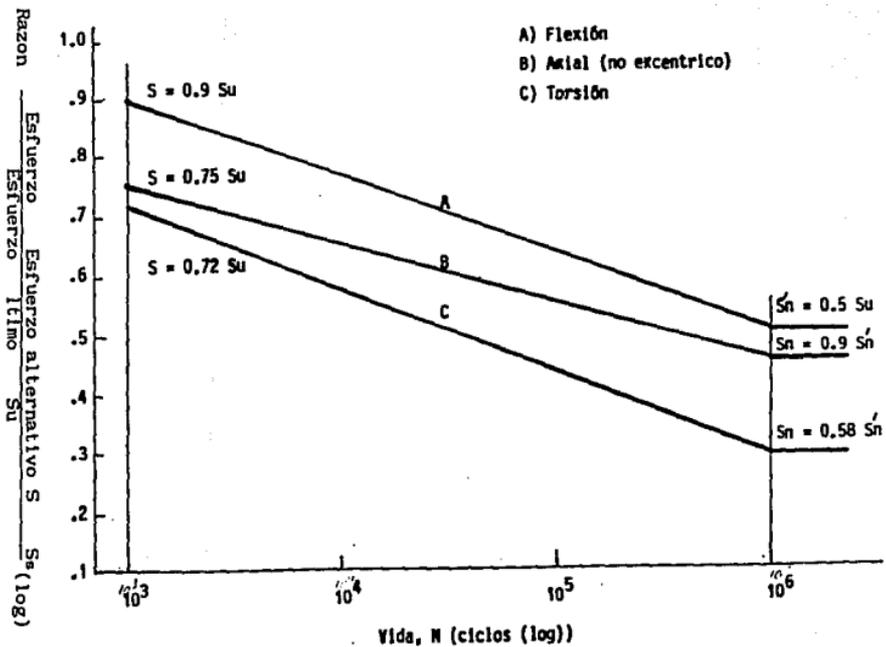


Fig 3.7 Curva generalizada S-N para especimen de 3" de diámetro (los cálculos no toman en cuenta el posible endurecimiento)

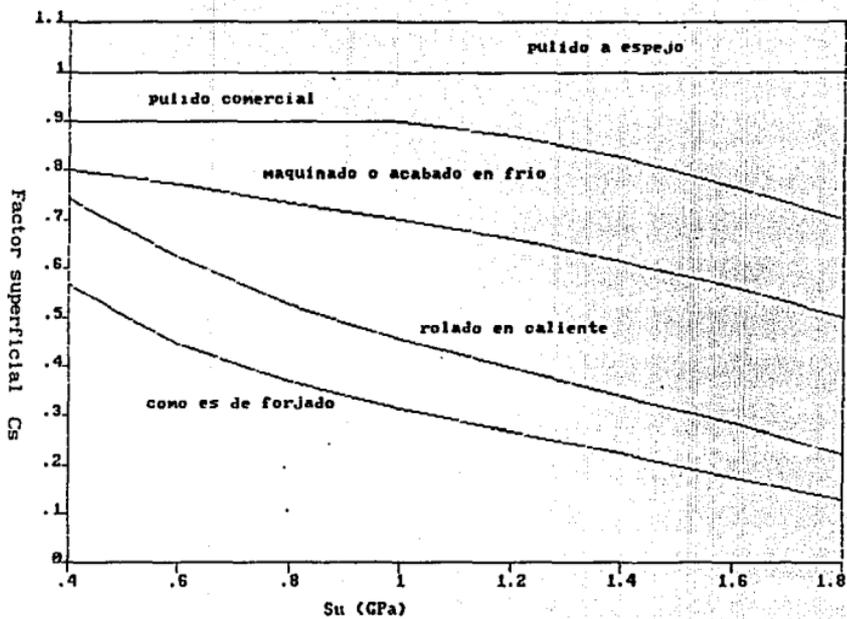


Fig 3.8 Reducción al limite de resistencia debido al acabado superficial de las partes mecanicas

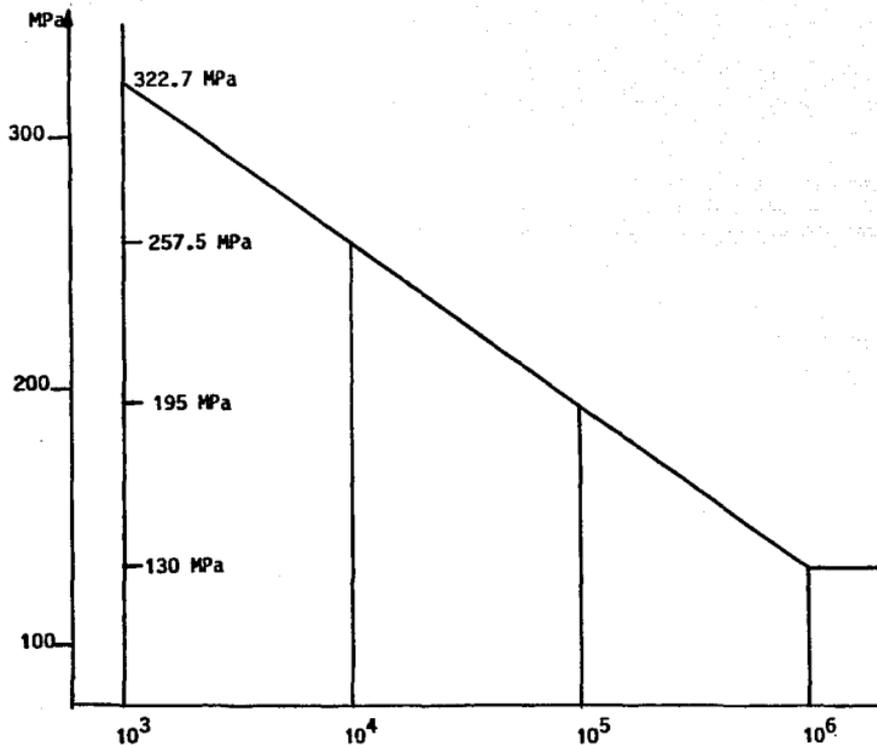


Fig 3.9 Curva S-N para cargas torsionantes en la flecha

materiales dúctiles. Así la consideración de S_n será $S_n = S'_n \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_s$, donde para la torsión :

$$C_1 = .58$$

$$C_2 = 1.0 \text{ para diam. } < 4 \text{ in ó } 10 \text{ mm}$$

$$C_2 = .9 \text{ para } .4 < \text{diam} < 2 \text{ in } \text{ y}$$

C_s se obtiene de la fig 2.

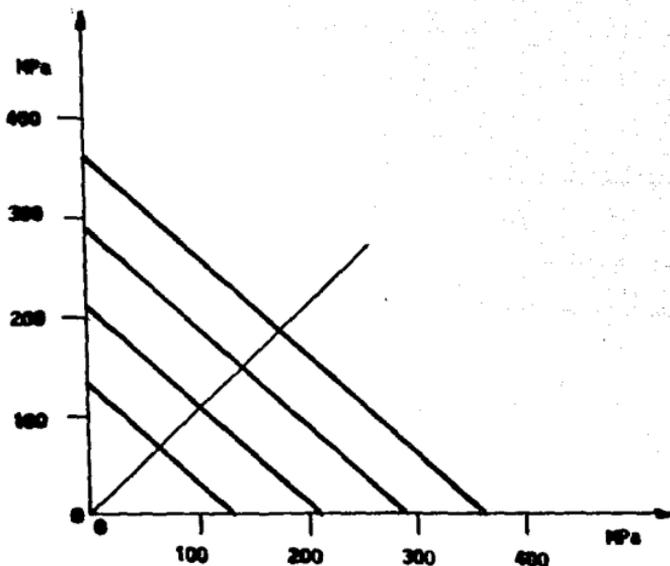


FIG. 3.10 Curva de fatiga para cargas torsionantes

y para nuestro caso es un AISI 1020 con $S_u = 448.2$ MPa, se tiene:
 $S_{us} = 358.56$, $S'_n = .5S_u = 224.1$ y $S_{10^3} = 322.704$ MPa
 con $C_s = .7$ para acero maquinado segun figura 3.8 , se tendrá un
 $S_{n_{10^3}} = 141.183$ MPa.

Dando como resultado las figuras 3.9 y 3.10, de donde se observa que el elemento se encuentra a salvo por resistencia a la fatiga.

CHAVETA Y CHAVETERO

Como el elemento transmisor de potencia de una flecha a otro elemento es la chaveta, y de estos la más común es la chaveta cuadrada, el tamaño de este suele ser de $1/4$ del diametro de la flecha aproximadamente. Estas suelen ser de acero bajo carbono acabados en frío como un acero SAE - AISI 1020, pero en ocasiones en que los esfuerzos son mayores se usan aceros aleados tratados térmicamente.

Para hacer el cálculo de estos elementos asumiremos que la flecha

y la chaveta se encuentran hechos del mismo material, y de acuerdo con la teoría de la torsión, la capacidad del par es:

$$T = \frac{\pi d^3}{16} (.58 S_y) \quad (3.1)$$

El par se transmite por medio de fuerzas resultantes de los esfuerzos de compresión de las áreas de contacto multiplicada por el radio; y también por las fuerzas resultantes de los esfuerzos cortantes que se desarrollan en la cara cilíndrica de la misma flecha como en la figura 3.11

$$T = s_y \frac{Ld}{8} \cdot \frac{d}{2} = \frac{S_y \cdot L \cdot d^2}{16} \quad (3.2)$$

$$T = .58 S_y \frac{Ld}{4} \cdot \frac{d}{2} = .58 S_y \frac{Ld^2}{8} \quad (3.3)$$

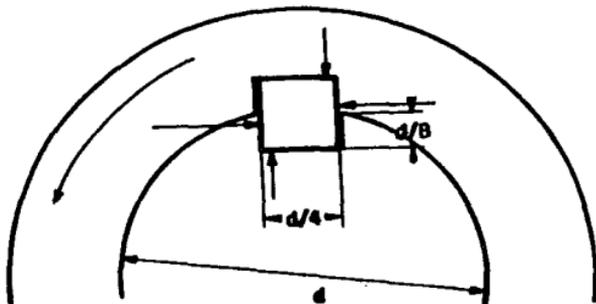


Fig 3.11 Chaveta expuesta a fuerzas compresivas

de (3.1) y (3.2) se tiene $L = 1.82 d$ y de (3.1) y (3.3) se tiene $L = 1.57 d$, además de agregar un factor de concentración de esfuerzos K_f para la fatiga de:

1.3 para $HB_n < 200$

1.6 para $HB_n > 200$

aun con estos cálculos, para partes de motores se recomienda la lengeta redonda (chaveta Woodruff) como el que se indica en la figura 3.12.

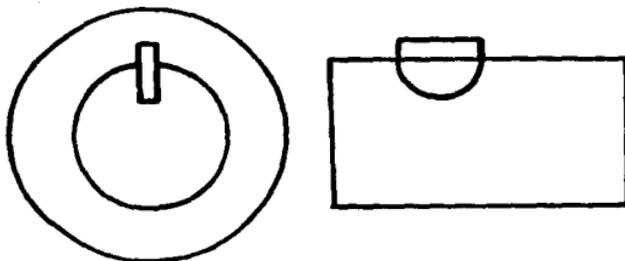


FIG. 3.12 La chaveta Woodruff suele ser preferida en motores que pueden variar su número de revoluciones de un momento a otro.

DISEÑO DE LA CARCASA

Dado que el funcionamiento de este motor se basa en el principio de desplazamiento positivo, en donde al disminuir el volumen de una recámara que tiene un orificio, el fluido se verá obligado a salir a través de este sea cual fuere la presión, siempre que la fuerza de empuje F sea suficientemente grande. Esta fuerza obliga a que el cuerpo del motor sea lo suficientemente robusto, por lo que se depende de estas propiedades mecánicas de los materiales y de los sellos, pues ellas determinarán si el diseño es posible. Esto interesa en particular con motores que requieren de pares muy grandes ó altas revoluciones, pues una fuga bastaría para parar el funcionamiento del motor.

En cuanto a las soldaduras, estas no serán una limitación siempre que tengan una resistencia igual ó mayor que la de los materiales base y no sean porosas. No se recomienda el uso de esta en grandes longitudes pues de ser necesario se necesita un tratamiento térmico simple para eliminar tensiones térmicas en los materiales o para endurecer ciertas partes que lo requieran, de preferencia tratando siempre de no debilitar la resistencia a la corrosión.

Las secciones del cuerpo de la carcasa deben ser muy gruesas para mantener la rigidez y los parametros de diseño, con lo que se evita cualquier fuga. Las paredes que trabajan a presión deben ser más gruesas, pensando en la corrosión, desgaste y un futuro reajuste: debido a lo anterior las superficies sometidas a altas velocidades como el impulsor en las bombas centrífugas, tienen refuerzo adicional

para soportar la corrosión acelerada que ocasiona la alta velocidad del líquido. Siempre que sea posible es preferible evitar las roscas en las zonas húmedas, ya que con el tiempo la corrosión causaría estragos irremediables.

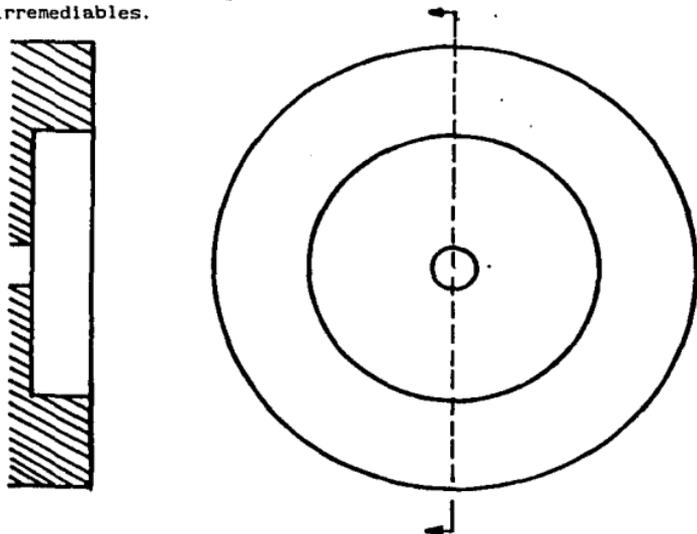


Fig. 3.13 Sección de carcasa sin prensa estopa

Observando el tipo de diseño del motor y sus rotores; en que el interior de la carcasa es totalmente cilíndrico en ambos lados; se requiere por facilidad de maquinado que este lo sea también por fuera, aunque esto no afecta mucho y quizás sea correcto el usar un tejo totalmente cuadrado. Esta última geometría es recomendable si se tiene un torno controlado por computadora, de lo contrario se tendrá que utilizar un mandril de expansión para lograr un autocentrado tan bueno como el que daría un plato de tres mordazas. Hay que recordar también que lo que interesa son las cavidades cilíndricas donde se encuentran los rotores (uno de cada lado) y que estas deben ser idénticas y simétrica dentro de un plano perpendicular a la posición de la flecha para mantener un par continuo y evitar cualquier descentramiento de la

flecha.

Del diseño preliminar y sabiendo que se desarrollarán altas presiones, es conveniente tener un escalonamiento cilíndrico que sirva de trampa para evitar fugas como se muestra en la figuras 3.13 y 3.14. Este escalonamiento contendrá una empaquetadura para poder reducir las fugas de fluido.

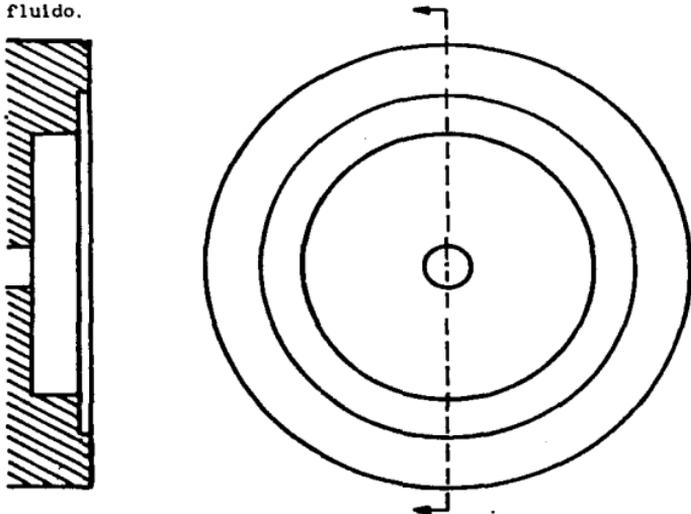


FIG. 3.14 Carcasa con escalonamiento para prensa estopas.

Con el fin de poder reducir al máximo las fricciones entre rotor y carcasa, el acabado del mismo deberá ser lo más fino posible y de ser necesario puede considerarse el pulido a espejo en todas las caras, también hay que cuidar las tolerancias ya que éstas deben ser muy estrechas.

Para reducir la fricción entre las paredes de la carcasa y los rotores, puede considerarse el hacer una segunda excavación en los mismos, como se indica en la figura 3.15 sin que esta afecte en nada el funcionamiento del motor.

Se tienen que considerar además las dimensiones de los puertos de entrada y salida, así como de la válvula deslizante.

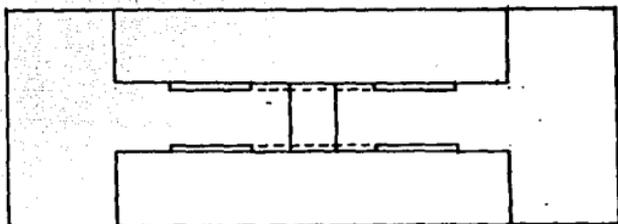


Fig 3.15 Carcasa con canales antifricción

DISEÑO DE LAS TAPAS LATERALES DEL MOTOR

Las tapas de la carcasa tienen como fin cerrar la cavidad de la carcasa en forma hermética y por tal motivo éstas deberán llevar un escalón cilíndrico macho, que se había previsto en la carcasa como hembra. En cuanto a los acabados se tendrá que obedecer a los mismos patrones que rijan el cuerpo de la carcasa. El espesor de la pared de la tapa será lo suficientemente resistente para poder soportar las presiones, el desgaste y posteriores rectificaciones, sin que ésta sufra deformaciones. También se le puede incluir un pozo cilíndrico en las cavidad del rotor para disminuir el área friccionante como se ve en la figura 3.16. Se recomienda que el material de la tapa sea compatible con el material de las demas partes, con el fin de evitar cualquier corrosión electrofítica del material.

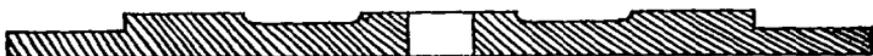


Fig 3.16 Corte de tapas de carcasa que muestra los canales antifricción

DISEÑO DE LOS PUERTOS DE ENTRADA Y SALIDA

Como se observa en la figura estos pueden ser de muy variadas formas; los más sencillos seran de sección redonda o cuadrados, u ovalados o rectangulares según el diseño particular del ingeniero como se muestra en la figura 3.17. Este tipo de forma también depende



Fig 3.17 Diferentes tipos de secciones de los puertos de entrada

de la capacidad y método de maquinado. El cálculo depende de la velocidad angular máxima que se requiera dentro de una cierta eficiencia hidráulica, ya que ésta depende del gasto y de este depende la sección del área. Así:

$$A = A_t / 4$$

$$A_t = Q_t / V$$

donde V es la velocidad del fluido que es la misma velocidad periférica del rotor.

La dirección en que entre el fluido a la recámara, hará que se cree más o menos turbulencia dentro de ésta y no es difícil ver que una entrada pequeña dará mayor turbulencia al fluido que una más grande lo mismo que si ésta lo es en exceso, y se considera ideal que el diametro de entrada y salida (ó ancho) sin considerar la forma sea del ancho de la cámara del rotor para disminuir la turbulencia, como se muestra en la figura 3.18.

La geometría de la disposición de los puertos de entrada juega un papel muy importante en el funcionamiento y eficiencia del motor, ya que se puede ver en la figura que, mientras menor sea el ángulo δ se tendrá en el motor mayor ángulo de trabajo $\theta = 180 - \delta$ por parte del rotor según figura 3.19. Además también es recomendable dejar un espacio a y b entre los puertos de entrada y salida con el canal de la válvula deslizante, para que estos conductos no se interfieran entre sí como lo muestra

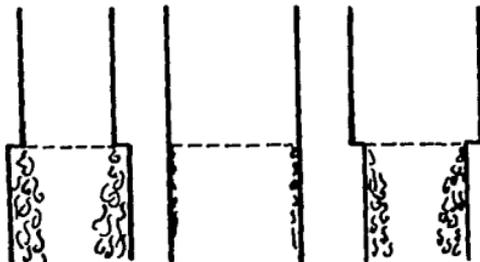


Fig. 3.18 Un mal diseño de los puertos ocasiona pérdidas hidráulicas.

la. figura 3.20 en forma exagerada; misma interferencia que podría impedir la operación definitiva del motor.

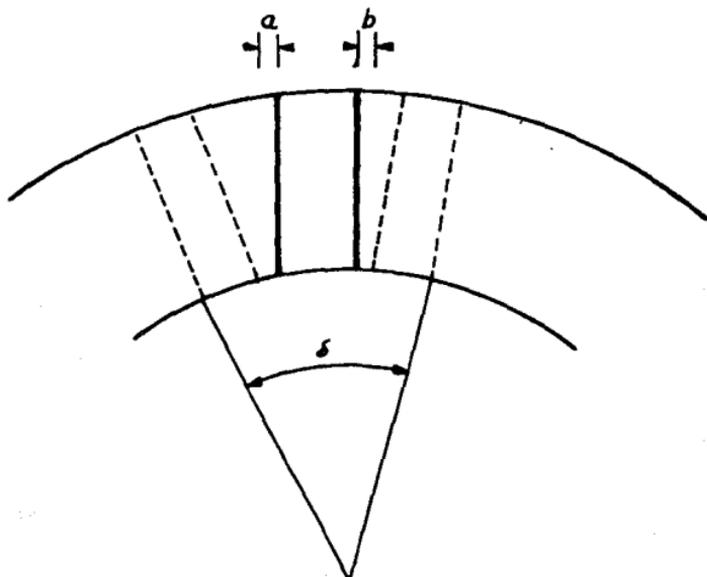


Fig 3.19 La colocación de los puertos influye en el ángulo δ

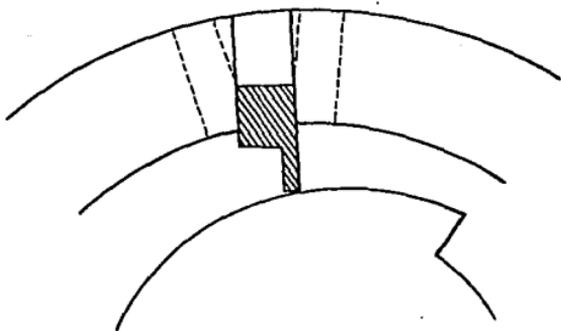


Fig 3.20 Muestra exagerada de las fallas de manufactura

DISEÑO DE LA VALVULA DESLIZANTE

Como se muestra en la figura 3.21 las válvulas de cierre parecen más bien seguidores planos de levas. Como ya se ha mencionado anteriormente su función es separar las dos cámaras de volumen variable; de las cuales una de ellas es de alta presión y otra de baja presión.

De la figura 3.22 se observa que habrá una fuerza F provocada por un diferencial de presión ΔP que es igual a la diferencia de P_1 y P_2 ; que multiplicado por el área de la pared de la válvula, da:

$$F = A \cdot \Delta P$$

que se supone aplicada sobre el centro del área A y que provocaría un momento flector que tendría que contrarrestar el resto de la válvula sobre el cuerpo de la carcasa del motor. Además se tiene una fuerza $2F$ en sentido contrario, lo que indica que tanto la superficie de la válvula como de la carcasa en esa región, deberá estar endurecida para resistir la abrasión por fricción. En este caso el lubricante será el fluido de trabajo el que a su vez accionará a la válvula para mantenerla firmemente sobre la superficie del rotor.

Nuevamente las tolerancias deberán ser tan estrechas como sea posible y los acabados superficiales muy finos, y de ser posible pulidas a espejo. Las dimensiones mínimas preferentes para las válvulas será como se indica en la figura 3.23 y la geometría sólo podrá ser cuadrada o rectangular en la sección más gruesa de la misma.

Como la válvula estará accionada por el fluido de entrada, el puerto de entrada y la canal de la válvula pueden estar interconectados con el fin de abreviar conexiones. La válvula puede además estar accionada por un resorte, por lo que es conveniente.

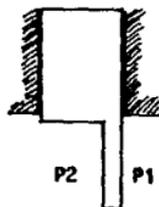


Fig. 3.21 Válvula que se asoma de su correspondiente corredera.

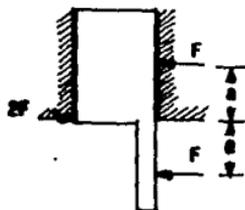


Fig. 3.22 D.C.L. de la figura 3.21

realizar una perforación guía de este sobre la válvula, para evitar deflecciones y al mismo tiempo bajar la inercia de la válvula. Ver la figura 3.24.



Fig. 3.23 Dimensiones recomendadas para el diseño de la válvula deslizable.

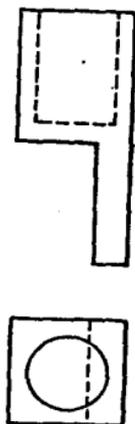


Fig. 3.24 Vistas superior y frontal de una válvula con perforación.

CAPITULO IV MATERIALES

Uno de los trabajos más delicados del diseñador es la selección de materiales para su aplicación tanto por sus propiedades tecnológicas, que permitan el mecanizado en la forma deseada como sus propiedades mecánicas, físicas y químicas, que aseguren que la pieza fabricada será capaz de resistir los esfuerzos mecánicos a que será sometida y la acción de los agentes físicos y químicos con que estará en contacto.

Es evidente que un estudio completo de todos los materiales exigiría una extensión que no cabe en el presente estudio. No obstante dada la importancia del asunto, se le dará una extensión suficiente para que el diseñador tenga una orientación para la selección de los materiales de aplicación más corriente, dejando para los especialistas las aplicaciones especiales en cada caso.

Además considerando que se tienen previos conocimientos de ingeniería de materiales, por lo que se recuerda la importancia de aplicar racional y prudentemente el uso de los datos empíricos de estos.

Hay que recordar que el uso de una máquina ó componente estructural de la misma ó cualquier otro componente estructural, termina con la falla por fatiga ó por el deterioro superficial y puesto que es imposible estudiar aquí todos los materiales que puedan presentarse al diseñador, consideraremos sólo los siguientes grupos:

Productos siderúrgicos, es decir, los constituidos principalmente por *hierro* aleado con carbono y eventualmente con otros elementos químicos.

Cobre, bronce y latón, es decir, el cobre y los materiales que tienen como elemento característico el *cobre*, aleado con el estaño (*bronce*), con el cinc (*latón*), y eventualmente con otros elementos químicos.

Aluminio, magnesio y sus aleaciones, materiales llamados comúnmente aleaciones ligeras ó ultraligeras, por su pequeño peso específico.

Materias plasticas, sustancias que fabrica la industria química , que por ser muy prácticas , por su facilidad de trabajarlas y por su resistencia a muchos agentes químicos, constituyen un grande y variado grupo de materiales orgánicos sintéticos .

Madera y sus derivados, materiales que, aunque empleados por el hombre en la más remota antigüedad son todavía insustituibles en la actualidad.

Antes de empezar a tratar los diferentes materiales , es necesario llamar la atención sobre el hecho de que cuando se indican los componentes de una aleación determinada, se señalan únicamente los elementos químicos cuya presencia en la aleación le comunica características específicas; o sea que se prescinde de los elementos que, ya sea por la composición de los minerales de que se parte , ya debido a los procesos de producción, están inevitablemente presentes como impurezas en los materiales considerados. Es de clara evidencia que estas impurezas no han de pasar de los límites que la técnica ha demostrado que no se han de rebasar si no se quieren modificar las características del material. También se aclarará que sólo se mencionarán aquellos materiales que tengan relación directa con el proyecto.

Ahora, pasemos a tratar con extensión suficiente los grupos de materiales.

PRODUCTOS SIDERURGICOS

Clasificación

Antiguamente se acostumbraba clasificar las aleaciones hierro-carbono del modo siguiente:

Hierro. Porcentaje de carbono inferior al 0.32 % (aproximadamente). Los productos de este grupo no admiten el temple, se sueldan con facilidad; se trabajan por forjado o manejan por púdelado, y también por fusión.

Acero. Porcentaje de carbono entre 0.32 y 1.7 % (aproximadamente). Los aceros se pueden temprar y soldar, se trabajan por forjado, y por fusión: están preparados para fundir. Al aumentar la proporción de carbono aumenta generalmente la dureza y disminuye el porcentaje de alargamiento bajo carga.

Fundiciones. Porcentaje de carbono entre 2.2 hasta aproximadamente 6.6 %. No se pueden forjar y se transforman por fusión

en las piezas de forma deseada.

Las aleaciones con poco porcentaje de carbono comprendido entre 1.7 y 2.2 %, llamadas fundiciones aceradas, no interesan al diseñador puesto que sólo se emplean como material de base para la fabricación de otros materiales.

Actualmente se prefiere la siguiente clasificación:

Aceros: productos siderúrgicos forjables con porcentaje de carbono menor a 1.7 %.

Fundiciones: productos siderúrgicos no forjables, con porcentaje de carbono menor al 6.6 %, transformables en piezas mecánicas de la forma deseada mediante fusión en moldes adecuados. Las de un contenido de carbono entre 1.7 y 2.3 % tienen escasa aplicación y se conocen con el nombre de fundiciones aceradas.

Clasificación de los aceros

Aceros ordinarios. - Están constituidos exclusivamente por hierro y carbono; según los criterios más antiguos, en gran parte superados, se subdividen en:

- a) **ferricos**, infusibles industrialmente, sólo se pueden trabajar por forjado obtenidos principalmente por pudelado, pero también por fusión; no admiten el temple, fácilmente soldables, con proporción de carbono de $C < 0.32$ %. Figura entre otros el hierro Armco con $C < 0.05$ %, casi puro, muy maleable obtenido en horno Siemens Martin, de gran empleo para planchas, tubos, material de adición en soldadura autógena, es bastante resistente a la abrasión y a la oxidación.
- b) **aceros al carbono**, con C entre 0.32 y 1.7 %, tratables por forjado y fusión, templeables y soldables; y contienen carbono como único aleante, los de bajo carbono contienen menos de 0.3 % de C, los aceros de medio carbono contienen de 0.3 a 0.5 % de C, y con más de 0.5 % de carbono se les considera aceros de alto carbono, pero vulgarmente se les conoce como aceros ordinarios.

Los aceros ordinarios son:

extradulces	- 0.15 % de C
dulces	0.15 - 0.2 % de C
semiduros	0.2 - 0.5 % de C
duros	0.5 - 0.75 % de C
extraduros	0.75 - % de C

Aceros (especiales) aleados.- Tienen como constituyentes, además del hierro y el carbono, otros elementos (magnesio, silicio, cobalto, níquel, wolframio, vanadio, molibdeno, etc.); Con un sólo elemento además de Fe y C son aceros ternarios; con dos elementos, además de Fe y C son aceros cuaternarios; con más de dos elementos, además de Fe y C se les conoce como aceros complejos. Tienen como propósito básico incrementar la dureza. Esta dureza es comúnmente medida mediante la prueba Jominy (ASTM A-255 y SAE J406b). Originada por Walter Jominy de la Chrysler Corp. En esta prueba se utiliza una barra de 1 in de diámetro, por 4 in de longitud que es calentada arriba de la temperatura crítica, se enfría al agua por uno de sus extremos, mientras que el otro extremo se enfría al aire, a esta barra se le mide la dureza cada 1/16 de in a partir del punto enfriado por agua. La distancia a la que la dureza se extiende es una medida de la dureza impartida por sus elementos aleantes.

Tabla T-4.1 EFECTIVIDAD RELATIVA DE LOS ELEMENTOS ALEANTES DEL ACERO

ELEMENTO	CONCENTRACION	E.R.D. $f =$	Sq	Sm	Cm %
Boro	< 0.022 %	17.23 B ^{0.0268}	B	B	-
Manganeso	< 1.2 %	3.46 Mn + 1	Mn	M	≥ 1.0
	1.2 / Mn / 2 %	5.125 Mn - 1			≥ 0.1
Molibdeno	< 1.0 %	3.09 Mo + 1	Mo	D	≥ 0.25
Cromo	< 2.0 %	2.18 Cr + 1	Cr	C	≥ 0.5
Silicio	< 2.0 %	0.7 Si + 1	Si	S	≥ 0.35
Níquel	< 2.0 %	0.4 Ni + 1	Ni	N	-
Aluminio	-	-	Al	A	-
Nitrógeno	-	-	N	Az	-
Cobalto	-	-	Co	K	≥ 1.4
Cobre	< 2.0 %	-	Cu	Cu	-
Magnesio	-	-	Mn	G	-
Estaño	-	-	Sn	E	-
Titanio	-	-	Ti	T	-
Cinc	-	-	Zn	Z	-
Azufre	< 0.05 %	-	S	F	-

La tabla T-4.1 muestra en parte un estudio realizado por Datsko de la efectividad relativa de varios elementos aleantes, en la dureza impartida al acero, los elementos son listados en orden decreciente de efectividad las ecuaciones dan un coeficiente de dureza relativa f , como función de la concentración del elemento usado. Por ejemplo el manganeso es el segundo elemento más eficiente y la ecuación es válida para concentraciones de más de 1.2 %, si se usa 1 % de Mn, el factor de dureza es de 4.46, similarmente con un 2% de concentración de cromo es apenas más efectivo, dando un factor de 5.36, La tabla no está completa pues se ha omitido el vanadio, los elementos aleantes dan efectos secundarios, sin embargo estas ecuaciones son una útil guía para la selección del acero más económico. La tabla cuenta además con valores donde los aleantes son considerados como impurezas llamados Cm., y el símbolo metalúrgico según ISO, Sm.

Aceros HSLA.- Los aceros de alta resistencia y baja aleación (high-strength low-alloy HSLA) fueron desarrollados alrededor de 1940 como una clase de aceros de relativamente bajo costo, que daban muchas de las ventajas de los aceros aleados, regularmente más costosos.

T-4.2 DESIGNACION AISI-SAE DE LOS ACEROS

N	Tipo de acero	N	Tipo de acero	N	Tipo de acero
1	al carbono	4	al molibdeno	7	al tungsteno
2	al níquel	5	al cromo	8	al Ni-Cr-Mo
3	al níquel-cromo	6	al cromo-vanadio	9	al Si-Mn

Aceros con recubrimiento endurecido.- Los aceros de recubrimiento endurecido contempla el caso de endurecimiento superficial del material. Este es usualmente acompañado de un carburizado, cianurado, nitrurado, endurecido, inducido ó a la flama, en la carburización se introduce carbono adicional a la superficie de un acero de bajo carbono, además de un tratamiento térmico para dar alta dureza superficial. El cianurado es un proceso similar que agrega nitrógeno como si fuera carbono en aceros de medio y bajo carbono, el nitrurado agrega nitrógeno a una parte ya lista que ha sido maquinada y tratada térmicamente, la temperatura del proceso es de unos 538°C o menos y no

se necesita un enfriamiento rápido, lo que elimina posibles distorsiones. Para mayores durezas se utilizan comúnmente aceros nitroaleados (conteniendo aluminio como aleante) también son nitrurados los aceros de medio y bajo carbono.

Aceros inoxidables.- Por lo general contienen un mínimo de 10.5% de cromo, los aceros inoxidables forjados son austeníticos, ferríticos y martensíticos. Los aceros inoxidables fundidos son clasificados por su resistencia al calor y a la corrosión.

Super aleaciones a base de Hierro.- Estos materiales son usados primordialmente para aplicaciones a elevadas temperaturas, como en las turbinas, y turborreactores, generalmente se usan arriba de los 538°C, siendo usados a más bajas temperaturas los martensíticos, sus propiedades esenciales son altas resistencias a la fractura, corrosión y deteriorarse bajo el efecto de muy altas temperaturas.

El acero es el material de uso más extenso en los componentes de máquina. A éste se le pueden obtener un alto rango de propiedades mecánicas, mediante la variación de su composición, tratamientos térmicos y tratamientos mecánicos. Existen tres relaciones básicas fundamentales para la apropiada selección de composiciones de acero.

- 1- Todos los aceros tienen esencialmente el mismo módulo de elasticidad. Así si la rigidez es el requerimiento crítico de la parte conociendo que todos los aceros se comportan de igual forma, entonces deberá escogerse el menos costoso (incluyendo costos de fabricación).
- 2- El contenido de carbono, casi sólo, determina la máxima dureza que se le puede dar al acero. Y la máxima dureza potencial se obtiene con un contenido superior al 7 % de C. Esto significa que se puede dar básicamente la misma dureza y resistencia con un acero al carbón, sin necesidad de aleaciones más costosas.
- 3- Los elementos aleantes (manganeso, molibdeno, cromo, níquel, y otras) como ya se ha mencionado agregan dureza al acero, así la dureza de un acero puede ser incrementada con tratamientos térmicos menos drásticos cuando estos aleantes son usados.

Se recuerda que la suma del contenido de azufre y fósforo no debe exceder en ningún caso del 0.06 % .

Efectos generales producidos por un elemento aleado con el acero.

Se presentará primero el Elemento Aleado Considerado (EAC), luego

la Influencia Media del Elemento Sobre la Estructura de la Aleación (IMESEA), Influencia Media del Elemento Sobre el Tratamiento Térmico (IMESTT), Influencia Media Sobre los Caracteres Tecnológicos (IMSCT), y la Influencia Sobre los Caracteres Mecánicos, Físicos y Químicos (ISCMFQ). En los siguientes aleantes:

EAC. Manganeso.- IMESEA.- Ensancha el campo γ , bajando notablemente los puntos críticos, tanto más, cuanto más elevado es el porcentaje del elemento. Dificulta la escisión de la cementita en ferrita durante el enfriamiento lento: si el % es bastante elevado, se produce el autotemplado. IMESTT.- Aumenta la penetración del temple; disminuye los efectos de un sobrecalentamiento durante el forjado. Tratamientos análogos a los de los aceros al carbono y siempre más sencillos que los aplicados a los aceros al cromo. IMSCT.- Al aumentar la proporción de Mn disminuyen: a) la forjabilidad; b) la soldabilidad. ISCMFQ.- Al aumentar el % de Mn, aumentan la carga de rotura y el límite de elasticidad; y también moderadamente el % de alargamiento. Los aceros con elevada proporción de carbono y con el 13 % de Mn, resisten los choques y el desgaste por frotamiento.

EAC. Silicio.- IMESEA.- Reduce el campo γ , y no modifica los puntos críticos. El Si estabiliza la estructura ferrítica y con elevado % dificulta la formación de perlita y favorece la formación de grafito. IMESTT.- Aumenta la templabilidad, a causa de la disminución de la velocidad crítica de enfriamiento. IMSCT.- Disminuye la deformabilidad en caliente y en frío. Disminuye la soldabilidad. ISCMFQ.- Al aumentar el % de Si aumentan la tenacidad y la dureza: después de tratamientos térmicos con el 2 % de Si, aumenta la resistencia a la flexión y torsión, la dureza superficial y la resistencia al desgaste. disminuye la resiliencia. Mejoran las características magnéticas y la inoxidabilidad en caliente.

EAC. Níquel.- IMESEA.- Ensancha el campo γ bajando los puntos críticos; da tendencia a la formación de grietas intercrystalinas. Afina el grano de los aceros, aun con enfriamiento lento. Produce una estructura perlítica, martensítica o austenítica según el %. IMESTT.- Disminuye la temperatura de temple y recocido con lo que se evita el sobrecalentamiento. Aumenta la templabilidad porque se tiende a estabilizar la estructura austenítica. IMSCT.- No dificulta el

forjado en caliente ó en frío. Los aceros con elevada proporción de Ni son algo difíciles de trabajar. Disminuye la soldabilidad. ISCMFQ.- Aumenta la tenacidad y da un elevado S_y/S_u (esfuerzo de fluencia/esfuerzo último o de rotura) después del tratamiento. Los aceros con Ni > 5 % (perlíticos) están indicados para cementación, tienen bastante dureza superficial aun sin templar. Con poco C y menos Ni son apropiados para bonificar y dan buen alargamiento. Con gran contenido de Ni (austeníticos) tienen gran resistencia a la corrosión aun por gases calientes: bajo coeficiente de dilatación.

EAC. Cromo.- IMESEA.- Disminuye el campo γ : con Cr > 18 %, la estructura es siempre ferrítica. Con menos cromo y poco C la estructura es perlítica y por el temple se convierte en martensítica. **IMESTT.-** Exige mucho cuidado en los tratamientos térmicos (control de temperatura, velocidad de calentamiento, forma de efectuar el revenido, etc.). El forjado se efectúa con calentamiento lento. Es necesario un normalizado previo. En conjunto aumenta la capacidad de temple. **IMSCT.-** Son difíciles de soldar y de forjar. **SCMFQ.-** Después del tratamiento adquiere dureza elevadísima, aumento de resistencia y del límite de elasticidad, aun a elevadas temperaturas de funcionamiento. Alta resistencia al desgaste, moderada resiliencia. Relación S_y/S_u mayor que en los aceros al Cr-Mo o al Cr-Ni. Elevada resistencia a la corrosión (con Cr = 12 a 16 % inoxidable). Apropiado para imanes permanentes.

EAC. Molibdeno.- IMESEA.- Disminuye el campo γ . Con poco % (< 3 %) la estructura es perlítica, y puede transformarse en martensítica, con grano más fino, después del temple. Con Mo > 3 % la estructura es austenítica. **IMESTT.-** Mejora la templabilidad y la penetración del temple. **IMSCT.-** Poca soldabilidad y forjabilidad. **ISCMFQ.-** Alta resistencia al desgaste, para empleo en frío ó en caliente: buena resistencia a la fatiga y discreta resiliencia. Apropiadados para imanes permanentes.

EAC. Tungsteno (Wolframio).- IMESEA.- Disminuye el campo γ . **IMESTT.-** Con W > 18 % los aceros son autotemplables. El temple resiste el revenido hasta el rojo oscuro. **IMSCT.-** Requiere especial cuidado en el forjado y en el temple. Disminuye la soldabilidad. **ISCMFQ.-** Notable dureza; aumentando el % de W aumenta la resistencia y la dureza:

disminuyen el alargamiento. Pasando del 2 % disminuye la resiliencia.

EAC. Vanadio (Sq: V).- IMESEA.- Disminuye el campo γ . El vanadio actúa como desoxidante: mejora las propiedades mecánicas y tecnológicas. **IMESTT.-** Poco sensible al sobrecalentamiento; aumenta la estabilidad del revenido. **IMSCT.-** De fácil mecanizado en caliente y en frío, pero muy resistentes a las deformaciones. Se sueldan empleando escorificantes. **ISCMFQ.-** Alto límite de elasticidad.

Tratamientos térmicos y Diagrama hierro-carbono

Puesto que es indispensable para el diseñador tener una idea clara de como influye en las propiedades tecnológicas de las aleaciones hierro-carbono la proporción del contenido de carbono, recordamos en primer lugar el diagrama de equilibrio de dichas aleaciones, al cual tendremos que referirnos continuamente cuando recordemos los tratamientos térmicos y cuyo estudio profundo se desarrolla en los textos de tecnología de materiales.Figura 4.1.

Recordemos primero que el hierro se presenta en 4 estados alotrópicos, llamados α , β , γ , δ , estados que alcanzan sucesivamente cuando el hierro se calienta progresivamente. En el estado alotrópico γ el hierro tiene la muy importante propiedad de disolver grandes cantidades de carbono en su masa sólida, dando una estructura llamada **austenita**. Los hierros α y β no tienen esta propiedad, por lo que se comprende fácilmente que si cuando se ha alcanzado la estructura austenítica se efectúan enfriamientos más o menos rápidos de la aleación, se pueden obtener a *temperaturas ordinarias* estructuras **inestables**, que provienen de la imposibilidad de eliminar el carbono disuelto, cuando el hierro γ , al transformarse rápidamente en β y α , ya no pueden contenerlo.

Esta consideración es el punto de partida para comprender algunos de los tratamientos térmicos a que se puede someter una aleación hierro-carbono, entendiéndose generalmente con el nombre de **tratamiento termico** una operación ó una serie de operaciones mediante las cuales un metal o una aleación metálica, se someten sin llegar al punto o intervalo de fusión, en ambiente de naturaleza determinada a uno o más ciclos térmicos, mediante los cuales el metal o la aleación adquieren ciertas propiedades. La velocidad de calentamiento y enfriamiento se fijan para cada caso.

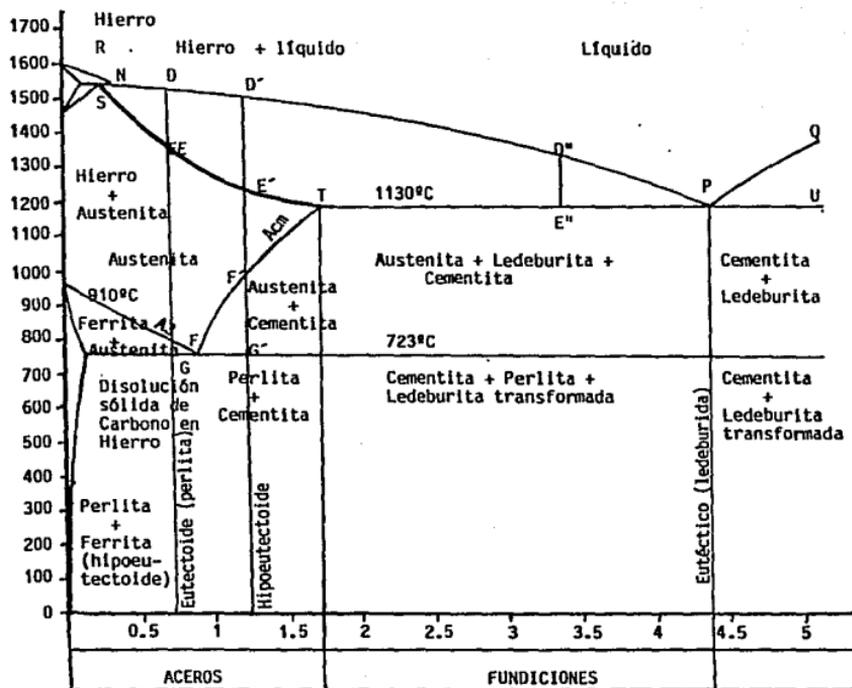


Fig. 4.1 Diagrama esquemático de las aleaciones hierro-carbono

Las temperaturas a que tienen lugar los cambios de los estados alotrópicos, y en líneas generales, las temperaturas en que principia o termina, para un material dado, una variación de la naturaleza o del número de las fases (o sea de las partes homogéneas de que se puede considerar compuesto el sistema, por ejemplo, grafito, perlita, cementita, austenita, etc.) se designan con el nombre de **puntos críticos**. La consideración de estos puntos críticos es de la máxima importancia para los tratamientos térmicos.

En todo el estudio de las aleaciones hierro-carbono se ha de considerar como especialmente importante la *aleación que contiene 0.85 % de carbono llamada perlita*, base de los aceros y la *aleación con 4.3 % de carbono llamada ledeburita*, constituyente fundamental de las fundiciones. El carbono en todas la aleaciones hierro-carbono, se encuentra en forma de *cementita* (carburo de hierro); pero la cementita de las fundiciones, en ciertas condiciones, se descomponen en hierro y carbono (grafito); por lo cual con frecuencia en las fundiciones el carbono se encuentra libre en la masa de la aleación en forma de nódulos o láminas de grafito. Considerando en primer lugar los aceros, se puede decir que un acero recocido (es decir que no conserve trazas de eventuales tratamientos térmicos sufridos anteriormente), si tiene un porcentaje de carbono igual a 0.85 %, está constituido por sólo perlita; si tiene una proporción inferior, está constituido por perlita y ferrita (o sea, hierro puro), finalmente, si la proporción es superior, el acero está constituido por perlita y cementita. En consecuencia se tiene:

$C < 0.85 \%$ *Aceros hipoeutectoides*, formados, en estado recocido, por *perlita + ferrita*;

$C = 0.85 \%$ *Acero eutectoide*, formado, en estado recocido, *solamente por perlita*.

$C > 0.85 \%$ *Aceros hipereutectoides*. formado en estado recocido, por *perlita y cementita*.

Dicho lo anterior se pueden definir los siguientes puntos críticos:

A₁: es el punto crítico en el que tiene lugar la transformación *austenita* \longleftrightarrow *perlita*, significando el signo \longleftrightarrow que durante el calentamiento la transformación se efectúa en un sentido y durante el enfriamiento en sentido contrario.

A₃: es el punto crítico que corresponde a la transformación *ferrita* \longleftrightarrow *austenita* o *hierro* y según la proporción de carbono para los aceros hipoeutectoides.

A_{cm}: es el punto crítico que corresponde a la disolución o precipitación de la *cementita* en la *austenita* para los aceros hipereutectoides.

A₄: es el punto crítico correspondiente a la transformación

austenita o hierro γ \longleftrightarrow ferrita ó hierro δ .

Al variar el porcentaje de carbono, varían también las temperaturas correspondientes a los puntos críticos; en consecuencia, en el diagrama porcentajes-temperatura (llamado *diagrama de equilibrio de las aleaciones hierro-carbono*) reproducido en la figura 4.1 el lugar geométrico de todos los puntos críticos es una línea cuya posición es preciso conocer. Así que, pudiendo tal vez corresponder a cada punto crítico, si se considera, por ejemplo el aumento gradual de temperatura, dos temperaturas distintas, una al principio de la transformación, y otra al final de la transformación considerada, pueden también resultar dos líneas distintas, una del principio y otra del final de dicha transformación, líneas que limitan un campo, en el cual puede tener lugar la transformación considerada.

En el diagrama de equilibrio, *MNPQ* es la línea de líquido, es decir la que corresponde a la variación del punto de fusión, encima de la cual todas las aleaciones son líquidas; por debajo de dicha línea, las aleaciones están total o parcialmente solidificadas. La línea *HRSTPU* es la línea de sólido, por debajo de la cual todas las aleaciones están completamente solidificadas.

El valor de *A₃* disminuye al aumentar el % de carbono hasta llegar a 723°C para C = 0.85 % (eutectoide); luego, aumenta a 1130°C (punto T que corresponde al 1.7 % de C, por encima de la cual ya no hay aceros sino fundiciones).

Si un acero con C = 0.7 %, se enfría ocurre lo siguiente, (vease el diagrama siguiendo la vertical *DG*).

En *D* empieza a solidificarse; entre *D* y *E* se forman cristales de hierro γ con carbono disuelto, mezclados con la aleación líquida; en *E* (a unos 1330°C) la solidificación es completa; la aleación es una solución de carbono en el hierro γ (austenita).

De *E* a *F* no se produce variación. En *E* empieza la transformación del hierro en hierro β y α , y ya no puede contener carbono disuelto. r lo tanto de *F* a *G* se tiene una mezcla, en estado sólido, de ferrita y austenita en la cual, al bajar la temperatura, el porcentaje de C alcanza en *G* el valor 0.85 %.

Por debajo de *G* ya no hay austenita, sino ferrita α mezclada en estado sólido con cementita, y además ferrita en cantidad variable: es

decir se tiene: ferrita + (ferrita y cementita con $C = 0.85 \%$), o sea, ferrita + perlita.

El área limitada por las líneas señaladas en la figura con A_3 , A_{cm} y A_1 se llama campo γ .

Con un acero hipereutectoide, con un 1.2 % de C (vease diagrama vertical $D'-G'$): en D' empieza la solidificación; entre D' y E' los cristales de austenita se encuentran mezclados con la aleación líquida; entre E' y F' (sólido) se tiene la austenita; entre F' y G' se separa la cementita de la solución sólida; debajo de G' se tiene un conglomerado de perlita (ferrita y cementita con $C = .85 \%$) y cementita.

Para la fundición $C > 1.7 \%$ cuando se produce el enfriamiento, si la proporción de C es $< 4.3 \%$ se produce entre D'' y E'' la precipitación de cristales de austenita en el líquido; si $C > 4.3 \%$ se produce la precipitación de cementita en el líquido.

De la misma forma, en P, con 4.3 % de carbono, se forma la estructura sólida ledeburita (constituyente fundamental de todas las fundiciones): con contenidos menores o mayores de carbono, además de la ledeburita se tiene austenita o cementita. Esta última se puede descomponer posteriormente en carbón grafitico (grafitación) y ferrita.

Volviendo sobre las zonas de los aceros considerados anteriormente, correspondientes a las verticales DG , $D'G'$ del diagrama se comprende fácilmente que, si se enfría bruscamente la aleación hasta la temperatura ordinaria, no dando tiempo al carbono para separarse, se tendrá el tratamiento de temple, con lo cual se obtiene una estructura similar a la austenítica, llamada, martensita; pero dicha estructura es inestable, en el sentido de que si se efectúa un nuevo calentamiento seguido de un enfriamiento lento (recocido) ó rápido (revenido), la estructura martensítica desaparece o se atenua, por lo que según la temperatura alcanzada, se pueden obtener diferentes estructuras, todas ellas de bastante importancia por sus aplicaciones.

Fundiciones

Las fundiciones, son aleaciones de hierro carbono, que se trabajan por fusión y no por forja, están muy extendidas en las

aplicaciones mecánicas.

La cementita que contienen las fundiciones puede descomponerse total o parcialmente, como ya se ha dicho, en hierro y grafito. Existen numerosos tipos de fundiciones cada uno con características propias, que lo hacen especialmente para un determinado sector de aplicación.

La clasificación de las fundiciones se basa por su composición, según el siguiente esquema:

Fundiciones brutas no aleadas.- Ordinarias; para afino: *Fundición Bessemer* (serie 0000), *Fundición Thomas* (serie 1000), *fundición Martin* (serie 2000); para moldeo: serie 3000, serie 4000, serie 5000. Con características especiales (serie 6000).

Fundiciones brutas aleadas.- (serie 7000) *fundición especular*, *fundición al fosforo*, otras fundiciones.

Para efectos de unificación se indican con el nombre de fundiciones brutas los productos férricos con un contenido mínimo de 1.9 % de carbono, destinados a posteriores transformaciones y que contienen como elemento principal en peso el hierro.

En las fundiciones brutas los demás elementos componentes están sujetos a los siguientes límites:

Fósforo	≤ 15 %
Silicio	≤ 8 %
Manganeso	≤ 30 %
Cromo	≤ 30 %
Wolframio	≤ 40 %

Otros elementos (aluminio, cobre, molibdeno, níquel, azufre, titanio, vanadio, etc.). sumados ≤ 10 %. Válidos sólo para fundiciones aleadas.

Para las fundiciones no aleadas el contenido máximo de los diversos elementos es el siguiente:

Fósforo	≤ 2.50 %	Níquel	≤ 0.30 %
Silicio	≤ 8.00 %	Azufre	≤ 0.08 %
Manganeso	≤ 6.00 %	Titanio	≤ 0.20 %
Cromo	≤ 0.20 %	Otros elementos	≤ 0.10 %
Cobre	≤ 0.30 %	(para cada uno).	

Las fundiciones no aleadas ordinarias.- como se ha dicho, se dividen en fundiciones para afino, destinadas a la fabricación de acero mediante afino, y fundiciones para moldeo, destinadas a la fabricación de piezas fundidas.

Clasificación practica y caracteristica de las fundiciones

Fundiciones blancas.- En ellas el carbono se halla en forma de carburo de hierro (cementita): estructura argéntica, frágil, durísima, funden a unos 1100°C: de imposible o mal mecanizado en frio, debido a su dureza y fragilidad, tienen generalmente un porcentaje de manganeso; que facilita la formación de cementita dificultando la grafitización, especialmente si la velocidad de enfriamiento es elevada. Se emplean para fabricar piezas que hayan de resultar de gran dureza y que en su funcionamiento esten sometidas a choques (mandibulas de trituradoras, corazas de molinos, bombas para barros, etc.). Muy empleada como material de partida para la obtención de fundición maleable.

Fundiciones maleables.- La fundición blanca, calentada durante bastante tiempo a la temperatura conveniente, se maleabiliza (sin llegar nunca a ser forjable), es decir, adquiere una pequeña resistencia a la tracción y las piezas fundidas se pueden aún enderezar, si han experimentado una deformación moderada. La maleabilidad se puede obtener de diferentes formas:

a) **Método europeo o de núcleo blanco.** Piezas (pequeñas o por lo menos de poco espesor) encerradas en una caja que contiene el material oxidante (polvo de óxido de hierro), que ha de producir una descarbonación, se mantienen durante un tiempo de 90 a 120 horas de 800 a 900°C.

b) **Método americano (ó de núcleo negro).** Ambiente neutro; calentamiento lentísimo de 40 a 50 horas para llegar gradualmente a la temperatura ambiente de unos 820°C; manteniendo está temperatura durante 50 horas; enfriamiento lentísimo de unas 60 horas de duración. Se produce la grafitización de la cementita en nódulos.

c) **Método Robiette** (variante moderna del método europeo). Las piezas de fundición blanca se ponen en un horno (de 900 a 1050°C) en ambiente oxidante (mezcla de óxido de carbono, 20 % y anhídrido carbónico) que descarbona la fundición, dejando el núcleo blanco.

La fundición maleable de núcleo blanco puede presentar estructura de matriz ferrítica, perlítica ó sorbítica, según sea la estructura de la fundición de que se há partido. Puede mecanizarse y soldarse, y tiene buena resistencia mecánica, esencialmente después de un tratamiento de bonificado.

Fundiciones grises.- El carbono se halla en parte en forma de grafito y en parte en forma de cementita, uniformemente distribuidos, por lo que la fractura es gris. Porcentaje de carbono de alrededor de 3.4 %: son de buen mecanizado, con buena resistencia a la compresión, frágiles, de dureza de mediana a moderada. De extraordinario empleo en el moldeo mecánico.

Fundiciones atruchadas.- El carbono se halla aquí también en parte en forma de grafito y en parte en forma de cementita, pero distribuidos irregularmente por lo que la sección se presenta con manchas.

Fundiciones negras.- Todo o casi todo el carbono se presenta en estado grafitico, por lo que la estructura es negra. Características semejantes a las de la fundición gris, pero de inferior calidad; por lo que se emplean menos.

Fundiciones mehaníticas.- Fundiciones especiales, patentadas, obtenidas por inoculación del siliciuro de calcio en la fundición líquida en el momento de la colada, con lo que se obtiene una grafitización finísima, que da una estructura compacta (laminillas grafiticas pequeñísimas en estructura perlítica) con buena resistencia mecánica, una notable facilidad de mecanizado y capacidad de recocido, temple y revenido.

Fundiciones esferoidales.- Obtenidas con la adición de magnesio-niquel a la fundición ordinaria (con porcentaje de carbono de 3 a 4 %, Si de 1.5 a 2.5 %, Mn \leq 0.6 %, S \leq 0.05 %, y P \leq 0.1 %) que producen la formación de pequeños nódulos o esferas en la masa perlítica o férrica o austenítica de la fundición. Ver tabla T-4.3.

Se ha difundido recientemente en la técnica mecánica, por sus excelentes propiedades mecánicas y tecnológicas que les han permitido sustituir en muchas aplicaciones a los aceros; presentan fluidez, colabilidad, resistencia al desgaste, a la corrosión, y al calor como las fundiciones; facilidad de maquinado, ductilidad, resistencia a las

solicitaciones, alargamiento y resiliencia mucho mayores, cierta soldabilidad, posibilidad de recocido, normalizado y temple.

Fundiciones especiales (aleadas).- La adición de níquel, cromo, molibdeno, acrecienta algunas de sus propiedades. Algunas de estas han recibido nombres especiales (ni-resist., etc.). Hay muchísimos tipos con adición de elementos aleados, que acrecientan algunas propiedades, dan a las piezas fundidas variadas estructuras, etc. Se emplean para coquillas, estampas para aleaciones ligeras, etc.

No se encuentran unificadas.

COBRE Y SUS ALEACIONES

Generalidades.- El cobre, metal muy conocido de color rojo, con peso específico de 8.9 kg/dm^3 , punto de fusión de 1083°C , maleable, dúctil, muy buen conductor del calor y la electricidad, se emplea como metal: a) en la industria eléctrica, como conductor en forma de hilos, cintas, etc. b) laminado y batido, para calderas, autoclaves, aparatos de destilación, serpentines, tuberías de vapor, etc.

Después de las aleaciones siderúrgicas, las aleaciones de cobre son las de mayor aplicación en la industria mecánica y se conocen con los nombres de bronce y latones. Pueden obtenerse por fusión ó por fabricación plástica, e incluyen una gran variedad de estas.

Las aleaciones de cobre de fabricación plástica son las que contienen el cobre en proporción no inferior al 50 % y destinados a la producción de semifabricados obtenidos por deformación plástica. Se clasifican del siguiente modo:

Aleaciones en estado bruto de fusión destinadas a ser sometidas a deformación plástica en caliente ó en frío. Aleaciones en estado de semifabricados, divididas en laminados, de extrusión, forjados, estampados, y estirados.

Las aleaciones de cobre de fabricación plástica se dividen en:

Latones.- Se les dá este nombre a las aleaciones de cobre que tienen como elemento principal aleante el cinc, en proporción no superior generalmente al 45 %. A veces se añaden otros elementos, con objeto de mejorar algunas propiedades tecnológicas fisicoquímicas ó mecánicas, y se tienen entonces *latones especiales*. Agregando el cinc al cobre, se baja el costo de este último y se mejoran la

maleabilidad, fusibilidad, resistencia y dureza. Las propiedades características no se alteran con los tratamientos térmicos de temple. Con porcentajes superiores al 30 % de cinc, disminuye la maleabilidad, pero aumenta la resistencia última, con porcentajes no mayores al 45 %, el color varía de rojo (con Zn \leq 10 %) y tiende a amarillo (con 10 < Zn < 20 %), estas últimas se emplean en joyería de fantasía, con % del 35 al 45 % los latones se trabajan en caliente, para piezas mecánicas.

Se le agrega fósforo, con el fin de que sirva de desoxidante, se agregan también elementos como el hierro, manganeso, níquel y plomo. Las aleaciones que se obtienen son: *metal Delta* (Cu 55 %; Zn 41 %; Fe + Mn 2 %; Pb 2 %), con elevadas características mecánicas, se forja en frío y en caliente, lamina, etc.

Alpacas (sigla Alpa).- Son aleaciones ternarias de cobre, latones al níquel, que decolora al latón y le aumenta la resistencia mecánica, contienen un mínimo de 10 % cinc. y níquel en cantidad variable (un 18 %), pero suficiente para dar un color plateado a la aleación.

Bronces.- Con este nombre se designa una extensa serie de aleaciones en las que el principal elemento aleado en el cobre es el estaño (aleación binaria si es el único elemento), puede estar aleado teniendo bronce al cinc, al plomo, al aluminio, etc; que son llamados **especiales**, sin que estos elementos rebasen el contenido de estaño en %. El cinc, provee mayor fluidez en la colada, el plomo baja la temperatura de fusión de los bronce, disminuye el coeficiente de fricción.

El aluminio en proporciones menores al 10 % da bronce apropiados para fabricaciones plásticas y moldeo, la adición de níquel aumenta la ductilidad en pequeñas cantidades y la dureza en grandes cantidades, el hierro afina el grano de la aleación y aumenta la resistencia a la corrosión, el manganeso eleva el Su (esfuerzo último) y el Sy (esfuerzo de fluencia), el cobalto aumenta la dureza.

Cuproaleaciones especiales (sigla CU).- las hay de cobre al manganeso con 3.5 % de Mn, Cobre al silicio manganeso Si 3 % Mn 1 %, Cuproníquel con Ni 2% y Si 1 %, Cobre al Hierro con Fe al 6 % y 1 % de Al, Cobre al cadmio ya sea con 1 ó 0.5 % de Cd, y Cobre al cadmio y

estaño, con 1 % de Cd y 0.4 % de Sn. Y el monel con níquel.

ALEACIONES DE ALUMINIO Y MAGNESIO

Aleaciones de aluminio.- Literalmente se pueden obtener cientos de aleaciones de aluminio para trabajo plástico, o para fundición. la composición química de estas aleaciones está designada por cuatro dígitos para las aleaciones de trabajo plástico y por tres dígitos para las fundiciones. Cualquier tratamiento térmico o mecánico se encuentra indicado después de la designación de la aleación como se muestra en la tabla T-4.4.

T-4.4 DESIGNACIONES DE TEMPLE PARA ALEACIONES DE ALUMINIO Y MAGNESIO

TEMPLE	PROCESO
F	Como fundición
O	Recocido
Hxx	Endurecido por esfuerzo. El primer dígito indica la combinación específica de operaciones, el segundo el grado de endurecimiento por esfuerzo.
T3	Tratado por solución sólida, trabajado en frío y envejecimiento natural.
T4	Tratado por solución sólida y envejecimiento natural.
T5	Enfriado, de una muy alta temperatura, proceso de moldeado y envejecimiento artificial.
T6	Tratado por solución sólida y envejecimiento artificial.
T8	Tratado por solución sólida, trabajo en frío y envejecimiento artificial.

Los tratamientos térmicos de las aleaciones de aluminio para incrementar la dureza y la resistencia son poco diferentes de las aleaciones del acero. Primero se les eleva la temperatura el tiempo suficiente como para agregar los elementos aleantes que les eleva la dureza (como Cu, Mg, Mn, Si, Ni) en solución, luego templados, y finalmente endurecidos por envejecimiento. Luego se precipitan los elementos endurecedores en la estructura. Algunos lo hacen a temperatura ambiente, mientras otros requieren temperaturas elevadas

(envejecimiento artificial).

Aleaciones Ultraligeras.- Se conocen con este nombre a las aleaciones a base de magnesio, cuyo peso específico no es superior a 2 Kg/dm³ hacen que sus aleaciones sean las más ligeras conocidas en ingeniería. Se conocen en el comercio con el nombre de *Elektron* o *Atesia* y tienen como elementos aleantes con el magnesio, el aluminio, el cinc y el manganeso. Cada uno de estos elementos aleantes tiene su influencia propia, a veces muy considerable, sobre las propiedades tecnológicas, mecánicas, físicas y químicas de las aleaciones. El aluminio proporciona aumento de resistencia; el cinc mejora las propiedades elásticas, el manganeso le da una mayor resistencia a la corrosión, según el porcentaje de los aleantes, es el proceso de conformado a que se destina el material, que responde a muchísimas de las exigencias mecánicas de la industria.

Estas aleaciones están designadas por la American Society for Testing and Materials (ASTM), que cubre tanto las relaciones químicas como los tratamientos térmicos. La designación comienza con dos letras representando los primeros dos elementos aleantes de mayor concentración, y las letras designadas para este caso son :

A - Aluminio	M - Manganeso
E- Tierras raras	Q - Plata.
H - Torio	S - Silicio
K - Zirconio	Z - Cinc

L - Litio

Los siguientes son dos dígitos que representan los respectivos porcentajes de estos dos elementos, redondeados a dos cifras. Siguiendo a estos dos dígitos sigue una letra serial que indica alguna modificación de la composición, o aleantes menores ó impurezas, el tratamiento térmico se indica en seguida de la misma forma que se hace con el aluminio (tabla anterior). Por ejemplo , la aleación AZ31B-H24 contiene 3 % de Al, 1 % Zn y está endurecida por deformación.

PLASTICOS Y COMPUESTOS

En atención a que el diseñador pueda seleccionar y utilizar plásticos como componentes de máquinas, se incluyen estos dentro de este capítulo, haciendo la debida mención, que para llevar acabo una adecuada selección, el diseñador deberá consultar un texto apropiado,

ó consultar al especialista competente o bien al fabricante.

Los plásticos constituyen un grande y variado grupo de materiales orgánicos sintéticos, que se encuentran por lo regular en estado sólido en su estado final, ya que casi siempre se encuentran en estado líquido antes de ser procesados, para que se les imparta la forma deseada. El término "plástico", es en realidad inapropiado, puesto que sólo se encuentra en ese estado durante una parte de la manufactura.

Las partes básicas de los plásticos son los monómeros. Que en condiciones apropiadas, bajo el calor y/o la presión, estos se polimerizan, convirtiéndose en polímeros. La adición de más monómeros, hace crecer las cadenas de los polímeros, haciendo que éstas cambien sus propiedades físicas, y peso molecular, estas cadenas pueden crecer a los lados. Las propiedades físicas de un plástico pueden ser cambiadas mediante una copolimerización, y por aleaciones.

Los plásticos han sido comunmente designados como *termoplásticos* (aquellos que reblandecen con el calor) y como *termoestables* (que no reblandecen con el calor). También se les conoce como *lineales*, y *entrecruzados*. Las cadenas de polímeros en plásticos lineales permanecen lineales y separadas después del moldeado. Las cadenas en los plásticos entrecruzados, tienen las cadenas en línea antes del proceso, pero se vuelven irreversibles durante el moldeo en un trabajo de interconexión molecular.

La interconexión de las cadenas se puede iniciar mediante un calentamiento, la adición de un químico, radiación, ó una combinación de las anteriores. Algunos plásticos pueden permanecer en ambas formas siendo la forma entrecruzada la que resiste más el calor, ataque químico, y rotura (tienen mejor estabilidad dimensional). En la contraparte el polímero lineal es menos quebradizo (más resistente al impacto), son más fácilmente procesados y adaptados a formas complejas

Los reforzamientos con fibra de vidrio dan mejores propiedades mecánicas a los plásticos, por factores de 2 ó 3. Con un gran costo se pudo también hacer un arreglo con reforzamientos de fibra de carbono. Estos materiales relativamente nuevos (de un 10 a 40 % de carbono) tienen resistencia a la tensión de hasta unos 276 MPa. Comparadas con las resinas en fibra de vidrio, tienen menores coeficientes de dilatación, menores contracciones, y mejorada resistencia a la rotura;

muestra resistencia. La nueva fibra se está usando para componentes de máquinas y estructura que requieren de bajo peso. .

Los termoplásticos reciben beneficios similares con los reforzamientos de fibra de vidrio, los más importantes comercialmente son las resinas del poliéster, y las resinas epóxicas. Se hace notar que los valores publicados de resistencia de plásticos reflejan valores de condiciones de moldeo estandarizadas que son simples, económicas y fáciles de reproducir, por lo que otro tipo de moldeo puede cambiar los valores de manera significativa. Esto hace evidente que para la correcta selección del plástico habrá que consultar a una autoridad en la materia.

Termoplásticos.-

ABS (acrilonitrilo-butaldeido-estireno): muy vigoroso, duro y rígido, razonable resistencia química; baja absorción de agua; buena estabilidad dimensional; gran resistencia a la abrasión y fácilmente galvanizado.

Acetal: muy fuerte, plástico de ingeniería tenso con una excepcional estabilidad dimensional, resistencia a la fractura y a la fatiga; bajo coeficiente de fricción; alta resistencia a la abrasión y a los químicos; retiene muchas de sus propiedades cuando se sumerge en agua caliente, baja tendencia a la rotura por esfuerzo.

Acrílico: Gran claridad óptica, buena resistencia a la intemperie; superficie lustrosa fuerte; excelentes propiedades eléctricas; razonable resistencia química; se encuentra en gran variedad de colores.

Celulosas: Familia de fuertes y duros materiales; acetato de celulosa, propionatos, butiratos, y etil-celulosa. Los rangos de propiedades varían por la composición; disponible en diversa mezclas y resistencia química mediana, con baja estabilidad dimensional.

Fluoroplásticos: Una gran familia (PTFE, FEP, PFA, CTFE, ECTFE, ETFE Y PVDF) de plásticos que se caracterizan por buena resistencia química y eléctrica, baja fricción, e incomparable estabilidad a altas temperaturas, de alto costo, y resistencia baja a moderada.

Nylon (poliamida): Familia de resinas de ingeniería con tenacidad fuera de serie y buena resistencia. Bajo coeficiente de fricción y excelente resistencia eléctrica y química. Resinas higroscópicas; la

estabilidad dimensional es pobre ante las altas temperaturas.

Oxido fenileno: Excelente estabilidad dimensional (baja absorción de humedad); un rango superior de resistencia mecánica y eléctrica en un elevado rango de temperaturas. Resiste muchos químicos con excepción de los hidrocarburos.

Policarbonatos: Alta resistencia al impacto en cualquier rigidez, es transparente; excelente resistencia a la intemperie y resistencia a la rotura bajo carga, resistencia química razonable, algunos solventes aromáticos hacen fallar la resistencia al esfuerzo.

Poliéster: Excelentes estabilidad dimensional, propiedades químicas, eléctricas, y tenacidad. Exceptuando a los ácidos y bases fuertes. No se recomienda dejarlo a la intemperie, ni en agua caliente, es disponible también en formulaciones termoplásticas.

Poliétileno: Gran variedad de grados: baja, media y alta densidad, las de baja densidad son flexibles y tenaces, mientras las restantes son fuertes, rígidas y más duras. Todas son de bajo costo, fácilmente procesables y bajo peso: baja resistencia al calor, y mala estabilidad dimensional. Excelente resistencia química y eléctrica. Disponible en muy altos pesos moleculares.

Poliimida: Incomparable resistencia al calor (500°F continuos, 900° en forma intermitente). De alta resistencia al impacto luciendo buena resistencia, con bajo coeficiente de expansión térmica. De alto costo por su dificultad de procesarlo con métodos convencionales, dispone de buenas propiedades eléctricas.

Sulfuro de polifenileno: Incomparable resistencia química y térmica (450° F continuos). Resistencia excelente a bajas temperaturas; inerte a muchos químicos en un gran rango de temperaturas; requiere de altas temperaturas de proceso.

Polipropileno: Inigualable resistencia a la rotura por flexión; excelente resistencia química y propiedades eléctricas. Buena resistencia al impacto a los 15° F; buena estabilidad térmica, liviano, bajo costo y puede ser galvanizado.

Poliestireno: De bajo costo, fácil procesado, rígido, cristal claro, quebradizo, baja absorción de humedad, baja resistencia térmica, baja estabilidad a la intemperie; frecuentemente modificado, para mejorar la resistencia al calor ó al impacto.

Polisulfuro: Alta deflexión de calor de termoplásticos fundidos en el proceso, requiere de altas temperaturas de procesamiento; vigoroso (pero sensitivo a las insiaciones), fuerte y duro, con excelentes propiedades eléctricas y estabilidad dimensional; aun a altas temperaturas, puede ser galvanizado, de alto costo.

Poliuretano: Vigoroso, extremada resistencia a la abrasión y al impacto. Buena resistencia química y propiedades eléctricas. puede ser fabricado en láminas muy delgadas, moldes sólidos, y moldes flexibles;

la exposición a rayos UV (ultravioleta) lo convierte en un material quebradizo; disponible en formulaciones termoplásticas.

Cloruro de polivinilo: Disponible en muchas formulaciones, las formas rígidas tienen excelentes propiedades eléctricas, estabilidad en la intemperie, vigor, y resistencia a la humedad y los químicos; los flexibles son fáciles de procesar pero tienen bajas resistencia, la resistencia térmica es de baja a moderada para la mayoría de los PVC; son de bajo costo.

Termoestables.-

Alquiles: De excelentes propiedades eléctricas y resistencia al calor; de más fácil y rápido moldeado que los demás termoplásticos.

Aliles: Estabilidad dimensional y propiedades eléctricas fuera de serie, fácil de moldear; excelente resistencia a los químicos y humedad a altas temperaturas.

Aminos (urea, melamina): Resistencia a la abrasión, el astillado y a los solventes, la urea es mas barata y fácil de procesar que la melamina; la melamina es más dura y tiene mayor resistencia al calor y los químicos.

Epóxicos: Resistencia mecánica, propiedades eléctricas, y adhesión a la mayoría de los materiales excepcional; baja contracción en el molde; algunas mézclas pueden ser curadas sin necesidad del calor o la presión.

Fenólicos: Material de bajo costo, con buen balance de propiedades mecánicas, térmicas y eléctricas; limitada en color a negro y café.

Poliester: Excelente balance de propiedades; colores ilimitados, transparente u opaco; no genera gases durante el curado, pero la contracción en el molde es alta. Se pueden usar moldes de bajo costo

con ausencia de calor o presión. Se utiliza para hacer componentes de fibra de vidrio. Disponible también en termoplásticos.

Poliuretano: Puede ser flexible o rígido, dependiendo de la formulación; tenacidad, resistencia a la abrasión, y al impacto fuera de serie; particularmente destinada para partes largas espumosas, inclusive en partes rígidas o flexibles, también se produce como termoplástico.

Silicones: Resistencia al calor fuera de serie (de -100 a $+500^{\circ}$ F), propiedades eléctricas, y compatibilidad con cuerpos de seda; se cura por una gran variedad de mecanismos; de alto costo, disponible en muchas formas, resinas laminadas, moldeo, resinas de fundición.

SELECCION DE LOS MATERIALES EN EL DISEÑO DE MOTORES DE FLUIDO.

Hay varias fuentes de datos disponibles para la evaluación de materiales en motores de fluidos. La mejor es la experiencia práctica en el diseño, uso y construcción de estos. Ya que quienes se dedican a esta actividad tienen personas especializadas en analizar y procesar datos del comportamiento de los materiales en el trabajo, y por tanto se deben consultar estas fuentes cuando se vaya a hacer una evaluación de materiales. La segunda fuente de datos son los resultados del trabajo de laboratorio aunque no pueden dar una información tan fidedigna como la obtenida en el funcionamiento de los prototipos. La tercera fuente de información, son los fabricantes aunque no se puede esperar que den una opinión acerca de los detalles del proceso y los constituyentes del producto, pero por lo general pueden ofrecer muestras de materiales para ensayos de trabajo para facilitar la decisión. Los manuales y publicaciones periódicas serían una cuarta fuente de información pero se necesitaría tener algún sistema de almacenamiento para poder aprovechar la la información actualizada.

Los materiales que se recomienda en motores de fluidos son los aceros inoxidables. De ellos los más usuales son los austeníticos como tipo 304 y 316, ya que resisten más la corrosión que los martensíticos y los ferríticos. Si se considera que el ambiente a que estará expuesto el motor no es muy corrosivo, bastará con un acero al carbono, hierro fundido, y hierro dúctil fundido, pero para servicios muy severos se recomiendan el acero inoxidable de alto contenido de aleación como el alloy 20. Las aleaciones a base de níquel se

recomiendan para su empleo en la flecha del motor y en los rotores del mismo, pudiendo ser también de aceros al níquel-cromo, níquel-molibdeno, y níquel-cromo-molibdeno.

Las aleaciones a base de cobre, aluminio y el titanio son de uso menos común, estas se utilizarán en chumaceras y rodamientos cuando el motor las requiera; en ocasiones también se usa el circonio. El aluminio puede emplearse en la fabricación de los rotores y las válvulas siempre que su resistencia al desgaste lo permita.

En cuanto a los plásticos (se incluyen los cauchos naturales y sintéticos), se emplean estos en gran proporción sin desplazar por completo a los metales, ya sea por su bajo costo, por su baja inercia o facilidad de maquinado, para la fabricación de sellos, elementos transmisores de potencia, válvulas y rotores.

Aunque lo utilizan muy poco los fabricantes, el hierro al silicio es el material metálico más resistente a la corrosión que se pueda obtener a un precio razonable. Esta resistencia más la dureza que alcanza hasta unos 520 Brinell lo hacen muy adecuado para partes de carcasa ó tapas de está. Pero está misma dureza no permiten un maquinado normal, sino con esmeriladora, además de que impide el uso de machuelos y brocas, por lo que sólo lo recomendamos para su uso en la fabricación de las tapas periféricas.

Un tipo de fundición recomendada para su aplicación en la fabricación del cuerpo de la carcasa y las tapas laterales del motor son las fundiciones esferoidales, de las que se presenta en la tabla T-4.3, y más específicamente las fundiciones esferoidales Ni-resist. D3. Para el caso del motor del cual es objeto la presente tesis, los materiales que se usaran no necesariamente tendran que ser los anteriormente mencionados, pues para el efecto del estudio y prueba del motor bastará con que los materiales empleados resistan los efectos de la corrosión y el desgaste a que se someterán las piezas mecánicas, por lo que el material de los rotores será de un acero AISI-SAE 1040 y se probara con fundición de aluminio de ser necesario, lo mismo que para la flecha del motor, las placas de las tapas periféricas y laterales serán de un acero AISI-SAE 1020, el cuerpo de la carcasa será de un tejo de acero AISI-SAE 1010, las válvulas deslizantes serán de un acero AISI-SAE 1040-45 ó de algún

compuesto plástico que pueda ser utilizado.

T - 4.3 FUNDICIONES ESFEROIDALES

TIPO DE FUNDICION	CARACTERÍSTICAS MECANICAS				CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES
	Sy kg/mm ²	Su kg/mm ²	DEFORMACION (en 50 mm.) %	DUREZA Brinell ₂ kg / mm ²	
Fundiciones Esferoidales					
Perlitica	42 (42-53)	56 (63-77)	3 (3-10)	de 200 a 270	Fundición de gran resistencia mecánica en estado crudo de fusión. Resistente al desgaste, y templeable a la flama o por inducción.
Ferritica	32 (32-42)	42 (42-53)	10 (10-25)	de 140 a 190	La estructura puede mejorarse por recocido de buena tenacidad y se trabaja bien, se temple a la flama y por inducción.
Perlitico ferritica	38	50	4	de 200 a 240	La estructura perlitico-ferritica se obtiene directamente en estado crudo de fusión bien con el adecuado tratamiento térmico.
Martensítico sorbitica	53-63 (53-68)	70-84 (70-105)	2-4 (2-10)	de 200 a 325	Admiten tratamiento de normalizado y revenido, o bien el temple y revenido. Se pueden endurecer a la flama o bien por inducción.
Austenitica	22.5 (22-25)	38.5 (38-48)	7 (7-40)	-	Resistentes a calor y a la corrosión. Magnéticas y facilmente soldables.
Resistente al calor	32-53	42-70	0-20	-	Presenta excelente resistencia a la corrosión y a las temperaturas elevadas.
Fundiciones Esferoidales Ni-Resist.					
D 2	22-25	38.5-48.5	8-20	-	Anagnética. Resiste bien el calor y los ácidos. Presenta elevada resistividad eléctrica y buena resistencia a la corrosión y al desgaste. Empleada en construcciones eléctricas y navales.
D 2B	23-26	41-49	7-15	-	Buena resistencia al calor, a la erosión, a las sales reductoras, al vapor vivo. Es usada para rotores de bombas, pequeñas hélices, etc.
D 2C	21-24	38-45	20-40	-	Fácilmente soldable. Apropriad para aplicaciones a temperaturas bajas y medianas.
D 3	23-26	38.5-47	7-18	-	Presenta buena resistencia al vapor húmedo, a los barroes y a los abrasivos; tiene pequeño coeficiente de dilatación. Apropriad para bombas, válvulas, cilindros para fábricas de papel, piezas sujetadas a rápidas variaciones de temperatura.
D 4	27-31	42-50.5	1.5-4	-	Presenta buena resistencia a la corrosión a la erosión, y a la acción del calor, -- hasta la temperatura de 800°C. Tiene buena resistencia al desgaste también a bajas temperaturas.

CAPITULO V MANUFACTURA DEL MOTOR HIDRAULICO

CONSIDERACIONES GENERALES.

Este capítulo cubre detalles relacionados que, en su mayor parte, son inseparables de las discusiones anteriores al diseño de un motor de desplazamiento positivo rotatorio. Cada parte del motor que es diseñada, debe realizar una función específica; debe llenar ciertos requerimientos de precisión mínimos. Su costo debe ser lo más bajo posible, debe estar disponible cuando la producción programada lo exija (así como su demanda), y debe reunir varios requisitos auxiliares, tales como seguridad, adaptabilidad a la máquina en que va a ser maquinada y una duración aceptable. El objetivo de este capítulo es ayudar al diseñador a dar un plan de trabajo que pueda entregar producción, en la cantidad y calidad especificada, al costo más bajo, y cuando se necesite.

Los conocimientos previamente presentados pueden emplearse para crear muchos diseños alternativos, para los cuales se dispone de diversos materiales, y toma de decisiones tales como tersura de la superficie y precauciones de seguridad.

A continuación se da un esquema básico para guiar al diseñador en la preparación de su análisis, tabla T-5.1 y ayudarle a asegurar que no se ha descuidado criterio primario alguno.

T - 5.1 ESQUEMA BASICO PARA EL ANALISIS EN EL DISEÑO

CREACION	ANALIZAR EN TERMINOS DE ESTOS CRITERIOS				
Alternativas	Función	Calidad	Costo	Fecha	Auxiliar
A	X	X	X	X	X
B	X	X	X	X	X
C	X	X	X	X	X
.
.
.
n	X	X	X	X	X

Es necesario primero definir el problema o las condiciones que regirán cada decisión en relación con la geometría de la herramienta, la elección de los materiales y su tratamiento térmico, tolerancias,

grado de complejidad y cualquier criterio auxiliar. En el esquema de análisis se proporciona el criterio específico, tomando en consideración de las preguntas: (1) Realizará la pieza la función que se pretenda?, (2) Se satisfacen los requerimientos de calidad?, (3)

Cuales son las limitaciones sobre el dinero disponible para la construcción de la pieza?, (4) Cuando se debe complementar la pieza? y (5) Que factores auxiliares afectarán la construcción de la pieza?.

Esto sugiere una generación de alternativas, pero por otro lado, los ingenieros responsables en la planeación de la fabricación deben redactar sus planes en alguna forma que pueda ser circulada y utilizada por mucha gente para cumplir su parte individual en la operación total de manufactura. Muchas industrias denominan a los documentos que describen todos los pasos en la manufactura de un producto determinado; una "hoja de ruta" (nosotros la definiremos como ruta de trabajo). Esta describe de ordinario el material, componentes estándar, ó aprovisionamiento requerido y cada paso de procedimiento para crear el artículo determinado para ser inspeccionado contra dibujos (planos). También identificará toda la maquinaria requerida en cada paso, y cualquier herramienta especial, como dispositivos, sujetadores, matrices, calibres, generadores de curvas, copladores, ó partes especiales existentes ó que tengan que ser diseñadas (previo acuerdo). Se origina una orden de cierta forma, ordenando la adquisición de tales artículos y expresando ciertas ideas como el diseño deseado, ó al menos la función requerida de la herramienta.

Todas las ordenes de está forma son el primer paso en el diseño deseado, o al menos , la función requerida de la pieza, y deben ser claramente establecidas y bien coordinadas para lograr un correcto principio de diseño.

El diseño requiere una hoja de circulación de los materiales (ruta de itinerario), un dibujo de la pieza, y una forma que establezca cualquier indicación que el creador de la misma considere necesaria. Básicamente el creador debe visualizar la pieza y ser capaz de comprender la forma en que la parte a diseñar ajustará en la producción de la pieza durante el proceso de manufactura. A veces el planeador no diseña las piezas, pero deberá dirigir su obtención por medio de palabras y esquemas que indiquen claramente lo que desea.

El trabajo real de crear sobre el papel el diseño, de conjunto de las partes o de herramientas para los procesos de manufactura debe efectuarse dentro del marco de trabajo general de las reglas siguientes:

1. Trazar la pieza en un color de identificación (se sugiere el rojo).
2. Trazar cualquier herramienta cortante. La posible interferencia con otras herramientas deberá indicarse en otro color de identificación (se sugiere azul). El empleo de herramientas de corte no deberá dañar la máquina o el dispositivo sujetador.
3. Indicar todos los requerimientos de posicionamiento para la pieza. Existen tres planos de colocación, utilizar tres puntos en uno, dos en el segundo y uno en el tercero. Todos los posicionadores deben de ser accesibles para la limpieza de las virutas y suciedad.
4. Indicar todos los requerimientos de sujeción para la pieza. Deben hacerse planes para evitar el marcado y la deformación de la pieza a maquinar en sus superficies delicadas.
5. Trazar los detalles con la debida consideración a los tamaños del material en bruto, para reducir los requerimientos de maquinado.
6. Siempre que sea posible, emplear la escala natural en el trazado.
7. Indicar cada parte o detalle diferente de cualquier diseño de una pieza por el empleo de vistas detalladas con indicadores y flechas apuntando el detalle en la vista que muestre mejor su configuración. Estas no deberán quedar en la línea que sea común a los otros detalles.
8. Dibujar y dimensionar la pieza con la consideración debida para los que utilicen el dibujo para la fabricación del artículo en el taller.
 - a) No amontonar las vistas o las dimensiones.
 - b) Analizar cada corte para estar seguro de qué se puede hacer con las herramientas de corte estándar.
9. Emplear sólo las vistas necesarias para mostrar todos los detalles requeridos.
10. Deberá especificarse la tersura ó rugosidad de la pieza (de la que se hablará a continuación) en su superficie.
11. Las tolerancias y ajustes , peculiares a las herramientas , necesitan consideración especial. No es económico, por lo general, fijar tolerancias en ambos detalles de un par de piezas coincidentes

como lo requiera el detalle de producción de la pieza.

12. Se requieren notas para transmitir ciertas ideas que no pueden ser comunicadas por el dibujo convencional. Los tratamientos térmicos y acabados se identifican de ordinario como referencias de especificación más bien que indicarlos sobre cada dibujo.

ASPEREZA DE LAS SUPERFICIES, AJUSTES Y TOLERANCIAS.

Por definición, las asperezas de las superficies son irregularidades de las mismas finamente espaciadas, las cuales tienen altura, anchura, dirección y configuración, que establecen la forma de superficie predominante. Para poder comprender mejor la aspereza de superficie, veamos un dibujo aumentado de la superficie de una parte maquinada en la que aparecen los principales factores, como son las asperezas, ondulaciones y sesgo. fig 5.1.

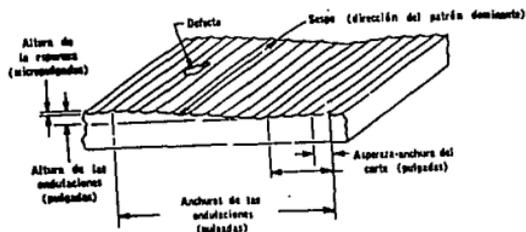


Fig. 5.1 Características de las asperezas básicas de las superficies

Ondulaciones: son variaciones anchas uniformes. La conformación gruesa de una superficie para su forma intentada o teórica, se controla por la exactitud de los movimientos de la herramienta o la pieza de trabajo y por las deformaciones que puedan ocurrir como resultado de los cambios de temperatura o la liberación de esfuerzos residuales. El término ondulaciones se usa para describir esas variaciones en la conformación de la superficie que están relativamente espaciadas o de tamaño grande.

Rugosidad: son las variaciones uniformes finas. El término rugosidad se usa para referirse a las irregularidades de la superficie finamente espaciadas. Relativamente la altura, ancho y dirección de las cuales establecen el patrón predominante de la superficie. La

rugosidad puede deberse a vibraciones de alta frecuencia, a marcas de la alimentación que ocurren como resultado de la combinación de la forma de la herramienta y los movimientos relativos de la máquina herramienta o las partículas de acumulación en la arista, que han escapado bajo la arista cortante y que se dispersan en la superficie acabada.

Rumbo: dirección del patrón de marcas de la herramienta. Esto es la dirección del patrón predominante de la superficie. El rumbo se determina sobretodo por la dirección del movimiento de corte que se usa para maquinarse la superficie y puede ser de una sola dirección, circular o de naturaleza aleatoria.

En general las imperfecciones son aleatorias pues cualquier superficie puede contener además de la rugosidad y de las ondulaciones, fallas e imperfecciones distribuidas al azar. Los rayones o marcas debidos a la mala manipulación de los materiales también corresponden a esta categoría.

El signo empleado para designar irregularidades de superficie es una $\sqrt{\quad}$ con uno de los lados más largo con una extensión horizontal. En la fig. 5.2 se ilustra una especificación completa de aspereza, ondulación y defectos.

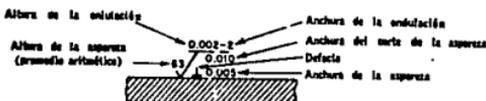


Fig.5.2 Especificación típica de aspereza, ondulación y defectos

La altura de la aspereza se mide en micropulgadas (0.000001 plg). La anchura puede medirse por varios métodos que se discutirán posteriormente; sin embargo, la anchura de corte de la aspereza estándar ha sido especificada como de .030 plg (.762 mm) por el gobierno de los Estados Unidos y es el estandar de anchura de aspereza que se usa, a menos que se especifique otra cosa. Las especificaciones del producto que cubran aspereza, ondulación y defectos deben ser indicadas por el diseñador del producto, y para las de la herramienta, por el diseñador de la misma. Las características de superficie no deben ser controladas sobre un dibujo o especificación a menos que tal

control sea esencial para realizar la pieza.

T-5.2 ESTANDAR PARA POSIBILIDADES DE PROCESOS DE ACABADOS

Zona de tolerancia total, in	Símbolo	Operaciones típicas del maquinado
0.062 a 0.125	1000/	Corte por llama
0.015 a 0.062	500/	Desbaste con esmeril, fundición en arena.
0.010 a 0.015	250/	Sierra forja, fundición en molde permanente.
0.005 a 0.010	125/	Torneado basto, taladrado, cepillado fresado, mandrinado.
0.002 a 0.005	63/	Torneado fino, cepillado, fresado, -mandrinado y escariado.
0.0005 a 0.002	32/	Rectificado, troneadó liso y pulido.
0.0002 a 0.0005	16/	Rectificado, húmedo, bruñido.
0.0001 a 0.0002	8/	Rectificado, húmedo, bruñido.
0.00004 a 0.0001	4/	Lapidado, pulimentado, superacabado.

Los valores */ son en micropulgadas.

T-5.3 ASPEREZA DE LA SUPERFICIE ASOCIADA CON LAS OPERACIONES DE

PRODUCCION

Valores de aspereza	PRODUCCION									
	1000	500	250	125	63	32	16	8	4	2	1
A. Acabados de máquina	Muy áspera ← → Muy lisa									
1. Corte con sierra, desbaste y corte	[Barra horizontal desde 1000 hasta 100]									
2. Chorro de arena	[Barra horizontal desde 1000 hasta 100]									
3. Esmeril de disco o liso	[Barra horizontal desde 1000 hasta 100]									
4. Torne, cepillo, presa	[Barra horizontal desde 1000 hasta 100]									
5. Mandrinadora	[Barra horizontal desde 1000 hasta 100]									
6. Taladro	[Barra horizontal desde 1000 hasta 100]									
7. Escariado	[Barra horizontal desde 1000 hasta 100]									
8. Rectificadora de superficies	[Barra horizontal desde 1000 hasta 100]									
9. Rectificadora cilíndrica	[Barra horizontal desde 1000 hasta 100]									
10. Rectificado húmedo o lapidado	[Barra horizontal desde 1000 hasta 100]									
11. Pulido o abrillantado	[Barra horizontal desde 1000 hasta 100]									
12. Superacabado	[Barra horizontal desde 1000 hasta 100]									

Las tablas T-5.2 y T-5.3 muestran que hay considerable superposición de capacidades de máquinas, pero también sugiere una selección relativamente limitada de los métodos de máquinas disponibles.

Las relaciones de costo, tolerancia y aspereza de la superficie

se muestran en la fig 5.3. El maquinado de estas tolerancias estrechas y las superficies de aspereza baja consumen más tiempo que el trabajo crudo; por lo tanto, su costo es mayor.

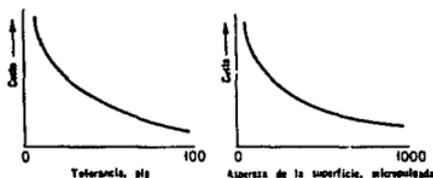


Fig 5.3 Relación entre tolerancia, aspereza y costo

Una vez que se han determinado los requerimientos de tolerancias y aspereza de la superficie pueden medirse con precisión sobre la pieza después de que ha sido fabricada.

Los instrumentos de medición disponibles emplean un circuito electrónico para amplificar y medir el movimiento vertical de un punzón de diamante. Se dispone de un espécimen estándar para la calibración del instrumento. El punzón del instrumento se mueve sobre la pieza que se está midiendo y la aspereza de la superficie se lee con precisión desde el instrumento en el rango de una a mil micropulgadas.

El diseñador de máquinas de desplazamiento positivo y en especial de motores hidráulicos debe vigilar siempre la sobre precisión en su propio trabajo así como del trabajo de los ayudantes. Esto es particularmente cierto cuando el diseñador de motores no es consultado durante el diseño de tal.

Tanto el diseñador del producto que especifica aspereza de la superficie, como el diseñador de herramientas que designe las herramientas para hacer la pieza, el personal de producción que la hace y el personal de control de calidad que la inspecciona, todos deberán de trabajar unidos para la especificación y realización realística de la aspereza de la superficie.

Tolerancia: es la desviación permisible en tamaño desde el tamaño nominal o especificado. El mecánico tiene que enfrentarse

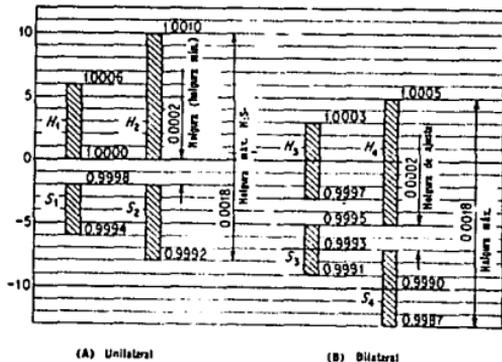
constantemente con la tolerancia de la pieza y la holgura de ajuste entre las piezas coincidentes.

Holgura: es una diferencia intencional entre los límites máximos del material de las partes de acoplamiento. El empleo de las piezas a ser fabricadas determina la tolerancia y la holgura y son especificadas por el diseñador del producto cuando diseña las herramientas para las piezas.

Cuando el diseñador de herramientas comience a trabajar sobre un motor, dispositivo o sujetador, debe estar bastante familiarizado con la tolerancia así como con los ajustes de holgura y de interferencia y cómo y como utilizar cada uno.

Sistema de tolerancias unilaterales. En este sistema se aplica una tolerancia en una dirección desde el tamaño básico, y puede ser más o menos como el que se ilustra en la tabla T-5.4. Esta figura muestra

T-5.4 SITUACION DE LAS TOLERANCIAS UNILATERALES Y BILATERALES



en una forma gráfica como se asignan las tolerancias para un eje y un agujero acoplados y el ajuste resultante. Se representan dos juegos de tolerancias para un eje de una pulgada y el agujero en donde se debe acoplar, así como los ajustes resultantes. Los ajustes se proporcionan en el orden del grado de ajuste, siendo el más fino H_1/S_1 (holgura menor, véase tabla T-5.5). La diferencia estriba en el grado de ajuste únicamente y no en la clase de ajuste. La principal ventaja

de este sistema es que permite el cambio de tolerancias sin mejorar la clase de ajuste esencial.

T-5.5 VALORES DE HOLGURAS UNILATERALES

	Combinación			
	H_1/S_1	H_1/S_2	H_2/S_1	H_2/S_2
Holgura (huelgo mínimo)	0.0002	0.0002	0.0002	0.0002
Tolerancia de agujero	0.0006	0.0006	0.0010	0.0010
Tolerancia de eje	0.0004	0.0006	0.0004	0.0006
Huelgo máximo	0.0012	0.0014	0.0016	0.0018

Sistema de tolerancias bilaterales.- Este sistema consiste en la aplicación de tolerancias en ambas direcciones desde el tamaño nominal del agujero y también del eje. Las tolerancias aplicadas en esta forma hacen imposible cambiar las tolerancias sobre los agujeros y ejes y retener todavía la misma clase de ajuste. La tabla T-5.4 muestra en forma gráfica, cómo se asignan las tolerancias a un eje y agujero de acoplamiento y el ajuste resultante. El ajuste se proporciona en orden de la holgura ascendente, siendo H_3/S_3 el grado y clase de ajuste mayor. La diferencia es tanto en grado como en clase de ajuste como se muestra en la tabla T-5.6.

De la tabla de combinaciones H_3/S_4 y H_4/S_3 dan como resultado una holgura de 0.0004 y 0.0000 plg. respectivamente, lo cual constituye dos clases de ajustes. Las combinaciones H_3/S_3 y H_4/S_4 tienen la misma holgura y son de la misma clase de ajuste, pero todavía es imposible cambiar suavemente de un grado de trabajo a otro cuando se emplea el sistema bilateral. Este sistema no se utiliza tan ampliamente como el sistema unilateral y en consecuencia, la mayor parte de los estándares en uso actualmente están basados sobre el sistema unilateral.

Las tolerancias estándar se han determinado (tabla T-5.7) para su empleo en muchos grados de trabajo. Las tolerancias dadas para cualquier grado, representan aproximadamente dificultades de producción parecidas a través de la gama de tamaños para ese grado. Empleando la tabla es posible seleccionar tolerancias apropiadas para

T-5.6 VALORES DE HOLGURA BILATERALES

	Combinación			
	H_3/S_3	H_3/S_4	H_4/S_3	H_4/S_4
Holgura (huelgo mínimo)	0.0002	0.0004	0.0000	0.0002
Tolerancia de agujero	0.0005*	0.0006*	0.0010	0.0010
Tolerancia de eje	0.0004	0.0006	0.0004	0.0006
Holgura máxima	0.0012	0.0016	0.0014	0.0018

*+/- 0.0003 1/- 0.0005

agujeros y ejes. El empleo de la tabla asegura también que las piezas pueden calibrarse utilizando calibres estándar durante el proceso de producción.

T-5.7 TOLERANCIAS ESTÁNDAR DISPUESTAS POR GRADO

(los valores de las tolerancias son en milésimas de pulgada)

Tamaño nominal pulg		Grado pulg										
Sobre	Hasta	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
0.04	0.12	0.15	0.20	0.25	0.4	0.6	1.0	1.6	2.5	4	6	
0.12	0.24	0.15	0.20	0.3	0.5	0.7	1.2	1.8	3.0	5	7	
0.24	0.40	0.15	0.15	0.4	0.6	0.9	1.4	2.2	3.5	6	9	
0.40	0.71	0.2	0.3	0.4	0.7	1.0	1.6	2.8	4.0	7	10	
0.71	1.19	0.25	0.4	0.5	0.8	1.2	2.0	3.5	5.0	8	12	
1.19	1.97	0.3	0.4	0.6	1.0	1.6	2.5	4.0	6	10	16	
1.97	3.15	0.3	0.5	0.7	1.2	1.8	3.0	4.5	7	12	18	
3.15	4.73	0.4	0.6	0.9	1.4	2.2	3.5	5	9	14	22	
4.73	7.09	0.5	0.7	1.0	1.6	2.5	4.0	6	10	16	25	
7.09	9.85	0.6	0.8	1.2	1.8	2.8	4.5	7	12	18	28	
9.85	12.41	0.6	0.9	1.2	2.0	3.0	5.0	8	12	20	30	
12.41	15.75	0.7	1.0	1.4	2.2	3.5	6	9	14	22	35	
15.75	19.69	0.8	1.0	1.5	2.5	4	6	10	16	25	40	

Como una ayuda para aprender las clases de ajustes utilizaremos símbolos, pero en la práctica real no aparecen éstos en los diferentes dibujos de fabricación.

AD - Ajuste deslizante AT - Ajuste de transición AC - Ajuste forzado
AF - Ajuste de fijación AI - Ajuste de interferencia

El empleo de los símbolos anteriores, junto con un número, representan un ajuste completo y pueden por empleo de las tablas de

tolerancia estándar, ser convertidos en dimensiones reales de las partes de acoplamiento. La selección de este ajuste se hace por un análisis de servicio requerido por las piezas de acoplamiento y convertido luego en las dimensiones reales de las piezas.

Queda fuera del objeto de esta tesis presentar un juego completo de tablas, pero éstas están incluidas en el *American Standard ASA B4.1-1955*. En su lugar, se mostrarán algunas gráficas de los diversos ajustes que ayudarán a visualizar la diferencia relativa entre los mismos (veanse figuras 5.5 a 5.7). La figura 5.4 es una gráfica que da

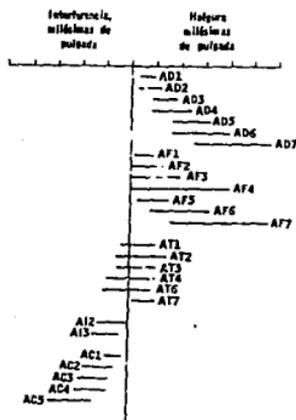


Fig 5.4 Holgura o interferencia para cada clase de ajuste ASA para una zona de diámetro nominal de 0.71 a 1.19

una comparación de la holgura o interferencia para toda clase de ajustes en un eje y agujero de una pulgada. Sobre la gráfica, nótese particularmente las clases AT que muestran tanto la interferencia como la holgura dentro de este grupo de ajustes.

EL MANEJO DEL MATERIAL EN EL LUGAR DE TRABAJO

No entraremos en detalle en cuanto al manejo a granel de los materiales y piezas a través de la fábrica o los numerosos principios que sostienen el diseño de un lugar de trabajo ya que existen textos y manuales completos dedicados a esta materia. El objeto de esta breve

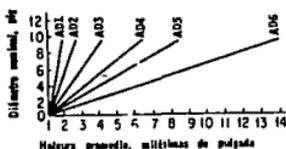


Fig 5.5 Zonas de holguras para ajustes deslizantes y giratorios. AD1—Ajuste deslizante preciso intentado para la colocación exacta de piezas que deb'n ensamblar sin juego perceptible. AD2—Ajuste deslizante intentado para colocación exacta, pero con una holgura máxima mayor que la de AD1. AD3—Los ajustes giratorios de precisión son ajustes casi de la exactitud que puede esperarse para girar libremente a baja velocidad y con cargas ligeras. AD4—Ajustes giratorios precisos que se intentan para ajustes giratorios sobre máquinas de precisión y a velocidades moderadas. AD5 y AD6—Ajustes giratorios medianos que se intentan para mayores velocidades de giro o para cargas más pesadas o para las dos cosas. AD7—Ajustes de giro libre que se intentan para uso donde la exactitud no es esencial o donde es probable encontrar mayores variaciones en la temperatura o ambas

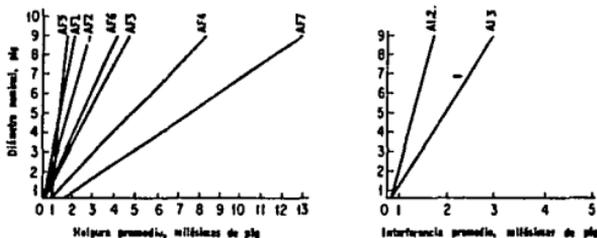


Fig 5.6 Zonas de holguras e interferencias para ajustes de fijación y de transición. AF—Ajustes de holgura posicional que se intentan para piezas normalmente estacionarias, pero que pueden ser ensambladas y desmontadas libremente. AT—Ajuste de transición que es un compromiso entre los ajustes de holgura y de interferencia. Se les intenta para uso donde es importante la colocación, pero es permisible una pequeña cantidad de holgura o interferencia. AI—Ajustes de interferencia posicional empleados cuando la exactitud de colocación es de primordial importancia

discusión es el enfatizar la parte importante que el diseño de un motor juega en el costo total de una operación desde el punto de vista del manejo de los materiales.

Tomar una pieza, colocarla dentro de una herramienta, sujetarla, aflojarla, quitarla y dejarla a un lado después del maquinado puede consumir más tiempo que el maquinado real. tales operaciones aunque esenciales, no contribuyen al valor del producto pero su ejecución se



Fig 5.7 Zonas de referencia para ajustes forzados o de contracción ASA.
 AC1—Ajuste ligero de montaje que requiere ligeras presiones de ensamble y produce montajes más o menos permanentes. AC2—Ajustes medianos de montaje que son apropiados para partes de acero comunes o para ajustes de contracción sobre secciones delgadas. Son ajustes de casi el máximo apriete que pueden utilizarse con miembros exteriores de hierro fundido de alto grado. AC3—Los ajustes de montaje fuertes son adecuados para piezas de acero más pesadas o para ajustes de contracción sobre secciones medianas. AC4 y AC5—Los ajustes forzados son adecuados para piezas que pueden ser fuertemente presionadas o para ajustes de contracción donde es poco práctica una fuerte presión de ensamble

paga al mismo precio que el esfuerzo productivo. En consecuencia cada parte debe de estar bien diseñada incluyendo las herramientas fabricadas para el proceso, para reducir el tiempo y los costos no productivos.

Una vez que se diseña y construye alguna parte ó pieza, quedan fijados los métodos de manejar los materiales hacia adentro ó hacia afuera de la misma. Es esencial entónces que los métodos originales planeados se lleven a cabo con cuidado. Para ayudar a asegurar las máximas economías de movimiento deberá aplicarse la siguiente lista de principios. Se notará que estos principios están montados sobre tres encabezados generales: (1) *El empleo del cuerpo humano*; (2) *La disposición del lugar de trabajo*, y (3) *el diseño del motor y herramientas*.

1- Empleo del cuerpo humano.

- a. Ambas manos deberán comenzar y terminar sus labores básicas de consumación en forma simultánea y no deberán quedar inactivas al mismo tiempo. excepto durante periodos de descanso.
- b. los movimientos hechos por las manos deberán ejecutarse simétrica y simultaneamente desde fuera y hacia el centro del cuerpo.
- c. El impulso deberá emplearse para ayudar al obrero siempre que sea posible, y deberá reducirse a un mínimo si tuviese que ser realizado por esfuerzo muscular.
- d. Los movimientos continuos en curva son preferibles a los

movimientos en línea recta que impliquen cambios de dirección repentinos y bruscos.

e. Deberá utilizarse el menor número de divisiones básicas, y estas se confinarán a las menores clasificaciones posibles. Estas clasificaciones, comprendidas en orden ascendente de tiempo y fatiga gastados en su ejecución, son:

(1) Movimiento de los dedos.

(2) Movimiento de los dedos y muñecas.

(3) Movimientos de los dedos, muñecas y parte inferior de los brazos.

(4) Movimientos de los dedos, muñecas y partes superiores e inferiores de los brazos.

(5) Movimientos de los dedos, muñecas, parte inferior de los brazos, parte superior de los mismos, y del cuerpo por arriba de la cintura.

(6) Movimientos de los dedos, muñecas, parte inferior de los brazos, parte superior de los brazos, cuerpo arriba de la cintura, la cintura y extremidades inferiores.

f. El trabajo que pueda realizarse con los pies deberá disponerse para que se haga simultáneamente con el trabajo que se haga con las manos.

2. Disposición y condiciones del lugar de trabajo

a. Deberan proporcionarse lugares fijos para todas las herramientas y materiales de manera que se permita la mejor secuencia y se eliminen o se reduzcan los perturbantes *buscar, hallar y seleccionar*.

b. Para reducir los tiempos de *alcanzar y mover*, deberan emplearse tolvas por gravedad y distribución por caída; también deberan proporcionarse eyectores siempre que sea posible para retirar automáticamente las piezas terminadas.

c. Todos los materiales y herramientas deberan situarse dentro del área normal tanto en el plano horizontal como en el vertical.

d. Deberá proporcionarse al operario una silla confortable y a la altura adecuada; disponiéndola de manera que el trabajo pueda efectuarlo el operario alternativamente ya sea de pie o sentado.

e. Deberá proporcionarse la iluminación, ventilación y temperatura apropiadas.

f. los requerimientos visuales del lugar de trabajo deberan tomarse en cuenta para reducir las demandas de fijación del ojo.

g. El ritmo es esencial para la ejecución suave y automática de una

operación, y por tanto el trabajo deberá disponerse para permitir un ritmo fácil y natural siempre que sea posible.

3. Diseño del motor y herramientas.

- a. Siempre que sea posible deberan hacerse cortes múltiples combinando dos ó más herramientas en una o disponiendo cortes simultáneos si se dispusiese de más de un elemento de alimentación.
- b. Todas las palancas, empuñaduras, ruedas y otros dispositivos de control deberan ser de fácil acceso para el operario y diseñarse para proporcionar la mejor ventaja mecánica posible.
- c. El mantenimiento de las piezas en posición deberan hacerse por medio de dispositivos sujetadores.
- d. Investiguese siempre el empleo de herramientas mecanizadas o semiautomáticas, tales como atornilladores y aprietatuercas mecánicos y llaves rápidas.

Para la manipulación de materiales entrando y saliendo de las prensas hay muchos tipos de alimentadores mecánicos y dispositivos eyectores; estos pueden utilizarse solos o en combinación con alimentadores manuales y métodos de eyección también manuales. Una buena práctica de diseño exige una completa consideración de los tipos disponibles y la selección del diseño óptimo através de una evaluación crítica de los requerimientos funcionales, de calidad, costo, tiempo, y auxiliares que deban reunirse.

FACILIDAD DE MAQUINADO

Habiendo revisado algunos términos importantes relativos a la manufactura nos centraremos un poco más en lo que es el maquinado, ya que los motores y las partes de estos pasaran por alguna o varias etapas de maquinado en la mayoría de los casos.

El maquinado es en el mejor de los casos un procedimiento costoso cuando se compara en términos generales con la mayoría de otros procesos de manufactura. Cuando se usa para hacer sólo una ó pocas partes, la mayoría del costo proviene de la habilidad del operador y el ajuste requerido.

El tiempo real de corte puede ser un pequeño porcentaje del tiempo total requerido. Bajo estas condiciones, la vida de la herramienta es de importancia relativamente pequeña y los aceros rápidos para herramienta se usan predominantemente debido a su costo

inicial más bajo y facilidad para darle forma y esmerilarlos. Pueden usarse bajas velocidades de corte sin aumentar el costo de la parte terminada. Sin embargo, en operaciones de producción la habilitación de una máquina llega a ser permanente o semipermanente y la mayor parte del tiempo de manufactura con frecuencia es el tiempo real de corte. Bajo estas condiciones, el costo final de la parte está influenciado más directamente por la velocidad de corte, lo cual en casi todos los casos tiene una relación directa con la vida de la herramienta.

Maquinabilidad: Como se sabe existen materiales más duros que otros (capítulo de materiales) esto hace que algunos se puedan cortar y rayar más fácilmente que otros. Así los metales y demás materiales diferentes pueden cortarse, ya que se requieren diferentes cantidades de potencia y se obtienen diferentes acabados. Estas diferencias dependen no sólo de la clase de metal o aleación, sino de su historia previa de proceso incluyendo la deformación y las operaciones de tratamiento térmico que afectan su dureza, resistencia y estructura del grano.

La facilidad de maquinado.- es una cualidad inherente del material. El término maquinabilidad se usa para describir la facilidad relativa con la cual puede maquinarse cualquier material. En cierto aspecto, los términos se parecen a la palabra; *resistencia*; para un material que puede tener resistencia a la tensión, resistencia al corte, resistencia al impacto, resistencia a la fatiga y resistencia a la compresión, todas las cuales se miden en diferentes formas y cualquiera de ellas no necesariamente se correlaciona con las otras. En la facilidad de maquinado pueden considerarse tres mediciones diferentes: acabado, consumo de potencia y vida de la herramienta. A diferencia de las mediciones en las propiedades de resistencia estas mediciones no siempre proporcionan información numérica precisa, sino con frecuencia se relacionan más a algún estándar.

El acabado.- esto aun cuando ya se mencionó, agregaremos que cualquier medición de acabado tiene que hacerse con todas las variables que puedan afectar al acabado bajo estricto control, y los valores obtenidos sólo serán confiables para un conjunto particular de condiciones de maquinado. La relativa facilidad de acabado de

materiales diferentes tiene un poco más de confiabilidad. Tales son ondulaciones, rugosidad, y rumbo. Con frecuencia se presenta cierto problema con el acabado, la vida de la herramienta y el tiempo de maquinado. La disminución de la profundidad de corte o de alimentación puede mejorar el acabado, pero en cualquier cambio se aumentará el tiempo de maquinado. El aumento de la velocidad de corte casi siempre disminuye la vida de la herramienta. El aumento del ángulo de inclinación puede hacer que la herramienta quede expuesta al desconchado del filo o falla por fractura o puede provocar vibración.

Requerimientos de potencia.- esta es una consideración adicional en la facilidad de maquinado y es la cantidad de potencia que se requiere para la formación de virutas. La energía específica requerida para formar una viruta grande y la que se requiere para una viruta pequeña es un poco diferente debido a que intervienen razones diferentes de superficie a volumen. Algo que se debe de tener en cuenta es que los requisitos de potencia son similares para las mayorías de las máquinas. Esto siempre que no se consideren valores extremos de alimentación, profundidad de corte, ángulo de inclinación y velocidad de corte, la cantidad de energía requerida para eliminar un volumen dado de material de trabajo es una constante para el material para cualquier operación en la cual la viruta tenga casi la misma área de sección transversal. En la tabla T-5.8 se indica la potencia promedio requerida para maquinar diversos materiales en las operaciones de taladrado, fresado, cepillado o torneado.

Los valores de esta tabla se refieren a la potencia real requerida por el proceso de formación de viruta y no toman en cuenta la potencia perdida en los componentes de impulsión de la máquina herramienta y la potencia requerida para la alimentación. El tamaño real del motor necesario para cualquier operación dependerá de la potencia requerida para el corte y la eficiencia global de la máquina.

Vida de la herramienta.- en la gran mayoría de las operaciones de maquinado, la máquina herramienta tiene potencia más que adecuada, y el acabado requerido puede mantenerse por la elección apropiada de los factores que intervienen. La vida de la herramienta es un factor económico básico, los mecanismos y tipos de falla de la herramienta ocurren cuando la herramienta ya no es capaz de producir partes dentro

T-5.8 REQUISITOS DE POTENCIA PARA EL MAQUINADO

Material	Caballos de fuerza por in ³ por min. (P _u)
Magnesio	0.02
Aluminio	0.4
Latón	0.4
Hierro fundido (200-220 BHN)	0.7
AISI 1120 Acero (190-200 BHN)	0.5
AISI 1020 Acero (160-180 BHN)	0.8
Cobre	0.9

de las especificaciones requeridas. Como criterio para determinar la falla de la herramienta pueden usarse en forma independiente o en combinación, la calidad de la superficie, la estabilidad dimensional, los esfuerzos cortantes, la potencia para el corte y la rapidez de producción.

La falla de la herramienta está asociada con alguna forma de destrucción del borde cortante, como un resultado del contacto directo con el material de trabajo. Hay tres zonas principales sobre la herramienta donde se produce el desgaste: (1) la cara, (2) el flanco y (3) la nariz. El desgaste toma la forma de una cavidad o cráter el cual tiene su origen no a lo largo del borde cortante sino a cierta distancia retirado del mismo y dentro del área de contacto con la viruta, el desgaste del flanco comienza en el borde cortante ya que el flanco es la porción de la herramienta que está en contacto con el punto de separación de la viruta y resiste los esfuerzos del avance y con bastante frecuencia, el desgaste del flanco va acompañado por el redondeamiento del borde cortante y puede conducir a la fractura de la herramienta.

El desgaste de la nariz es parecido al desgaste del flanco y es considerado como una parte de este. Las cinco causas básicas del desgaste son:

1. por acción abrasiva de partículas duras contenidas en el material de trabajo. Estas desalojan o arrancan partículas de la herramienta causando un desgaste continuo bajo cualquier condición de trabajo.

2. Por deformación plástica del borde cortante. Se produce por las grandes presiones unitarias impuestas sobre la herramienta y resulta en un ligero redondeamiento del borde cortante.

3. Por descomposición química de las superficies de contacto de la herramienta de corte. Este mecanismo ocurre a través de reacciones químicas localizadas en la superficies de contacto herramienta-pieza de trabajo.

4. Por difusión entre el trabajo y el material de la herramienta. Este es un fenómeno muy complejo entre el trabajo y la herramienta, una vez que se ha alcanzado la temperatura crítica, el material de la herramienta se quiebra.

5. Por soldadura en las asperezas entre el trabajo y la herramienta. este mecanismo es paralelo al borde acumulado, y este ocurre a velocidades y temperaturas de corte bajos.

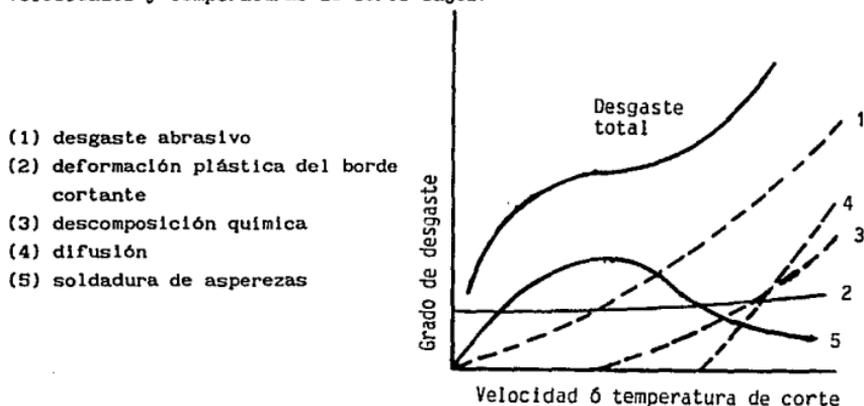
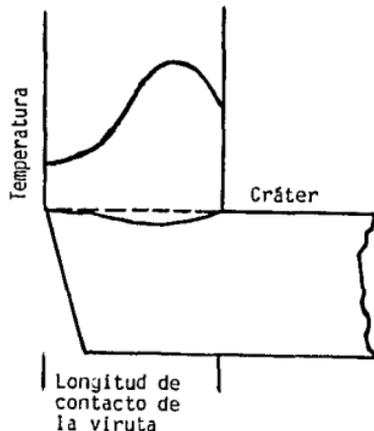


Fig. 5.8 Efectos relativos de varias causas de desgaste de la herramienta.

El factor más importante que influye en el desgaste de la herramienta es la temperatura de corte. Las temperaturas de corte son importantes por dos razones básicas: (1) la mayor parte de los materiales de las herramientas muestran una rápida pérdida de fuerza, dureza y resistencia a la abrasión sobre cierta temperatura crítica, y (2) el grado de difusión entre el material de trabajo y el de la

herramienta se eleva con mucha rapidez según aumenta la temperatura cuando pasa de la crítica. Mientras más lejos se lleve la temperatura de corte de la temperatura crítica, menos efectivo se vuelve el desgaste por abrasión y soldadura de las asperezas. Ver figs 5.8 a 5.13.

Fig.5.9 Distribución de la temperatura a lo largo de la longitud de contacto herramienta viruta.

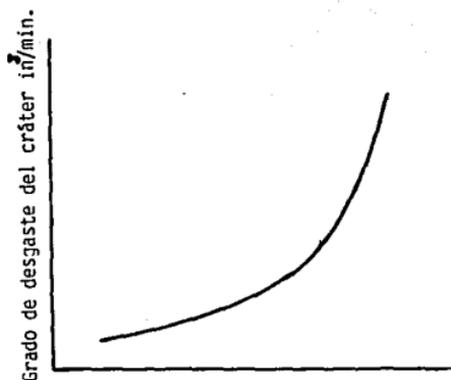


Algunas veces se emplean los siguientes criterios para evaluar la duración de la herramienta:

1. Cambio de la calidad de la superficie maquinada.
2. Cambio en la magnitud del esfuerzo de corte resultado de los cambios en las flexiones de la máquina y de la pieza de trabajo causando el cambio en las dimensiones de la pieza.
3. Cambio en la temperatura de corte.

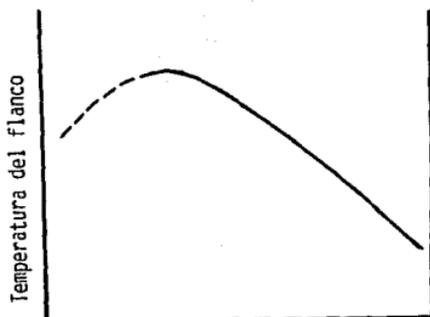
La selección de la velocidad de corte correcta tiene un valor importante sobre los factores económicos de todas las operaciones del corte de los metales. Pero la velocidad de corte adecuada puede ser estimada con exactitud razonable de la gráficas de duración de la herramienta o de la "Relación Sobre la Duración de la Herramienta de Taylor", siempre que sean obtenibles los datos necesarios. En la figura 5.14 se muestra una gráfica sobre duración de la herramienta.

El logaritmo del tiempo da la duración de la herramienta, en minutos, que se grafica contra el logaritmo de la velocidad de corte



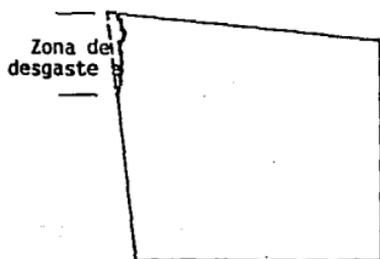
Promedio de la temperatura en la Intercara de la herramienta-viruta

Fig. 5.10 Relación entre el grado de desgaste del cráter y el promedio de la temperatura en la intercara herramienta-viruta.



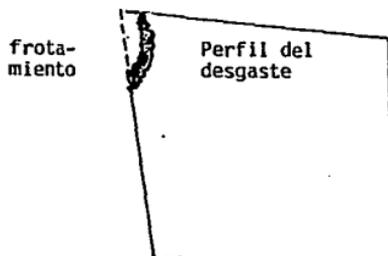
Longitud de contacto del flanco

Fig 5.11 Distribución de la temperatura del flanco a lo largo de la longitud de contacto flanco-pieza.



Zona normal de desgaste del flanco

(A)



(B)

Fig. 5.12 Sección de herramienta para mostrar el efecto del frotamiento y otras causas de desgaste del flanco

en pies por minuto. La curva resultante es casi una línea recta en la mayor parte de los casos. para todos los propósitos prácticos se la puede considerar una línea recta. Esta curva se expresa por la ecuación siguiente:

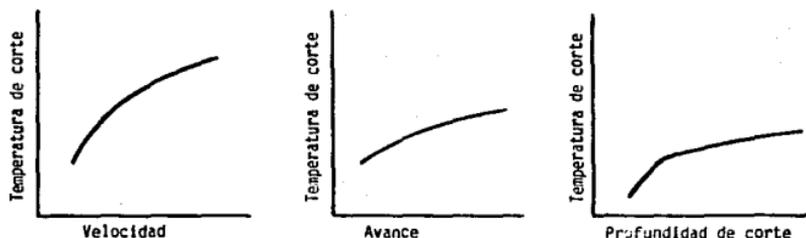


Fig. 5.13 Efectos relativos de la velocidad, avance y profundidad de corte sobre las temperaturas de corte para un material de trabajo y geometría de la herramienta dados

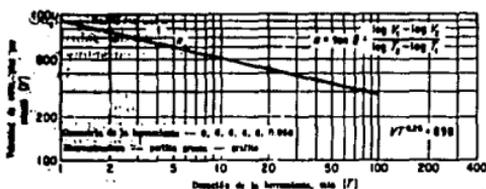


Fig. 5.14 Duración de la herramienta contra velocidad de corte. Geometría-0, 6, 6, 6, 6, 0, 0.05. En hierro fundido gris HB 195

$$VT^n = C \quad (5.1)$$

donde: V = velocidad de corte, en pies por minuto, T = Duración de la herramienta, en minutos, C = una constante igual a la intersección de la curva y de la ordenada o de la velocidad de corte en realidad es la velocidad de corte para un minuto de duración de la herramienta y n = pendiente de la curva

$$n = \tan \phi = (\log V_1 - \log V_2) / (\log T_2 - \log T_1). \quad (5.2)$$

Los valores de n y C para diferentes materiales de trabajo y de herramientas se muestran en la tabla T-5.9. Estos valores son válidos para el avance particular, profundidad de corte y geometría de la

T-5.9 ANGULOS RECOMENDADOS PARA HERRAMIENTAS DE
CARBURO DE UNA SOLA PUNTA

Material	Alivio del extremo normal, grad.	Alivio lateral normal, grad.	Inclinación posterior normal, grad.	Inclinación lateral normal, grad.
Aluminio y aleaciones de magnesio	6 a 10	6 a 10	0 a 10	10 a 20
Cobre	6 a 8	6 a 8	0 a 4	10 a 20
Latón y bronce	6 a 8	6 a 8	0 a -5	+8 a -5
Hierro fundido	5 a 8	5 a 8	0 a -7	+6 a -7
Aceros de bajo carbono hasta 1020 SAE	5 a 10	5 a 10	0 a -7	+6 a -7
Aceros al carbono 1025 SAE y superiores	5 a 8	5 a 8	0 a -7	+6 a -7
Aceros de aleación	5 a 8	5 a 8	0 a -7	+6 a -7
Aceros de maquinado fácil, series 1100 y 1800 SAE	5 a 10	5 a 10	0 a -7	+6 a -7
Aceros inoxidables, austeníticos ..	5 a 10	5 a 10	0 a -7	+6 a -7
Aceros inoxidables, endurecibles ...	5 a 8	5 a 8	0 a -7	+6 a -7
Aleaciones de níquel (Monel, Inconel, etc.)	5 a 10	5 a 10	0 a -3	+6 a +10
Aleaciones de titanio	5 a 8	5 a 8	0 a -5	+6 a -5

herramienta mostrada. Los cambios importantes en la geometría de la herramienta, profundidad de corte, y avances cambiarán el valor de la constante C y pueden causar un ligero cambio en el exponente n, pero en general n es función del material de la herramienta de corte (ver fig. 5.15), y este tiene los siguientes valores:

ACR (H. S. S.): $n \cong 0.1$ a 0.15

Carburos: $n \cong 0.2$ a 0.25

Cerámica: $n \cong 0.6$ a 1.0

La ecuación 5.3 incorpora el efecto de tamaño de corte:

$$K = VT^n f^{n_1} d^{n_2} \quad (5.3)$$

donde K es una constante de proporcionalidad, f es el avance en pulgadas por revolución, d la profundidad de corte en pulgadas, n_1 es el exponente de avance (valor promedio: de 0.5 a 0.8), y n_2 el exponente de profundidad de corte (valor promedio: de 0.2 a 0.4).

La velocidad de corte óptima para una duración de herramienta constante es más sensitiva a los cambios en el avance que a los cambios en la profundidad de corte. Esta relación se muestra por las figuras 5.16 y 5.17.

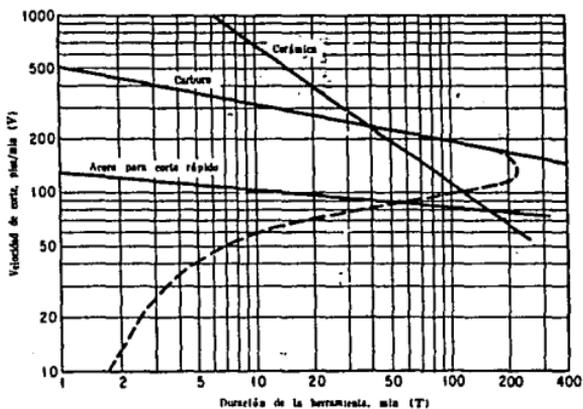


Fig. 5.15 Duración de la herramienta contra velocidad de corte

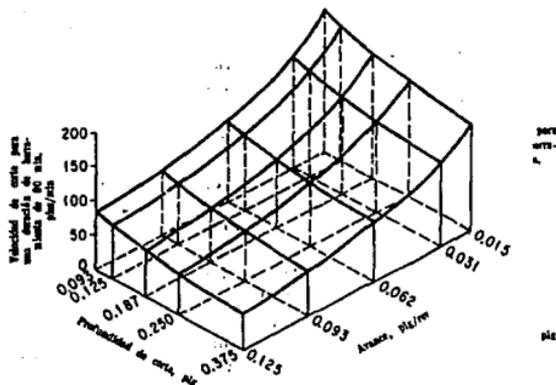


Fig 5.16 Efecto del avance y la profundidad de corte sobre la velocidad de corte para una duración de herramienta de 90 min.

La duración de la herramienta es muy sensitiva a los cambios en la geometría de la herramienta de corte. Sin embargo, las pruebas que se hacen variando la geometría, generalmente no producen curvas que sean lo suficientemente consistentes para su interpretación en términos matemáticos en general, tales como los ya proporcionados. La dureza

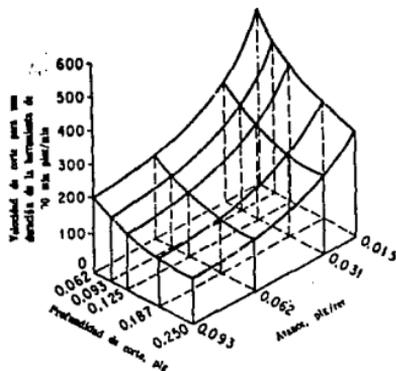


Fig 5.17 mismo tipo que la Fig 5.16 con otros valores de avance penetración, en hierro fundido gris con herramienta ACR

de la herramienta es también muy sensitiva a la microestructura y a la dureza de la pieza de trabajo. Una ecuación aproximada relacionando la duración de la herramienta a la dureza Brinell (ndB) es:

$$K = VT^{n_f} n_d^{n_2} n_{dB}^{1.25} \quad (5.4)$$

La microestructura del metal tiene un efecto más pronunciado sobre la duración de la herramienta que la dureza sola.

La duración de la herramienta es también sensitiva al material de la herramienta y al empleo de fluidos para corte. La siguiente ecuación general y las tablas T-5.10 y T-5.11 toman en consideración estos factores.

$$K = \frac{K_1}{d^{0.37} f^{0.77}} \cdot 6 \sqrt{\frac{60}{T}} \cdot C.F. \quad (5.5)$$

donde: V = velocidad de corte, en pies/minuto; K₁ constante de proporcionalidad, T duración de la herramienta, en minutos; F.C. factor de corrección para el material de la herramienta; y

$\sqrt{\frac{60}{T}}$ un factor que corregir a velocidad de corte desde la obtenida para una duración de herramienta básica de 60 min a la velocidad de corte para la duración de herramienta deseada. la tabla T-5.10 enlista los valores de K₁. La tabla T-5.11 enlista los factores de corrección (F.C.) para determinados materiales de

T-5.10 VALORES NUMERICOS PARA K₁

Metal a cortar	Para herramienta de acero de corte rápido 18-4-1 y duración de la herramienta de:		
	60 min sin fluido - para corte, o 480 con fluido p/c.	60 min con fluido para corte.	480 min sin fluido para corte.
Aleaciones ligeras	25.0		
Latón (80-120 ndB)	6.7		
Latón fundido	4.2		
Acero fundido	1.5	2.1	1.1
Acero al carbono:			
SAE 1015	3.0	4.2	2.1
SAE 1025	2.4	3.3	1.7
SAE 1035	1.9	2.7	1.3
SAE 1045	1.5	2.1	1.1
SAE 1060	1.0	1.4	0.7
Acero al cromo níquel	1.6	2.3	1.1
Hierro fundido:			
100 ndB	2.2	3.0	1.5
150 ndB	1.4	1.9	1.0
200 ndB	0.8	1.1	0.5

T-5.11 FACTORES DE CORRECCION PARA COMPOSICIONES DE MATERIAL DE HERRAMIENTAS

Tipo	Composición aproximada, %						F.C.
	W	Cr	V	C	Co	Mo	
14-4-1	14	4	1	0.7 -0.8	..	....	0.88
18-4-1	18	4	1	0.7 -0.75	..	....	1.00
18-4-2	18	4	2	0.8 -0.85	..	0.75	1.06
18-4-3	18	4	3	0.85-1.1	..	....	1.15
18-4-1 + 5% Co	18	4	1	0.7 -0.75	5	0.5	1.18
18-4-2 + 10% Co	18	4	2	0.8 -0.85	10	0.75	1.36
20-4-2 + 18% Co	20	4	2	0.8 -0.85	18	1.0	1.41
Carburo sinterizado	..	-	-	.....	..	....	Hasta 5

herramienta. La tabla T-5.12 enlista los valores de $d^{0.37}$ y $f^{0.77}$. Se recuerda que la vida de la herramienta disminuye con los choques de esta. Aunque parezca ridículo la vida corta de la herramienta aveces es más económica.

T-5.12 VALORES NUMERICOS PARA $d^{0.37}$ Y $f^{0.77}$.

d	$d^{0.37}$	d	$d^{0.37}$	f	$f^{0.77}$	f	$f^{0.77}$
0.01	0.182	0.25	0.598	0.001	0.004	0.025	0.059
0.02	0.235	0.30	0.640	0.002	0.008	0.030	0.067
0.04	0.305	0.35	0.678	0.004	0.017	0.035	0.075
0.06	0.353	0.40	0.712	0.006	0.019	0.040	0.084
0.08	0.393	0.45	0.744	0.008	0.024	0.045	0.092
0.10	0.427	0.50	0.774	0.010	0.029	0.050	0.099
0.14	0.482	0.75	0.899	0.014	0.037	0.075	0.135
0.18	0.530	1.00	1.000	0.018	0.045	0.100	0.170
0.22	0.571	....	.....	0.022	0.053		

REFRIGERANTES

Al llevarse acabo el maquinado se crea calor por el trabajo de deformación y fricción, ya que la realización de trabajo físico requiere una transformación de la energía que con frecuencia resulta en la generación de calor. En el maquinado, casi todo el trabajo invertido en la defromación del material de trabajo y la viruta debe aparecer como calor; Por los que es necesario el trabajo adicional para superar la fricción. El calor se produce por la frotación de la viruta en la cara de la herramienta y en menor grado por la frotación de la punta de la herramienta en la superficie terminada del trabajo.

Cuando el corte de metal se lleva acabo de forma eficiente la fuente principal de calor proviene del trabajo requerido para deformar el material. Todo el calor debe disiparse en el trabajo, en la viruta, en el medio que rodea la pieza de trabajo o en la herramienta que realiza el trabajo, con las proporciones adecuadas que dependen de muchas variables.

En la mayoría de los casos la gran cantidad del calor se dispersa por la viruta y el exceso de calor en la pieza de trabajo suele causar expansión térmica en la pieza de trabajo lo que dificulta mantener las dimensiones exactas y de ahí la posibilidad de producir distorsión en trabajo. La elevación de temperatura en la herramienta puede provocar

que está se suavice y por ello se desgaste prematuramente. En general cualquier cosa que pueda producir menor deformación de viruta o menos fricción resultará en una reducción del calor generado y disminuirá la tasa de elevación de temperatura tanto del trabajo como de la herramienta.

Un método de control que se usa mucho en el maquinado industrial es la aplicación de un fluido como un medio que rodea para arrastrar el calor fuera del área de corte antes de que provoque daño. En muchos casos, los refrigerantes pueden ser gases pero con más frecuencia son líquidos que sirven para varios propósitos.

El refrigerante absorbe el calor en el área de corte y lo lleva fuera para que este se disipe en alguna parte y mantiene así más baja la temperatura de trabajo y de la herramienta.

Un segundo propósito de un refrigerante es la reducción de fricción entre la viruta y la herramienta, en esta ocurre una acción química que produce películas sólidas ó semisólidas de baja resistencia al corte entre la viruta y la herramienta. Esta acción reduce el desgaste en la cara de la herramienta y la fuerza de fricción y aunque el efecto en el consumo total de potencia es pequeño, disminuye la energía necesaria para realizar el trabajo. También el refrigerante puede ayudar a arrastrar virutas, que evitan el rayado de las superficies. Los materiales refrigerantes no deben de producir corrosión en la máquina o en el trabajo. Además de que es posible revestir a la pieza con una película protectora eligiendo el refrigerante adecuado.

Se usan diversos fluidos como refrigerantes dependiendo del trabajo que se va a realizar, pero no sin pasar por alto el tipo de herramienta y el material a trabajar. Muy rara vez se usan los gases como refrigerantes debido a su baja capacidad de absorber y retirar el calor de la zona de trabajo, aunque se usa en el maquinado de hierro colado, y en este caso su función principal es el que este transporte las virutas; debido a que tiene una alta capacidad de absorber y transportar el calor fuera del área de trabajo, pero debe de acondicionarse para su uso por la acción de cierta clase de inhibidores de herrumbre. Los materiales alcalinos, tales como el carbonato de sodio, borax ó fosfato trisódico, se agregan algunas

veces para reducir la tendencia a la ocurrencia de herrumbre en el hierro y otras partes de acero, pero con más frecuencia se usan otros materiales para este propósito. Los llamados aceites solubles son aceites que contienen un agente humectante que provoca que se descompongan en gotas diminutas que se dispersan a través del agua. Estos aceites se pueden usar en diversas concentraciones dependiendo de la aplicación. La mayoría tiene aditivos que evitan la proliferación bacteriana que produce fuertes olores y/o daño al personal.

También se usan diversos aceites para presiones de corte altas. En muchos casos en donde se producen virutas relativamente grandes y se tienen presiones de corte muy altas. Los refrigerantes usualmente se usan en cantidades sumamente grandes para realizar satisfactoriamente su labor, después caen en un recipiente de donde se pueda separar de impurezas y virutas para ser recirculado posteriormente. En centros de operaciones grandes es posible suministrar el refrigerante por medio de un sistema centralizado y así poder esterilizarlo de bacterias que causan mal olor y enfermedades.

MÉTODOS DE CÁLCULO DE TIEMPOS PRINCIPALES.

Torno:

$$T_h = \frac{L}{s \cdot n} \quad (5.6)$$

donde: T_h ; tiempo en minutos.

s ; avance de la herramienta en mm/rev.

n ; rev por minuto rpm.

L ; $l_1 + l_a + l_u$ (5.6.2) en el cilindrado.

L ; $D/2 + l_a$ (4.6.3) en el refrentado.

"s" se obtiene de la tabla T-5.13 según el material y útil de trabajo.

De la misma tabla se obtiene la velocidad de corte "v", con esta y el diámetro de la pieza se obtiene "n" de la figura 5.19. Para conocer el número de pasadas "i" en una pieza, de la tabla T-5.13 se obtiene el espesor de viruta a con el cual se conoce el número de pasadas

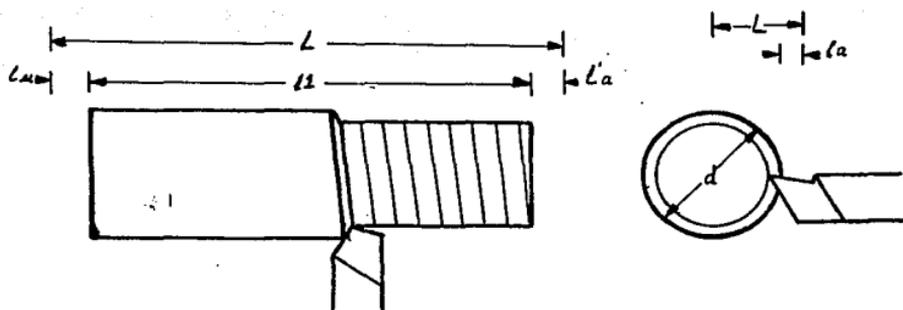


Fig. 5.18 Notación según figura para el calculo de tiempo durante el refrentado y el cilindrado en el torno.

Taladro:

$$T_p = \frac{L}{s \cdot n} \quad (5.7)$$

donde: T_p ; tiempo en minutos.

s ; avance de la herramienta en mm/rev.

n ; rev. de la broca en rpm.

L ; espesor del material + $.3 \cdot D$ siendo D el diámetro de la herramienta, y:

$$n = \frac{v \cdot 1000}{\pi \cdot D} \quad (5.8)$$

donde: v ; velocidad de corte de la broca, está y el avance se obtienen de la tabla T-5.14 para brocas de acero (SS) con el diámetro de la broca y el material que se utiliza.

Fresadora:

$$T_p = \frac{L}{s'} \quad (5.9)$$

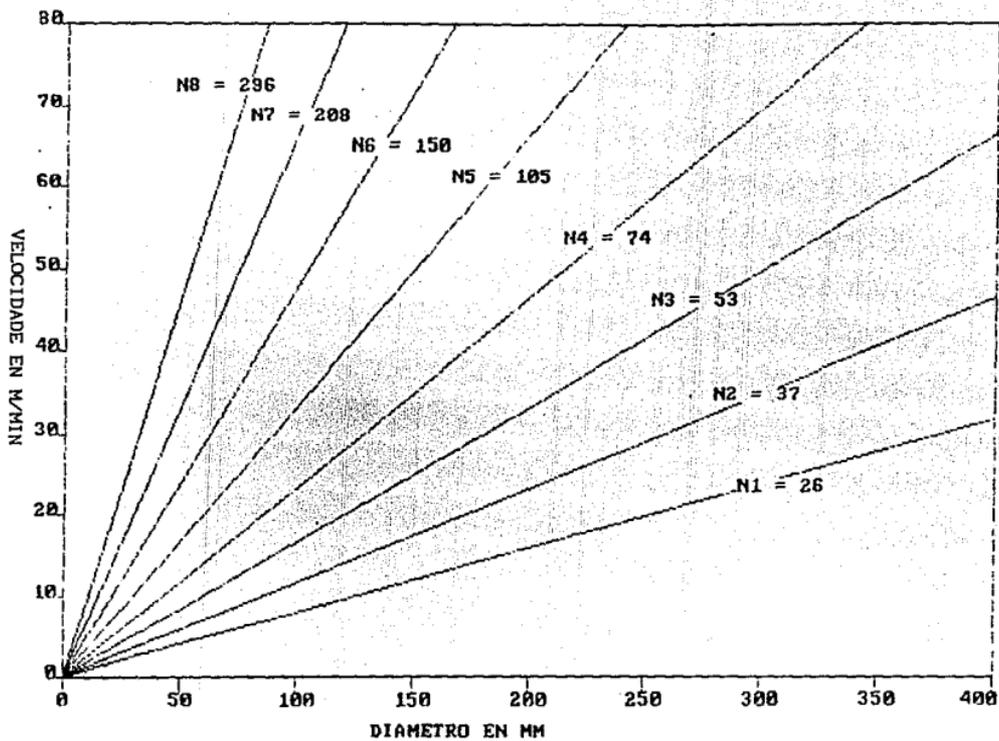
donde: T ; minutos

L ; $l_1 + l_2 + l_u$. (5.9.2)

s' ; avance en mm/min.

Para operar correctamente la fresadora, según el avance, de la tabla T-5.15 se obtienen s' y la velocidad de corte " v " en mm/min; con " v " y el diámetro de el cortador se obtiene " n " en rpm. de la tabla T-5.16, el espesor de viruta se obtiene de la tabla T-5.17. Ver fig. 5.20

FIG. 5.19 Diagrama de velocidades de corte



MATERIALES	UTIL	ANGULOS DE CORTE			DESBASTADO			AFINADO			R y F	
		α	β	ϕ'	v	s	a	v	s	a	D	A
Acero 50 kg/mm ²	W	8	62	20	14	0.5	4	20	0.2	1.0		
	SS	5	67	18	22	1.0	10	30	0.5	1.0	T	T ó P
	H				150	2.5	15	250	0.25	1.5		
Acero 50 - 70 kg/mm ²	W	8	68	14	10	0.5	4	15	0.2	1.0		
	SS	5	71	14	20	1.0	10	24	0.5	1.0	T	T ó P
	H				120	2.5	15	200	0.25	1.5		
Acero 70 - 85 kg/mm ²	W	8	74	8	8	0.5	4	12	0.2	1.0		
	SS	5	73	12	15	1.0	10	20	0.5	1.0	T	T ó P
	H				80	2.0	15	140	0.2	1.5		
Acero de herramientas	W	6	81	3	6	0.5	3	8	0.2	1.0		
	SS	5	83	2	12	1.0	8	16	0.5	1.0	T	T ó P
	H				30	0.6	5	50	0.15	1.0		

W: acero de herramientas; SS: acero rápido; H: metal duro; T: taladrina; C: aceite de colza; P: petróleo;
v: velocidad de corte m/min.; s: avance en mm/rev.; a: espesor de viruta mm.;

En el tallado de roscas v es aproximadamente 1/2 de la velocidad de corte empleada para cilindrar, en el desbastado a es aproximadamente de 4 a 10 veces "s", y en el afinado de 2 a 5 veces "s".

T-5.13 DATOS PRACTICOS PARA ANGULOS Y VELOCIDADES DE CORTE-AVANACE-ESPESOR DE VIRUTA Y REFRIGERANTES

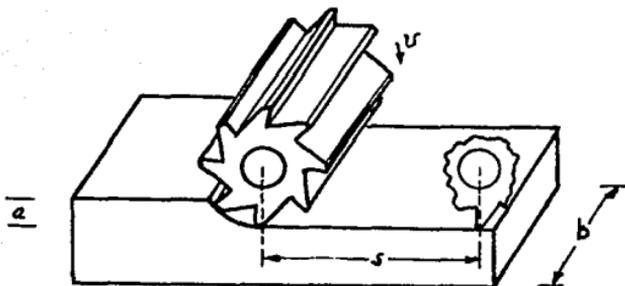


Fig. 5.20 constitución de la cantidad de viruta al fresar. Donde a es la profundidad de corte, b la anchura de fresado y s' el avance.

Cepillo:

$$T_p = \frac{2 \cdot B \cdot L}{s \cdot v_m} \quad (5.10)$$

donde: T_p ; tiempo en min.

$$L; l_1 + l_a + l_u. \quad (5.10.2)$$

$$B; b + b_1 + b_2. \quad (5.10.3)$$

s ; el avance en mm/min.

v_m ; velocidad en m/min.

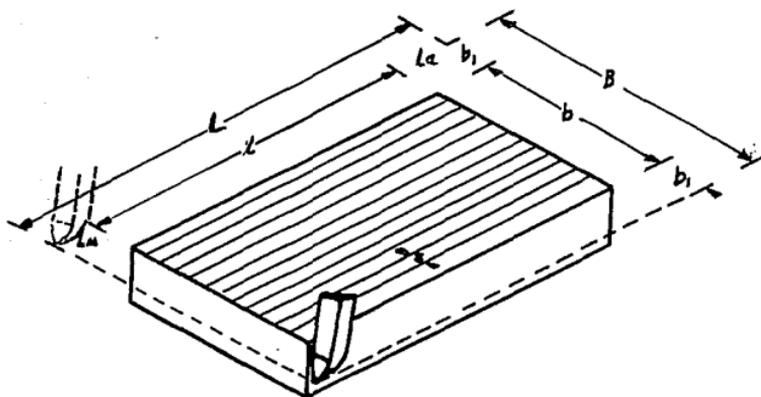


Fig 5.21 Ajuste de la longitud de carrera y avance lateral en cepillo. v_m se obtiene leyendo de la tabla T-5.18 a " v_a ", aplicando la

siguiente fórmula:

$$v_m = v_a \cdot \left[1 + \frac{\arctan (c / 2b)}{90} \right] \quad (5.11)$$

donde: c ; es la carrera de la herramienta de corte en mm.

b ; es la biela oscilante de corredera del cepillo en mm.

v_a ; es la velocidad de avance (tabla T-5.18)

"s" ; se obtiene de la tabla T-5.13.

Adicionalmente se está la tabla T-5.19 que da el número de dobles carreras por minuto, según la longitud de carrera en mm y la velocidad v_m en m/min. Ver fig. 5.21.

T-5.14 VELOCIDAD DE CORTE (v), AVANCE (S), Y REFRIGERACION PARA BROCAS DE ACERO SS

Material		Diámetro de la broca						Refrigeración
		5	10	15	20	25	30	
Acero hasta 40 kg/mm ²	s	0.1	0.18	0.25	0.28	0.31	0.34	T
	v	15	18	22	26	29	32	
Acero hasta 60 kg/mm ²	s	0.1	0.18	0.25	0.28	0.31	0.35	6 C
	v	13	16	20	23	26	28	
Acero hasta 80 kg/mm ²	s	0.07	0.13	0.16	0.19	0.21	0.23	
	v	12	14	16	18	21	23	
Fundición gris hasta 18 kg/mm ²	s	0.15	0.24	0.3	0.32	0.35	0.39	S
	v	24	28	32	34	37	39	
Fundición gris hasta 22 kg/mm ²	s	0.15	0.24	0.3	0.33	0.35	0.38	6 T
	v	16	18	21	24	26	27	
Latón hasta 40 kg/mm	s	0.1	0.15	0.22	0.27	0.3	0.32	T 6 C
	v	60 ... 70 m/min.						
Bronce hasta 30 kg/mm	s	0.1	0.15	0.22	0.28	0.3	0.32	6 S
	v	30 ... 40 m/min.						
Aluminio puro	s	0.05	0.20	0.2	0.3	0.35	0.4	T 6 C
	v	80 ... 120 m/min.						
Aleaciones de aluminio	s	0.12	0.2	0.3	0.4	0.46	0.5	6 S
	v	100 ... 150 m/min.						
Aleaciones de magnesio	s	0.15	0.2	0.3	0.38	0.4	0.45	S
	v	200 ... 250 m/min.						

T = taladrina C = aceite de corte y refrigeración S = en seco

Las letras SS hacen referencia a la palabra alemana Schnellstahl: acero rápido

T-5.15 VALORES PRACTICOS PARA LA VELOCIDAD DE CORTE Y PARA EL AVANCE

Anchura de la fresa b Profundidad de corte a Desbastado D Afinado A		a	b	Acero sin alea ^g hasta 65 kg/mm ²	Acero aleado rgocido hasta 75 kg/mm ²	Acero aleado mejorado hasta 100 kg/mm ²	Fundición gris hasta 180 Brinell	Latón (Ms 58)	Metales ligeros	
Fresa cilíndrica	D	5.0	100	17	14	10	12	35	200	v
		5.0		100	80	50	120	70	200	s'
	A	0.5		22	18	14	18	35	250	v
		0.5		60	50	36	50	60	100	s'
Fresa frontal cilíndrica	D	5.0	70	17	14	10	12	36	200	v
		5.0		100	90	55	140	190	250	s'
	A	0.5		22	18	14	18	55	250	v
		0.5		70	55	42	70	150	110	s'
Fresa de disco	D	10.0	20	18	14	12	14	36	200	v
		10.0		100	80	50	120	150	200	s'
	A	10.0		22	18	14	18	55	250	v
		10.0		40	30	25	40	75	100	s'
Fresas de vástago	D	5.0	25	17	15	13	15	35	160	v
		5.0		50	40	20	60	80	90	s'
	A	0.5		22	19	17	19	55	180	v
		0.5		120	100	65	120	120	120	s'
Platos de cuchillas	D	5.0	180	20	16	14	16	50	250	v
		5.0		20	65	36	100	200	250	s'
	A	0.5		30	23	18	24	60	300	v
		0.5		50	40	30	90	120	90	s'
Sierras	D	10.0	2.5	45	35	25	25	350	320	v
		10.0		50	40	30	50	200	180	s'
	A	-		-	-	-	-	-	-	v
		-		-	-	-	-	-	-	-

T-5.16 NUMERO DE REVOLUCIONES DE LAS FRESAS POR MINUTO

Velocidad de corte v en mm/min.	Diámetro de la fresa d en mm									
	40	50	60	75	90	110	130	150	175	200
6	48	38	32	26	21	17	15	13	11	10
8	64	51	42	34	28	23	20	17	15	13
10	79	64	53	42	35	29	24	21	18	16
12	96	76	64	51	42	35	29	25	22	19
14	112	89	73	60	50	40	34	30	26	22
18	145	115	96	76	64	52	44	38	33	29
22	175	140	117	93	77	64	54	47	40	35
26	210	165	140	110	91	75	65	56	48	42
30	240	190	160	128	105	87	73	64	55	48
35	280	225	185	150	125	100	86	74	64	56
40	320	255	210	170	140	116	98	86	72	64
45	360	287	240	190	160	130	110	95	82	72
50	400	318	265	212	177	145	122	106	91	80

T-5.17 CANTIDAD ADMISIBLE DE VIRUTAS AL FRESAR

Cantidad V ^a admisible de virutas en cm ³ por kW min de potencia en la máquina		
Material	Fresado con fresa cilíndrica	Fresado con fresas frontales
Acero sin alear de 35 a 60 kg/mm ² de resist.	12	15
Acero aleado de 60 a 80 kg/mm ² de resistencia.	10	12
Acero aleado hasta 100 kg/mm ² de resistencia.	8	10
Fundición gris (semidura)	22	28
Latón y bronce rojo	30	40
Metales ligeros	60	75

T-5.18 VALORES PRACTICOS PARA VELOCIDAD DE CORTE (Va m/min)
EN EL CEPILLO

HERRAMIENTA DE CORTE	ACERO, RESISTENCIA EN kg/mm ²			FUNDICION GRIS	BRONCE ROJO LATON.
	40	60	80		
Acero de herramientas	16	12	8	12	20
Acero rápido	22	16	12	14	30

T-5.19 ELECCION DE NUMERO DE DOBLES CARRERAS

DOBLES CARRERAS POR MINUTO	LONGITUD DE LA CARRERA EN mm			
	100	200	300	400
	Vm EN M/MIN			
28	5.3	10.2	14.2	18.2
52	9.8	19.0	26.2	33.6
80	15.2	29.0	41.0	52.0

Rectificadora:

$$T_p = \frac{2 L B i}{1000 v s} \quad (5.12)$$

donde: i ; número de cortes o pasadas

L ; $L_1 + 2L_a$ (5.12.2)

s ; avance de tabla T-5.20

v ; velocidad periférica en m/seg. (tablas T-5.21 y T-5.22)

Si la piedra es grande se usan las tablas de esmerilado cilíndrico y si la piedra a usar es chica se usan las tablas de esmerilado interior por concepto del material y método de fabricación.

Sierra cinta sin fin:

$$T = \frac{A}{K_4} \quad (5.13)$$

donde: A ; es el área transversal de la pieza a cortar en cm²

K₄ ; es la superficie cortada por minuto en Cm²/min.

K₄ se determina con el tiempo de material a cortar y el espesor de la pieza. El espesor de la pieza nos dá el # de dientes de la sierra y el tipo de material nos dá la velocidad en m/min, mediante el uso de la tabla T-23.

T-5.20 AVANCE LATERAL POR REVOLUCION DE LA PIEZA
EN FRACCIONES DE ANCHO DE MUELA

MATERIAL	ESMERILADO CILINDRICO		ESMERILADO INTERIOR	
	DESBASTADO	AFINADO	DESBASTADO	AFINADO
Acero	2/3 ... 3/4	1/4 ... 1/3	1/2 ... 3/4	1/5 ... 1/4
FUNDICION GRIS	3/4 ... 5/6	1/3 ... 1/2	2/3 ... 3/4	1/4 ... 1/3

T-5.21 VELOCIDAD DE CORTE PERIFERICA DE LA MUELA EN m/S

MATERIAL	ESMERILADO CILINDRICO	ESMERILADO INTERIOR
Acero	25 ... 35	20 ... 25
Fundición gris	20 ... 25	20 ... 25
Metales ligeros	15	15

* El aglutinante de las muelas es cerámico.

T-5.22 VELOCIDAD PERIFERICA DE LA PIEZA EN m/min:

MATERIAL	MECANIZADO	ESMERILADO CILINDRICO		ESMERILADO INTERIOR	
		V.P.	G/D	V.P.	G/D
Acero blando	Desbastado	12 - 15	46 L - M	16 - 21	45-50 J-0
	Afinado	9 - 12		-	
Acero templado	Desbastado	14 - 16	46 K	-	46 K-60 H
	Afinado	9 - 12		18 - 23	
Fundición gris	Desbastado	12 - 15	46 K	-	40-46 K-M
	Afinado	9 - 12		18 - 23	
Latón	Desbastado	18 - 20	36 K-46 J	-	36 K-46 J
	Afinado	14 - 16		25 - 30	
Aluminio	Desbastado	40 - 50	30 K-40 J	-	30 H
	Afinado	28 - 35		32 - 35	

T-5.23 PARAMETROS DE OPERACION CON SIERRA HORIZONTAL

MATERIAL		SS	W	APC	F G	MAL
VELOCIDAD DE CORTE EN (m/min.)		20	30-40	40-55	55-65	100
Espesor de la pieza en mm.	No. de dientes en la sierra por cm.	Superficie cortada por minuto cm ² /min.				
10	6 d/cm.	0.4	0.3	0.2	0.05	0.05
20	14 d/in.	0.8	0.6	0.45	0.1	0.08
30		1.3	0.8	0.65	0.2	0.11
40		1.75	1.1	0.8	0.3	0.15
50		4 d/cm.	2.25	1.3	0.9	0.35	0.17
80	10 d/in.	4.0	2.1	1.2	0.65	0.23
100		5.2	2.8	1.4	0.75	0.36
120		6.8	3.5	1.55	1.0	0.45
150		3 d/cm.	9.0	4.8	2.05	1.4	0.65
200	8 d/in.	15.0	7.7	3.3	2.45	1.5

SS acero rápido, W aceros de herramienta, APC aceros para construcción, FG fundición gris, MAL metales y aleaciones ligeras.

RUTA DE TRABAJO

Anteriormente sólo se había mencionado que la ruta de trabajo es el documento en donde se escribe de ordinario; el material, componentes estándar, ó aprovisionamiento requerido, y cada paso del procedimiento para crear el artículo terminado para ser inspeccionado contra dibujo.

En este inciso se tomará la libertad de presentar en particular una ruta de trabajo tipificada; donde no sólo se presenta el plan de trabajo de la pieza que se manufactura sino también el cálculo del tiempo en que está será elaborada por la máquina, el obrero en la máquina, y el obrero sin máquina en operación; en consecuencia los costos que está arrojará, y así determinar las ganancias (los métodos de cálculo de costos se verán aparte de la ruta de trabajo). Los tiempos de operación ó el tiempo disponible para fabricar una pieza se divide en: tiempos pasivos, tiempos activos y tiempos tecnomanales.

La ruta de trabajo que se utiliza presenta su encabezado de la siguiente manera:

Numero N^o / OPERACION / MAQUINA EMPLEADA / HERRAMIENTA DE CORTE / PARAMETROS DE OPERACION / HERRAMIENTA GENERAL / INSTRUMENTOS DE MEDICION / ACCESORIOS / LUBRICANTES Y REFRIGERANTES / TIEMPOS PASIVOS / TIEMPOS ACTIVOS / COSTOS. (cada parte del encabezado representa una columna de la ruta de trabajo con excepción de los tiempos pasivos).

N^o: Tiene por propósito establecer una secuencia en orden.

OPERACION.- La operación que se efectuará, dicho en pocas palabras, donde se incluye la selección del tipo de material y las dimensiones, así como la operación propiamente dicha que se hará.

MAQUINA EMPLEADA.- se apnta el tipo de máquina que se empleará, esta deberá ser congruente con la operación que se efectuará tomando en cuenta el factor hombre-minuto-máquina. Es el dispositivo que soporta el material de trabajo y la herramienta cortante y además proporciona los movimientos relativos correctos.

HERRAMIENTA DE CORTE.- Es el material fuerte y duro que apropiadamente formado aplica las cargas al material de trabajo y forma la viruta, está se considera perecedera y de hecho produce un factor de ganancia de aproximadamente - 20 %.

PARAMETROS DE OPERACION.- estos parámetros son intangibles, dependen de las dimensiones, material(es) y forma de la pieza, de la herramienta de corte empleada, y de la máquina herramienta que se utilice. Por lo general se encuentran ya tabulados en tablas, en caso contrario, el fabricante tendrá que arriesgarse a extrapolar por semejanza de propiedades del material con alguno ya tabulado ó invertir en la investigación de tales parámetros para el material que utilice.

HERRAMIENTA GENERAL.- se suma un factor (minuto, etc.) y se repite la condición de herramienta de corte.

INSTRUMENTO DE MEDICION.- Es un aparato, dispositivo o un sistema basado en una propiedad física tal que su variación es proporcional a la variación de la magnitud con la que se compara (magnitud que se trata de medir), estos también se denominan como herramientas para verificación y comparación y su costo se incrementa con su precisión.

ACCESORIOS.- Son elementos perecederos a los cuales se les aplica un factor de recuperación.

LUBRICANTES Y REFRIGERANTES.- (ya fueron tratados)

TIEMPOS PASIVOS.- estos tiempos incluyen los tiempos de *preparación*, de *accesorio* y de *prorrato*. Los cuales también representan cada uno una columna en la ruta de trabajo

Tiempo de preparación; Es el tiempo empleado en colocar la pieza en la máquina herramienta.

Tiempo accesorio; incluye la preparación de las herramientas y maquinas herramientas antes y después del maquinado.

Tiempo de prorrato; es el ajuste del tiempo a valores técnica y económicamente aceptables.

-Tiempos tecnomanales; es tiempo principal + 5, 10, ..., 50 % del tiempo principal (la estimación varía según el operario).

TIEMPOS ACTIVOS.- Estos son los tiempos principales o tiempos de máquina.

COSTOS.- en esta columna se incluyen exclusivamente los costos derivados por la suma de tiempos o el tiempo total hombre-minuto-máquina consumido en la operación (dada por el N° del renglon), y al final de la ruta se obtiene un tiempo total que representa, un costo según el salario y la energía consumida para la fabricación de la pieza. Deberán agregarse al costo total los costos de amortización de las máquinas y el herramental empleado.

A continuación se presentan las rutas de trabajo (tablas T-5.24 a T-5.29 y sus correspondientes figuras 5.22 a 5.27) de las partes no comerciales del motor hidráulico diseñado para la presente tesis, se hace la aclaración de que aunque sólo se presente el método de cálculo de tiempo de una de las piezas y su costo, este cálculo se ha efectuado para todas las piezas del mismo, con el fin de obtener el tiempo total de fabricación y costo del motor hidráulico.

Para tener idea de como se obtuvieron los tiempos en esta ruta de trabajo, mencionaremos la operación y luego se procederá a estimar los tiempos de la manufactura, de la carcasa del motor hidráulico (tabla T-5.29 y Fig. 5.27).

Operación # 1: Se recibe tejo de $D = 235 \times 69.85$ mm y se verifican dimensiones. En este caso no se cuenta con máquina herramienta ni operación de desbaste alguna por lo que no aparece tiempo activo "Ta", que calcular, Para poder verificar las dimensiones habrá que preparar la pieza y el tiempo de preparación "T prep." consumirá unos 2

minutos y debido al instrumental empleado se consumirá 1 min. del tiempo accesorio " T_{acs} ". y como el tiempo de prorrato " T_p " también sirve para compensar el tiempo de las actividades, el tiempo anterior se considera excesivo para la operación $T_p = -.5$ min. .

Operación # 2: Montar en chuck U. para lado A, esto se hace en un torno horizontal de 1.5 Hp, y 15" de volteo; en esta operación no se efectúa ningún arranque de viruta por lo que $T_a = 0$, dado el peso de la pieza y la operación de su debido centrado, $T_p = 4$ min., $T_{acs} = .7$ min, por el manejo del herramental del torno. Para este caso se considera que la operación no excede ni le falta tiempo, por lo que $T_{pror} = 0$.

Operación # 3: Hacer cilindrado interior con $D = 150 \times 4.5$ mm. Aquí se utiliza el mismo torno de la operación # 2, y si existe arranque de viruta, por lo que se presenta $T_a = 1.622$ min., este se calcula mediante las ecs. 5.6 y 5.6.3, aplicando los parámetros de operación, que se obtienen de las tablas T-5.13 y la fig. 5.18 para un buril SS, dando dos pasadas de corte. Como la máquina herramienta ya estaba preparada, $T_p = 0$ min, y por la maniobra $T_{acs} = .8$ min, y $T_{pror} = +.5$ min. por cualquier inconveniente que se presente en el maquinado.

Operación # 4: Afinado del cilindrado con $D = 152 \times 5$ mm. El afinado tiene un avance mucho más lento que el desbaste, pero utiliza las mismas ecuaciones tabla y diagrama aplicando los parámetros de afinado. Para 3 pasadas (2 de ellas sin penetración) $T_a = 7.5$ min., nuevamente $T_p = 0$ min. y $T_{acs} = 1.2$ min, y $T_{pror} = +.5$ min.

Operación # 5: Cilindrado interior con $D = 117 \times 18.3$ mm. Utilizando las mismas ecs. tabla y diagrama, de la op. # 2, con los correspondientes parámetros de operación $T_a = 10$ min. con 9 pasadas, $T_p = 0$ min., $T_{acs} = .8$ min., $T_{pror} = .7$ min.

Operación # 6: Afinado, del cilindrado interior con $D = 117 \times 18.8$ mm, en sí la operación es la misma que la op. # 4, exceptuando las rpm en los parámetros de operación obtenido de la tabla y el diagrama, siendo $T_a = 4.455$ min. para 3 pasadas, $T_p = 0$ min., $T_{acs} = 1.2$ min., $T_{pror} = .7$ min.

Operación # 7: Repetir de op. # 3 a op. # 6, para la cara B, está operación, indica que hay que repetir lo que se hizo en A, pero del lado B, con las mismas dimensiones, y así no abultar la tabla con más

pasos, Los tiempos T_a , de los cuatro pasos anteriores se suman dando $T_a = 23.577$ min, pero el tiempo de preparación sí existe en este caso, puesto que la pieza se desmonta y se vuelve a montar y es $T_p = 9$ min., $T_{acs} = \sum_B T_{acs} \cdot 9 = 3.6$, los tiempos de prorrateo se suman integros con su signo siendo $T_{pror} = 2.4$ min.

Operación # 8: Barrenar hueco central a $D = 19.05$ mm. La operación se realiza aun en el torno, pero T_a se calcula ahora mediante las ecs. 5.7 y 5.8, aplicando los parámetros de operación de la tabla T-5.14 así $T_a = .677$ min., $T_p = 2$ min. por la instalación del broquero y cambio de brocas, $T_{acs} = 2$ min. como se considera que se ha destinado mucho tiempo $T_{pror} = .4$ min.

Operación # 9: Desmontar, trazar y marcar los puntos para los puertos periféricos, como no hay arranque de viruta $T_a = 0$ min., $T_p = 3$ min. por el entintado y rayado, $T_{acs} = 5$ min. Por el manejo del instrumental en ambas caras, y $T_{pror} = 1$ min. por la verificación del rayado.

Operación # 10: En este caso los barrenos se efectuarán en un taladro pero las tablas y las ecs. son las mismas que en la op. # 9, dando $T_a = 2.08$ min, dado el cambio de posición de la pieza $T_p = 6$ min, $T_{acs} = 6$ min., por uso del lubricante y paro continuo de la máquina. $T_{pror} = -1.5$ min., por tiempos excesivos.

Operación # 11: Hacer barrenos periféricos de los 8 puertos y las 4 canales de las válvulas a $4 \times D1 = 5/8"$ y $8 \times D2 = .5"$ y espacio para niples, se usan las mismas ecs. y tablas que en la op # 9 con 4 brocas distintas para proteger el herramental así $T_a = 41.95$ min, por el cambio continuo de las brocas $T_p = 8$ min., $T_{acs} = 9$ min., $T_{pror} = -4$ min., por exceso de tiempo.

Operación # 12: Vaclar con barrenos laterales la canal de la válvula, se usan las tablas y ecs. de la op. # 9 dando $T_a = 1.6$ min., $T_p = 3$ min., $T_{acs} = 3$ min., y $T_{pror} = +.5$ min.

Operación # 13: Hacer barrenos perifericos, en la carcasa con las tapás periféricas, haciendo uso de las ecs. y tablas de la op. 9, $T_a = 2.77$ min., Debido a la colocación de las piezas se estima un $T_p = 8$ min., un $T_{acs} = 7$ min., y un $T_{pror} = -1.5$ min.

Operación # 14: Fresar las 2 canales con $L_t = 65 \times 18.8 \times 23.5$ mm, desbastado y afinado. Para el fresado, se utilizan las ecs. 5.9,

5.9.2, y los parámetros de operación de las tablas T-5.15, T-5.16 y T-5.17, dando $T_a = 34$ min., Para la operación se prepara la máquina herramienta y la pieza dando un $T_p = 4$ min., y un $T_{acs} = 9$ min. se consideran adecuados estos tiempos dando un $T_{por} = 0$ min. (En estas tablas se entra con las dimensiones de la fresa y el tipo de fresa para el avance y la profundidad de corte y las rpm se dan con las rpm en la T-5.16 y el diametro de la fresadora).

Operación # 15: Realizar escalonamiento lateral con $L = 5 \times 65 \times 22.8$ mm. a partir de la superficie en los 2 canales. En este caso se usan las ecs. y tablas de la op. # 14, para los parámetros dados, teniendo un $T_a = 6.8$ min., $T_p = 2$ min., $T_{acs} = 4.5$ min, y $T_{por} = +1$ min.

Operación # 16: Roscar todas las perforaciones de $3/16"$ (20 en total), como esto de hace a mano con machuelos , $T_a = 0$ min., y $T_p = 30$ min., $T_{acs} = 10$ min., y $T_{por} = +4$ min.

Operación # 17: Soldar nipples con CTAW, en esta actividad no hay arranque de viruta, pero si depositación de material, por lo que se estima un T_a de acuerdo con el soldador, en este caso $T_a = 2$ min., en total, $T_p = 4$ min., $T_{acs} = 1$ min. y $T_{por} = +1.5$ min.

Operación # 18: Limpiar y verificar (pieza y aparatos), en este caso $T_a = 0$ min., $T_p = 15$ min., $T_{acs} = 0$ min. y $T_{por} = +4$ min.

Con esto se concluye lo referente a la ruta de trabajo.

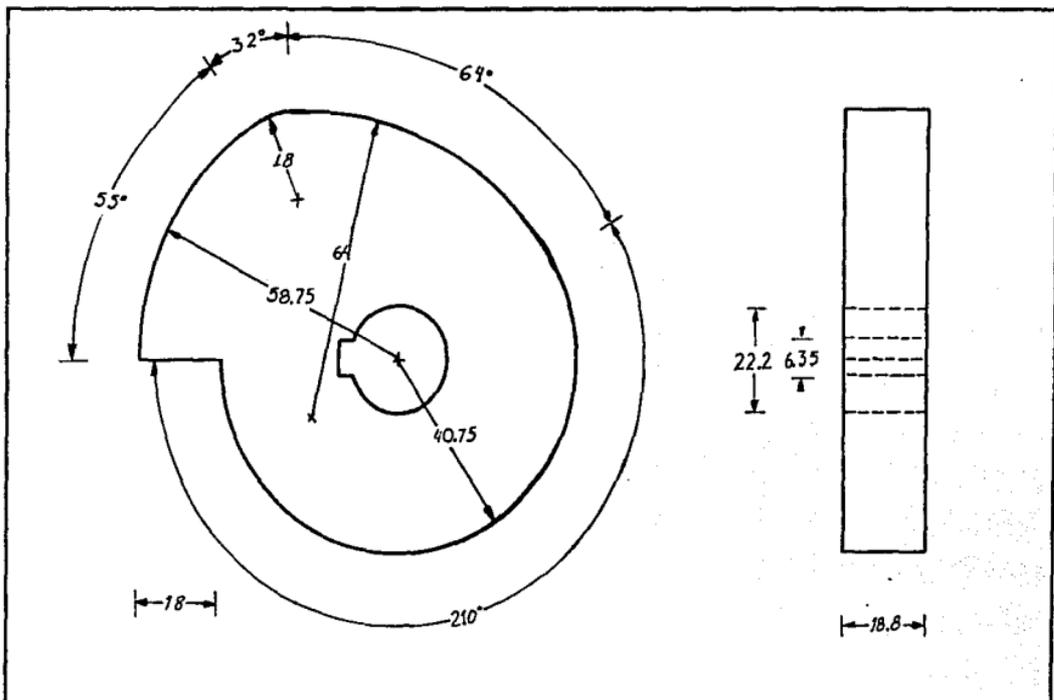
COSTOS DEL PROYECTO

Para obtener el costo por fabricación de cada pieza (independiente de los costos de herramental, máquinas y área de trabajo) el ingeniero 1) podrá sumar todos los tiempos y estimar un costo promedio (tiempo -hombre-máquina), para un presupuesto con un 10 % de error, en donde se incluirá el costo de material si el solicitante no lo aporta, o también para el presupuesto de un aparato ó pieza sujeta a futuros rediseños y, 2) cuando se tiene una pieza ya en producción el costo del (tiempo-hombre-máquina) deberá hacerse para cada operación, tomando en cuenta los salarios y costo de energía. Para nuestro caso y por no ser la contabilidad tema central de está tesis, nos limitaremos a encontrar un costo utilizando el sistema # 1, añadiendo los costos del material y el herramental consumido por cada pieza. En este caso conviene sumar los tiempos por columna par ver cuanto tiempo en total se consume en las actividades de preparación,

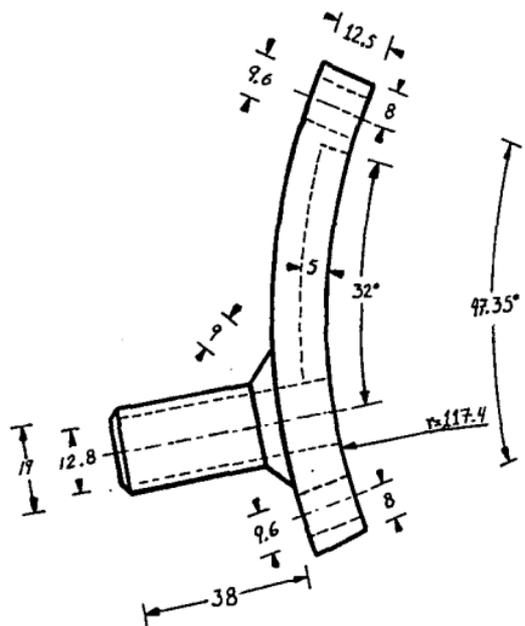
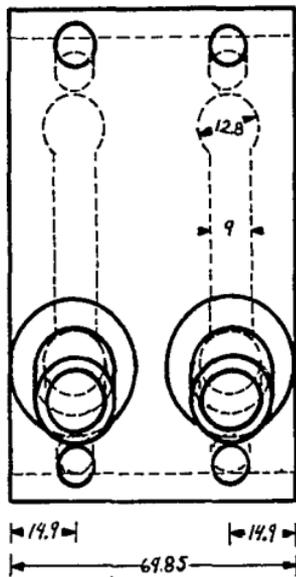
de arranque de viruta , en el tiempo accesorio y si se está prorrateando bien el tiempo de trabajo, y al final se suman los 4 tiempos totales para obtener un tiempo total de fabricación de la pieza, que sea representativo del costo de la misma.

Sin embargo como el motor es un modelo de un motor que nunca há sido probado, se prevee que haya que hacer una cantidad considerable de ajustes por lo cual el tiempo de manufactura estimado para que el modelo terminado funcione sera de unas 20 veces el tiempo de manufactura en bruto, lo que nos elevará los costos.

El factor de costo *Tiempo-Hombre-Maquina* se obtiene de la siguiente manera: el salario mínimo para un operador de máquina herramienta es de \$ 19,648.14 m.n. (aproximadamente); a este salario se le suma el costo promedio del kW/h que es de \$ 160 m.n., dando un costo de \$ 19,808.14 m.n.; a este costo se le suma el costo de máquina por hora estimando que se usaron un torno, un cepillo, y una máquina fresadora, con un costo promedio de \$ 24,000,000.00 m.n. cada una y con una depreciación del 10 % anual, dá \$ 7,200,000.00 m.n., que a 12 meses y 24 días por más, y 8 hrs. laboradas por más dá \$ 3,125 m.n. de costo por hora de las tres máquinas, que se suma, a los costos de energía y salario dando un costo *T-H-M* de \$ 22,933.15 m.n. con un tiempo de manufactura de 13.19 hrs. más el tiempo de compensación de 263.83 hrs, por ajustes; dan un tiempo total de 277.02 hrs. por el factor de costo *T-H-M* nos dá un costo de máquinado de \$ 6,353,050.54 m.n., a este costo se le agrega el *Costo de Pecederos*, que en este caso fue de \$ 215,110.00 m.n., y el *Costo de Material Utilizado* que para el proyecto fué de \$ 420,000.00 m.n.. Así el resultado total es de \$ 6,988,160.54 m.n. por concepto de manufactura del modelo.



ESCALA: 1 : 1 dimensiones en mm.	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO	<h1>FI</h1>
FIGURA: 5.22	TITULO: Rotor de motor hidráulico, de una sola nariz	
FECHA: 1 - XII - 91		



ESCALA: 1 : 1
dimensiones en mm.

FIGURA: 5.23

FECHA: 1 - XII - 91

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

TITULO: Tapa periferica de la carcasa de motor hidráulico.

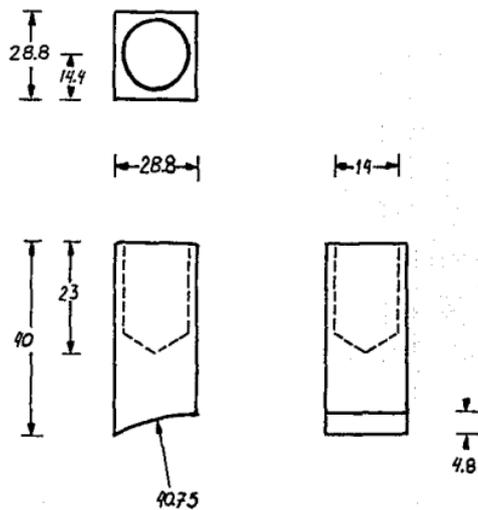
FI

DATA DE TRABAJO DE VALVULAS DESLIZANTES (4 válvulas a la vez) T-5.26

N.	OPERACION	MAQUINA EMPLEADA	HERRAMIENTA DE CORTE	PARAMETROS DE OPERACION	HERRAMIENTA EN GENERAL	INSTRUMENTOS DE MEDICION	ACCESORIOS	LUBRICANTES Y REFRIGERANTES
1	Selección y corte de material SAE 1014 con 85x45x25.	Sierra horizontal 1 hp	Sierra Inta S/f 6 d/mm	Vc = 35 m/min	Juego de llaves	Flexómetro	Banco nivelador	Propios de máquina y refrigerante
2	Posicionar pieza y es cuadrar a 18,8x40x27 mm.	Cepillo mecánico de codo C= 10° 1 hp.	Buril de 1/4 con filo a 45°.	Vc = 16 m/min, C = 50 mm, Lt = 90 mm, y s = .5 mm.	1	Pie de rey	Presia de sujeción lateral.	1
3	Retirar pza. y cortar por mitad a 18,8x40x 41 mm.	1	1	1	1	2	1	1
4	# 2 con vol = 18,8x40 x40 mm.	2	2	2 con Lt = 45mm.	1	2	2	1
5	# 3 con 18,8x19,5x40 mm.	1	1	1	1	2	1	1
6	# 2 con vol = 18,8x40x 18,8 mm.	2	2	2 con Lt = 20 mm.	1	2	2	1
7	Buscar centro de área cuadrada, marcar y taladrar a D = 14,35x18 mm.	Taladro de banco 1 hp	Brocas de D1 = 14.35 D2 = 7.175, D3 = 3.58 mm.	n = 300 rpm L = 14 mm.	1	2	Broquero con llave, punto de golpe y mazo	1
8	Esmerilar el área que toca al rotor con r = 35 mm.	Esmeril fijo .5 hp.	Muela EK 60 L	Vc = 30 m/s	1	-	plantilla	-
9	Limpia y verificar.	1 y 7	-	-	1	2	Detergente, estopa, grasa, 1 y 8.	-

DATA DE TRABAJO DE FLECHA DEL MOTOR HIDRAULICO (1 pieza) T-5.27

N.	OPERACION	MAQUINA EMPLEADA	HERRAMIENTA DE CORTE	PARAMETROS DE OPERACION	HERRAMIENTA EN GENERAL	INSTRUMENTOS DE MEDICION	ACCESORIOS	LUBRICANTES Y REFRIGERANTES
1	Selección y corte de material SAE 1040 a D = 25,4x220 mm.	Sierra horizontal 1 hp	Sierra cinta sin fin 16 d/in.	Vc = 45 m/min L = 25 mm.	Juego de llaves	Flexómetro	Banco nivelador	Propios de máquina y refrigeración
2	Preparar para montaje entre centros y montar.	Torno horizontal 1 hp	Buril 1/4 con filo para refrentar y broca de centros	n = 250 rpm. s = 1 mm/rev. Lr = 20 mm, L = 7 mm.	1	Pie de rey	Chuck universal y broquero	1
3	Desvaste previo y de aproximación para A con D = 19,05x160 mm.	2	Buril de 1/4" con filo para desbaste cilindrico.	# 2 con L = 160 mm	1	2	Montaje entre centros	1
4	Afinar para A con D = 19,05x150 mm.	2	# 3 con filo fresco	n = 400 rpm L = 60 mm s = .5 mm/rev.	1	2	3	1
5	Repetir #3 y #4 para B con L = 50 mm	2	3 y 4	# 3 y # 4 con L = 60 mm.	1	2	3	1
6	Pulir con lija a D = 19,05x150 mm.	2	-	n = 400 rpm. L = 150 mm.	1	2	#3 y Lijas # 200, 300 400 y 600.	1
7	Repetir #6 para el res tante de la pieza	2	-	6	1	2	6	1
8	Montar pza. para probar culeros a 1/4x1/8" 1 hp.	Fresadora universal	Cortador de 1/4 lateral	n = 80 rpm. L = 25.15 mm, s = 20 mm/min.	1	2	3	1
9	Desmontar, limpiar y verificar.	-	-	-	1	2	Banco de trabajo	Detergente, estopa y grasa.



ESCALA: 1 : 1
 dimensiones en mm.

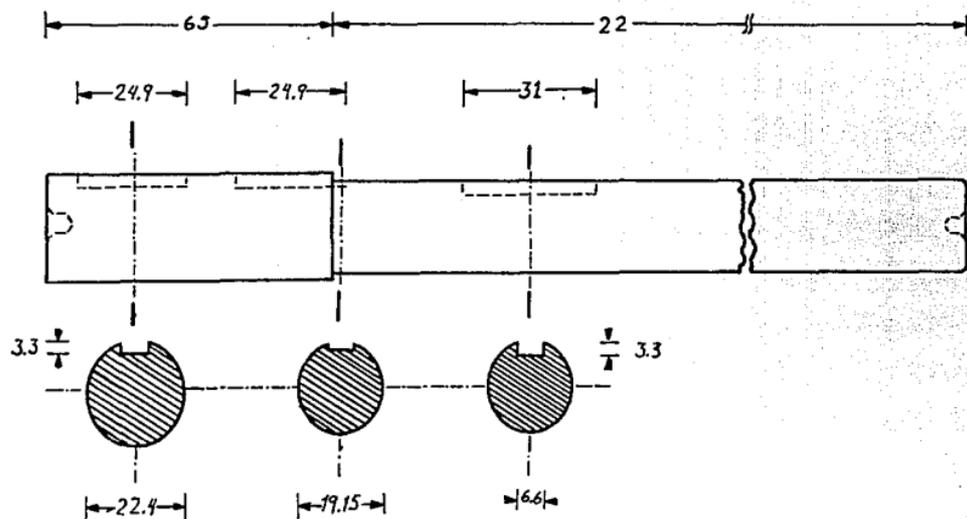
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FIGURA: 5.24

TITULO: Válvula deslizando de motor hidráulico.

FECHA: 1 - XII - 91

FI



ESCALA: 1 : 1
dimensiones en mm.

FIGURA: 5.25

FECHA: 1 - XII - 91

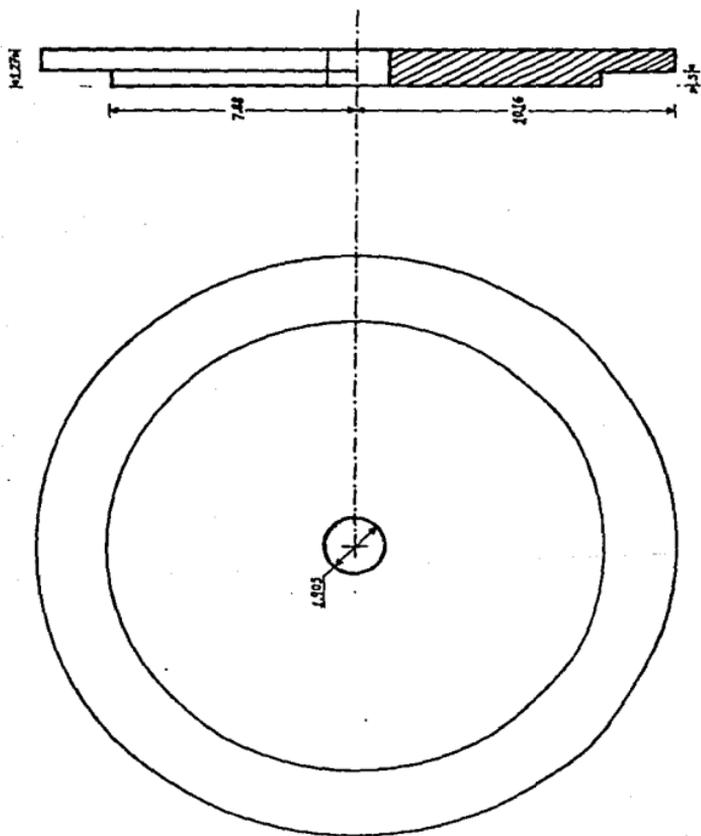
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

TITULO: Flecha motriz de motor hidráulico.

FI

PLANA DE TRABAJO DE TAPAS LATERALES DEL MOTOR HIDRAULICO (2 tapas a la vez) T-5.28

N.	OPERACION	MAQUINA EMPLEADA	HERRAMIENTA DE CORTE	PARAMETROS DE OPERACION	HERRAMIENTA EN GENERAL	INSTRUMENTOS DE MEDICION	ACESORIOS	LUBRICANTES Y REFRIGERANTES
1	Se reciben tejos con D = 220x15 mm, se veri- dimensiones y planea- dad.	-	-	-	-	Flexómetro y compara- dor de carátula	Banco de trabajo	-
2	Soldar en paquetes de dos tejos.(puntear).	Electrosoldadura 1,5 - E 6013-1/8 hp.	-	I = 125-amps., V = 25 a 40 v	Juego de llaves	-	1	Propios de máquina
3	Montar paquete y tala- drar al centro a D = - 19.05 mm.	Taladro de banco 1 hp.	Srocas h. D1 = 1/4 in D2 = 1/2 in.	n = 300 rpm L = 24 mm.	2	Pie de rey	Broquero con llave	#2 y aceite de corte
4	Montar en mandril y -- entre centros.	Torno h. Volteo 12" y 1 hp.	-	-	2	-	Montaje entre centros	2
5	Cilindrar a D = 203.2 mm y afinar	4	Burilcon filo par des- baste cilíndrico.	L = 24 mm. n = 26 rpm s = .5 cm/rev.	2	3	4	3
6	Refrentado previo y de aproximación con Lr = 91.6 mm.	4	5	L = 91.6 mm, n = 37 rpm, v = 15 m/min.	2	3	4	3
7	Cilindrar A, con D = - 158.8x5.1mm	4	5	# 5 con L = 22.2 mm	2	3	4	3
8	Repetir 7 para B	4	5	7	2	3	4	3
9	Quitar piezas de monta- je entre centros y mon- tar en Chuck U. con -- mordazas externas.	4	5	-	2	-	Chuck universal c/lla- ve y mordazas externas	3
10	Montar para A y afinar con Lr = 79.4	4	# 5 con filo fresco y punta redonda r = 1 mm	L = 79.4 mm, s = .1 mm n = 100 rpm.	2	3	9	3
11	Pulir a espejo con Lr = 79.4 mm.	4	Lijas del 200, 400 y 600	n = 200 rpm.	2	3	9	3
12	Repetir 10 y 11 para B	4	10 y 11	10 y 11	2	3	9	3



RUTA DE TRABAJO DE CUERPO DE LA CARCASA DEL MOTOR HIDRAULICO (1 pza.) **T-5.29**

N	OPERACION	MAQUINA EMPLEADA	HERRAMIENTA DE CORTE	PARAMETROS DE OPERACION	HERRAMIENTA EN GENERAL	INSTRUMENTOS DE MEDICION	ACCESORIOS	LUBRICANTES Y REFRIGERANTES	TIEMPO PREPARACION	TIEMPOS PASIVOS. TIEMPO ACCESORIO	TIEMPO PRORRATED	TIEMPOS ACTIVOS. TIEMPO PRINCIPAL
1	Se recibe tejo de D = 235x69.85 mm y se verifican dimensiones.	-	-	-	-	Escuadras, pie de rey	Banco de trabajo	-	2	-	-	-
2	Montar en Chuck U. para Torno horizontal 1.5 - hp, 15° de volteo	-	-	-	-	1	Chuck Universal	Propios de máquina	4	0.7	0.0	-
3	Hacer cilindrado int. con D = 150x4.5 mm	2	Buril con filo para desvestar de 1/4"	N = 37 rpm, S = 1 mm/rev., L = 145 mm	Juego de llaves	Vernier de 15" y medidor de interiores.	2	#8 y refrigeración	0	0.9	+0.5	1.62
4	Hacer afinado del cilindro con D = 152x5 mm.	2	Buril 1/4" con filo para afinar.	N = 60 rpm, S = 5 mm/rev., L = 150x5 mm.	3	3	2	3	0	1.2	+0.5	7.5
5	# 3 con D = 117x18.5 mm	2	3	L = 117x18.5 mm, M = 53 rpm, S = 1 mm/rev.	3	3	2	3	0	0.8	+0.7	10.0
6	# 4 con D = 118x18.8 mm	2	4	N = 80 rpm, S = 5 mm/rev., L = 118.8x18.8 mm	3	3	2	3	0	1.2	+0.7	4.45
7	Repetir 3 a 6 para cara B	2	3 y 4	#3, #4, #5 y #6	3	3	2	3	6	3.6	+2.4	23.57
8	Barrenar hueco central a 19.05 mm.	2	Brocas helicoidales de #1 a #6	M1 = 875 rpm, M2 = 300 rpm, M3 = 200 rpm, L = 20 mm.	3	3	#2 y broquero	3	2	2.0	-0.4	0.67
9	Desmontar y trazar puntos para barrenos de los puertos periféricos en ambos lados.	-	-	-	-	Escuadras, compás raya dor, y goniometro.	Lintas, punto de golpe y martillo.	-	3	5.0	+1.0	-
10	Hacer barrenos laterales en A y B, con tapas laterales montadas. 6 - de cada lado.	-	Broca helicoidal de 3/16"	N = 750 rpm, L = 26 mm	3	3	Broquero con llave	3	6	6.0	-1.5	2.08
11	Hacer barrenos periféricos y 4 conductos más a D1 = 5/8", y D2 = 1/2" y espacio para nipples.	10	Brocas helicoidales de 1/4; 1/2 y 5/8.	M1 = 450 rpm, M2 = 300 rpm, M3 = M4 = 200 rpm, L1 = 70 mm, L2 = 2 mm	3	3	10	3	8	9.0	-4.0	41.95
12	Vaciár con barrenos laterales la canal de la válvula.	10	11	#11 con L = 10 mm.	3	3	10	3	3	3.0	+0.5	1.6
13	Barrenos periféricos con tapas p. puestas.	10	10	10	3	3	10	3	8	7.0	-1.5	2.77
14	Fresar canales con L = 65x18.8x23.5 mm desbastado y afinado.	1	Cortador lateral 1/2"	N = 470 rpm, S = 100 mm por rev., L = 60x18.8	3	3	Sujetadores	3	4	9.0	0.0	34.00
15	Hacer escalonamiento de L = 5x65x22.8 mm en las 4 canales.	14	14	#14 con L = 65x5	3	3	14	3	2	4.5	+1.0	6.8
16	Roscar las perforaciones de 3/16"	-	Juego de machuelos de 1/8 de rotación avance 1/4"	1/4 de retroceso.	3	3	#1 y manual	Manteca de cerdo	30	10.0	+4.0	-
17	Soldar nipples con GTAW	Planta de CO - CA.	-	v = 80 V, I = 60 amp.	Plica, pinzas y cepillo	3 y 9	Electrodo 3/32" y Creta	-	4	1.3	+1.5	2.0
18	Limplar y verificar	-	-	-	-	-	1	Detergente, estopa y grasa.	5	0.0	+4.0	-
									77 min.	65.6 min.	+8.9 min	139.031 min.
									Tiempo total: 300.531 min.			

CAPITULO VI PRUEBA DEL MOTOR HIDRAULICO

En los capítulos pasados se ha propuesto un nuevo tipo de motor, haciendo mención desde las ventajas que presenta, teoría de fluidos del mismo, los materiales que pueden ser de utilidad para el mismo, los métodos de fabricación y costo del motor; pero el haber hecho todo esto no basta, pues si el motor no cumple con lo especificado en la teoría despues de manufacturado o peor aun no opera y no se obtiene movimiento de este, el motor se convertiría en algo inútil hasta cierto punto; ya que se diría que el motor no funciona como tal, pero si como una bomba, que podría ser irreversible mecánicamente; Por tanto el motor ya manufacturado y ensamblado deberá ser probado y dentro del tipo de pruebas a que el motor deberá someterse se encuentran básicamente las dos siguientes:

1- Prueba de funcionamiento del motor, en donde se determina si cumple al menos con el principio de desplazamiento positivo, venciendo las fricciones internas que puedan presentarse.

2- Prueba de la potencia, y eficiencia, (obtención de curvas características), para determinar si es económicamente conveniente para las aplicaciones propuestas.

La PRIMERA PRUEBA.- consistió en armar el motor hidráulico según el diseño que se había proyectado; tenía dos rotores de dos narices cada uno, resortes duros, válvulas de acero bajo carbono 2 de ellas por cada rotor y la flecha se apoyaba en el tabique central de la carcasa. En este caso se encontró que no hubo movimiento y se creyó que se debía a la excesiva fricción de las válvulas con los rotores; Por lo que se dedujo que había que cambiar los resortes por unos más suaves.

La SEGUNDA PRUEBA.- se efectuó en las mismas condiciones que la primera con la diferencia de que los resortes duros se cambiaron por unos mucho más suaves. El resultado fué el mismo, por lo que se decidió observar el funcionamiento en seco del rotor dentro de la carcasa. Entónces se encontró una especie de corto circuito de los puertos de alta presión a los puertos de baja presión por donde se perdía toda la presión. Se concluyó de esto que se debería de

rediseñar el rotor, pues estos deberían tener al menos 1.5 narices por el número de puertos de entrada con 2 ó más puertos, y dos narices para un sólo puerto de entrada ó de lo contrario modificar la forma de la nariz de manera que esta impida el corto circuito de los puertos.

Para la TERCERA PRUEBA se fabricaron dos rotores de 3 narices en aluminio, con resortes duros manteniendo el resto de las condiciones y haciendo la prueba en seco. El resultado fué la presencia de una excesiva fricción. Conclusión: usar resortes blandos.

La CUARTA PRUEBA se realizó con los resortes suaves y utilizando agua como fluido de trabajo. Resultado No hay movimiento pero sí circulación de agua; y al destapar se observan marcas en los rotores debidas a la fricción flecha-carcasa-rotor, debidas a un descentramiento de la flecha, observandose además que las válvulas de acero desgastan las narices de los rotores de aluminio. Conclusión hay que minimizar el descentramiento de la flecha y redondear las válvulas.

En la QUINTA PRUEBA se colocaron las válvulas con el tope redondeado, y se realizó en forma similar a la prueba anterior. Los resultados fueron una notable reducción de la fricción y una mejora en el sellado de estas, pero no hubo movimiento. Se concluyó que : 1) La flecha sigue descentrada; 2) La pendiente de la nariz es excesiva para el diámetro del motor; 3) Que el motor sea mecánicamente irreversible puesto que este sí funciona como bomba.

Como se deseaba desechar que el motor fuera irreversible, En la SEXTA PRUEBA; el motor se ensayó con una sólo cámara, con un rotor de aluminio, con esto también se llegaría a saber si el descentramiento estaba impidiendo el movimiento en seco. Resultado, el rotor giraba muy rápido y fácil. Conclusión: los rotores presentan problemas de paralelismo, y se debería de probar con fluido.

SEPTIMA PRUEBA.- El motor se prueba con fluido, el rotor por tener dos narices, sólo dió un pequeño giro y se detuvo. Resultado no ocurre ningún giro. Conclusión se cree que la presión de agua vence a los resortes suaves, y por tanto se deben poner resortes más duros.

OCTAVA PRUEBA.- se colocan los resortes duros. y se cambia el tipo de rotor por el de tres narices. El resultado es un gran aumento de la fricción. Conclusión: la válvula no debe ser más dura que el rotor; también se piensa que el puerto de entrada no debería de estar

interconectado con la válvula, porque crean zonas de fuga de presión.

NOVENA PRUEBA.- comprobar que los puertos no queden interconectados con las válvulas; esto se hace cambiando la posición del rotor y los puertos de alta y baja presión. Resultado: un pequeño intento de giro, pero las fugas de agua continúan. Conclusión: cambiar el resorte por otro más duro.

DECIMA PRUEBA.- repetir la prueba anterior con resortes más duros. El resultado: no hay movimiento y tal parece que el agua vence al resorte. Conclusión: se debe rediseñar el tipo de válvula para que el agua no aventaje a los resortes.

ONCEAVA PRUEBA.- Las válvulas se han rediseñado y construido, y se prueba con las condiciones de la septima prueba. Resultado: una gran fricción entre el rotor de aluminio y las válvulas. Conclusión: cambiar el rotor por uno de acero para ver que sucede.

DOCEAVA PRUEBA.- Se coloca un rotor de acero en la posición de acción esperando que este gire. Resultado: se presenta el giro esperado. Conclusión: el rotor debe ser de acero ó más duro que la válvula, sinó esta se entierra en el rotor.

Aun así se cree que el rotor de aluminio podría funcionar y sólo falla por ajuste; por lo que se efectúa la TRECEAVA PRUEBA; una vez realizado el ajuste. Resultado: no hay movimiento. Conclusión: se refuerza la teoría que el rotor debe ser más duro que la válvula.

CATORCEAVA PRUEBA.- Para probar si no hay cierta influencia en la viscosidad del agua se utiliza aire a alta presión, pero se observa gran cantidad de fugas por los puertos y por las canales de las válvulas. Se cree que esta fuga se debe a los resortes suaves.

QUINCEAVA PRUEBA.- Se utilizan resortes duros. El resultado es nuevamente una gran cantidad de fugas. Conclusión: dejar de hacer pruebas hasta rediseñar un nuevo tipo de rotor.

DIECISEISAVA PRUEBA.- Se prueba un rotor de tres narices rectas, ya que los de narices redondas presentan contra pares que impiden el correcto funcionamiento del motor. Resultado: se tiene un movimiento parcial. Se concluye que hay que usar resorte duro.

DIECISIETEAVA PRUEBA.- Se repite la prueba anterior con resorte duro. El resultado es un empeoramiento del funcionamiento del rotor, pues este se atasca con la válvula.

DIECIOCHAVA PRUEBA.- Se cambian las válvulas por unas válvulas planas para observar lo que sucede haciendo uso de un resorte blando. Resultado: mejora el movimiento en la parte cilíndrica del rotor pero se atasca en la parte plana. Conclusión: continuar con otra prueba.

DIECINUEVEAVA PRUEBA.- Repetir la prueba anterior con resortes duros. Resultado un mayor atascamiento de la válvula con el rotor. Conclusión se piensa en reajustar los apoyos de la flecha con el fin de tener un mejor apoyo de esta.

VEINTEAVA PRUEBA.- Se utilizan rotores nuevos y estos con la flecha se sostienen de la tapas laterales, los rotores constan de una sola nariz y tienen válvula ajustada con la forma del rotor hecha de acero. Además se conectan las válvulas con los puertos de alta presión. Resultado existe una leve tendencia a girar pero la fricción es excesiva. Conclusión poner una válvula que presente menor fricción.

VEINTIUNAVA PRUEBA.- Se elaboran válvulas con cerolón, y se prueban con resortes suaves. Resultado: una tendencia a girar, pues gira más de 360° pero se detiene. Conclusión: quiere un mejor sello.

VEINTIDOSEAVA PRUEBA.- Se realiza la prueba anterior con resortes duros. Resultado: no hay movimiento. Conclusión: El motor no debe usar resortes.

VEINTITRESEAVA PRUEBA.- Se prueba el motor sin resortes con aire a alta presión. Resultado: el motor gira a gran velocidad; venciendo la fricción; hasta unos 550 rpm. con 12 Kg/cm^2 en el compresor, de los cuales llegaría cuando mucho 1 kg/cm^2 pues hay una gran caída de presión en la larga y delgada manguera, que va del compresor al motor.

Una vez que el motor funciona a la perfección; al menos en forma aparente; lo siguiente es realizar la prueba de rendimiento del motor con el auxilio de un manómetro de bourdon, un tacómetro, un freno de Prony y un sistema de aire a presión con muy bajas pérdidas.

El freno de Prony fig 6.1 consta de una rueda acoplada a la flecha, la cual gira, y hace contacto con unas zapatas que intentan detener su movimiento, siendo la suma de sus fuerzas de fricción, la fuerza total de fricción que trata de impedir el movimiento de este, en tal caso las zapatas girarían con la rueda, pero son sostenidas mediante un brazo de palanca que se conecta a un dinamómetro flotante. De esta manera se puede calcular el trabajo hecho por el motor

mediante la ecuación 6.1.:

$$W = T \cdot \pi \cdot D / 12 \quad (\text{lb-ft ó kg-m}) \quad (6.1)$$

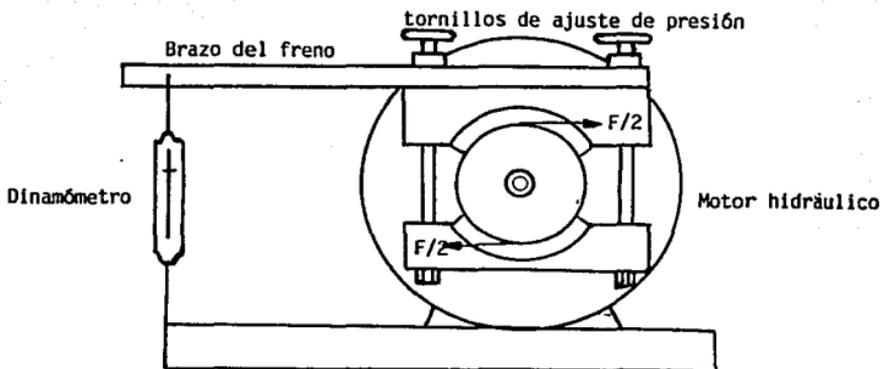


Fig 6.1 Equema de motor hidráulico con freno de Prony

Si el motor y los instrumentos de medición disponibles lo permiten, se pueden obtener una serie de puntos, para conocer la curva real del motor y compararla así contra su curva teórica.

Para poder calcular la potencia teórica de este motor debemos conocer el gasto de fluido que este consume para trabajar; para esto nos vemos precisados a conocer el volumen de desplazamiento del motor. Este volumen será la diferencia de los volúmenes del espacio de la carcasa y el volumen del rotor, pero se obtiene con la diferencia de áreas, según la figura 6.2, dado que el espesor del espacio de la carcasa es prácticamente el del rotor. Aparentemente el área del rotor presenta cierta dificultad de cálculo, pero esta siempre se podrá dividir en un número finito no muy grande de secciones de círculos, triángulos y otros elementos geométricos de manera que esta se puede calcular con la suma y resta de estos elementos como se muestra en la figura 6.3.

Para nuestro caso el área del volumen desplazado es de 44.893 cm^2 , que multiplicado por el espesor de la carcasa, se obtiene un volumen de desplazamiento de 84.400156 cm^3 , en cada revolución que

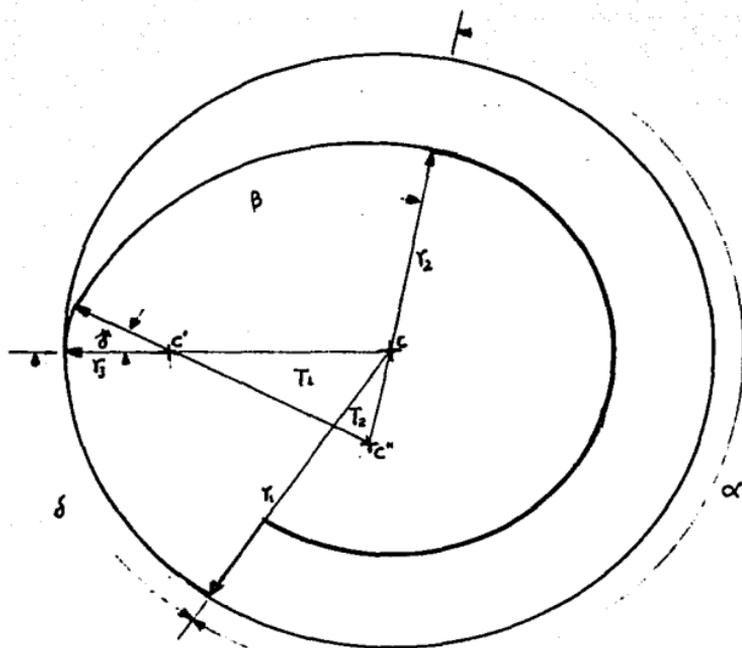


Fig 6.2 Representación del área del rotor en la carcasa mostrando las áreas en que se puede dividir el rotor.

efectúe este rotor. Los siguientes puntos se obtienen mediante la medición de las revoluciones a que gira la flecha motriz, la presión a que opera el motor, y la fuerza que ejerce el brazo de palanca sobre el dinamómetro.

La potencia al freno será:

$$W_r = \pi N F L / 30 \quad (6.2)$$

donde: N está dada en rpm., F en Newtons, y L en m.

La potencia del fluido ó potencia teórica W_t se puede obtener mediante la siguiente expresión:

$$W = P Q \quad (6.3)$$

Donde P está en kPa, y se obtiene mediante la instalación de un manómetro en la tubería que alimenta al motor de fluido; Q en m^3/s .

Siendo la eficiencia del motor: $\eta = W/W$ (6.4)

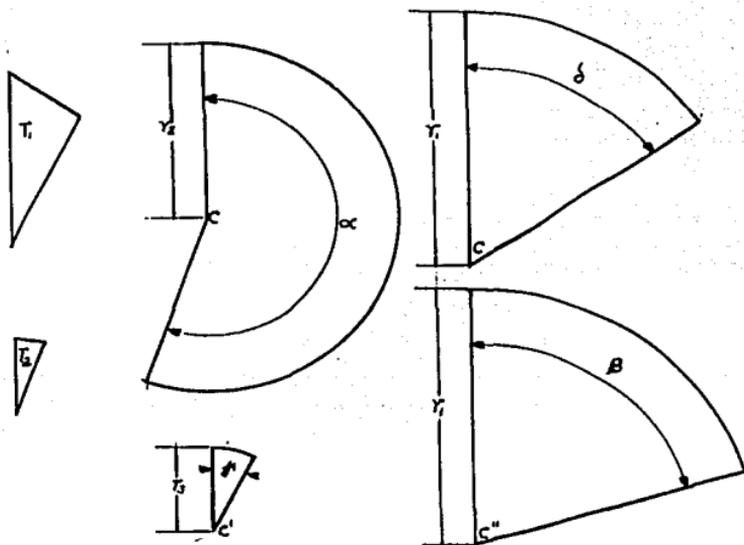


Fig 6.3 Figuras geométricas en que fué dividido el rotor de una nariz (fig 6.2). El área del rotor será la suma de las áreas de los abanicos menos el área de los dos triángulos, que mediante los parámetros mostrados se calcula mediante la fórmula:

$$a_{\text{rotor}} = r_1^2 \left[\frac{\beta + \delta}{2} \right] + r_2^2 \left[\frac{\alpha}{2} \right] + r_3^2 \left[\frac{\gamma}{2} \right] - [a_{T_1} + a_{T_2}] \quad (f-6.3)$$

Las pruebas se realizaron según se observa la figura 6.4, dando como resultado los puntos de la tabla T-6.1. De los datos de la tabla T-6.1 y aplicando las ecuaciones (6.2), (6.3) y (6.4) se obtiene la tabla T-6.2, con estos valores se graficaron las figuras 6.5 a 6.10.

Se hace notar además que se midieron las velocidades de desboque para las presiones de 206.82 kPa y 379.23 kPa, siendo 750 rpm y 1500 rpm respectivamente.

T-6.1 VALORES OBTENIDOS EN PRUEBA DE LABORATORIO

DATOS DE DESEMPEÑO DEL MOTOR HIDRÁULICO			
P(kPa)	F(N)	Nf(rpm)	Nd(rpm)
275.764	6.867	1000	-
275.764	7.848	600	-
206.823	2.943	500	750
137.882	1.4715	400	-
379.225	5.386	620	-
379.225	3.924	780	1500

T-6.2 VALORES CALCULADOS MEDIANTE LAS ECS. 6.2, 6.3 Y 6.4

DESEMPEÑO CALCULADO DEL MOTOR HIDRAULICO				
Wt (Watts)	Wf (Watts)	Q (m/s)	T (Nm)	η (%)
776.078	107.867	2.8133 E-3	1.03	13.89
465.641	73.965	1.688 E-3	1.1772	15.88
291.023	23.114	1.4067 E-3	.4414	7.94
155.214	9.246	1.1253 E-3	.2207	5.96
661.606	57.323	1.7443 E-3	.8829	8.66
832.349	48.276	2.1944 E-3	.5886	5.77

Fig 6.5 Relación entre el par motoriz y la presión

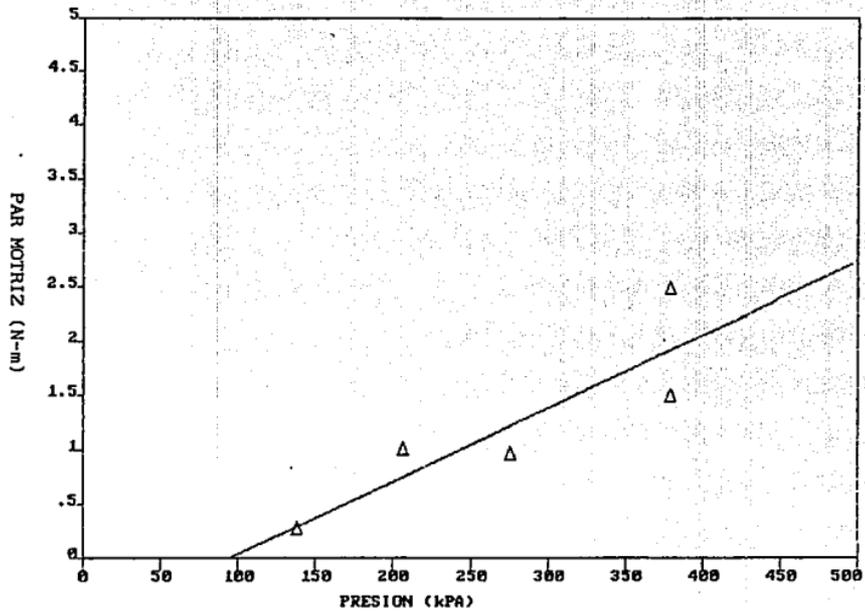
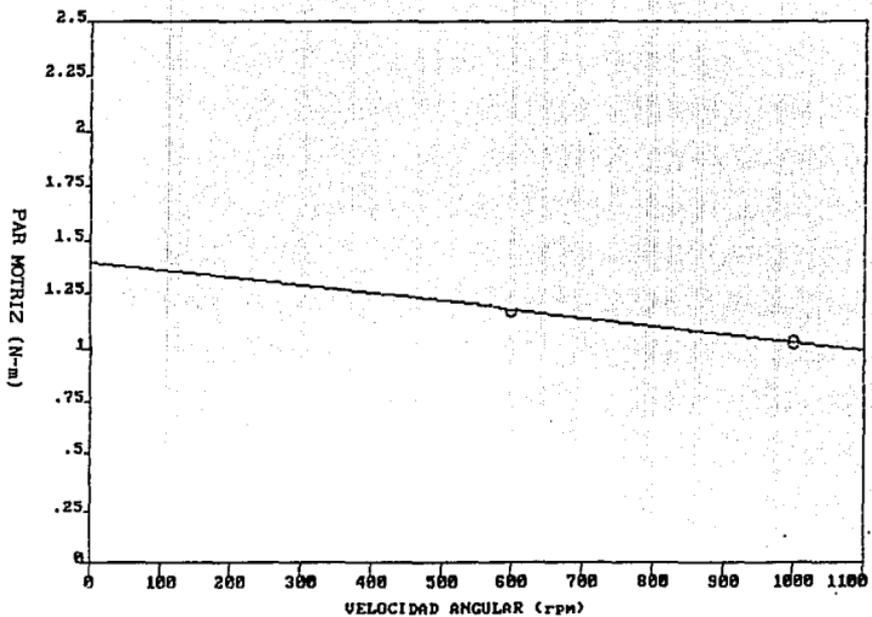


FIG 6.6 Relación entre par motriz y velocidad angular



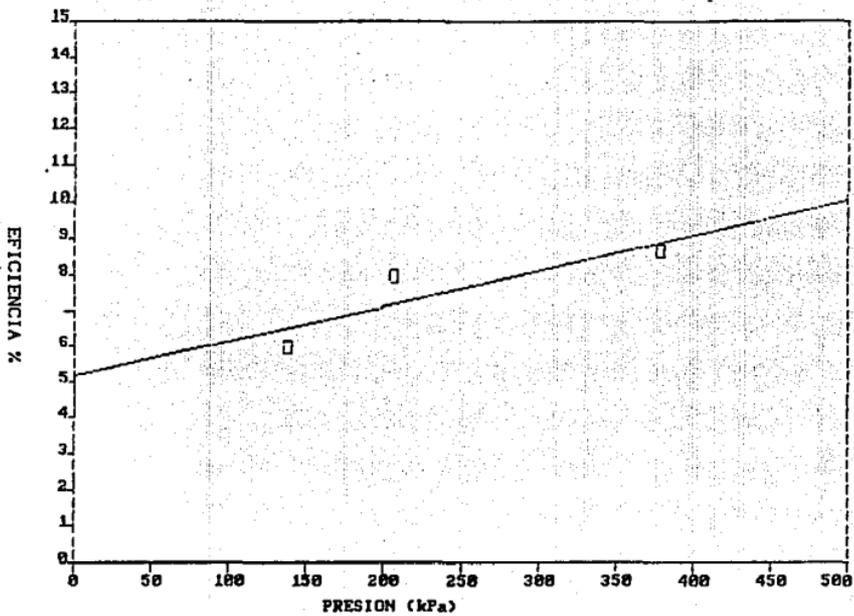


Fig 6. 7 Tendencia de la eficiencia por efecto de la presión

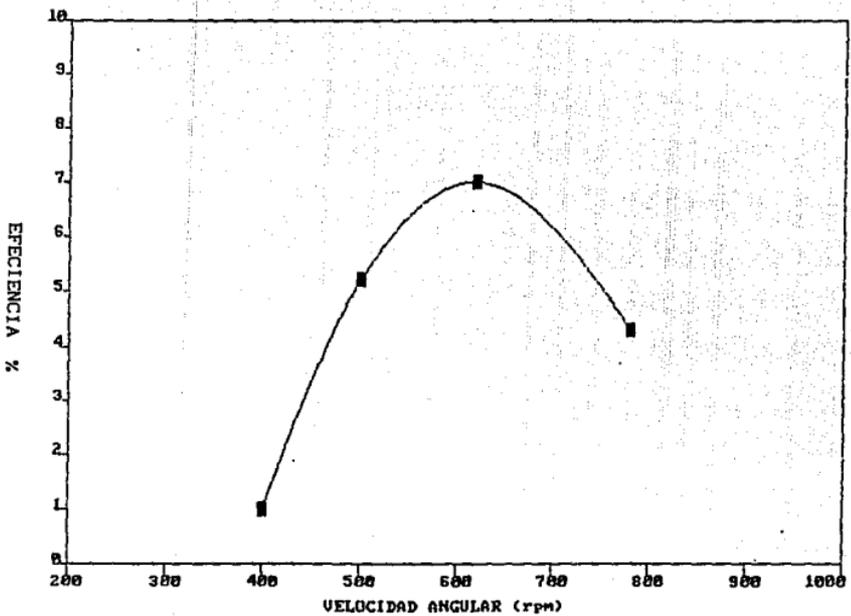


Fig 6.8 Comportamiento de la eficiencia según la velocidad angular

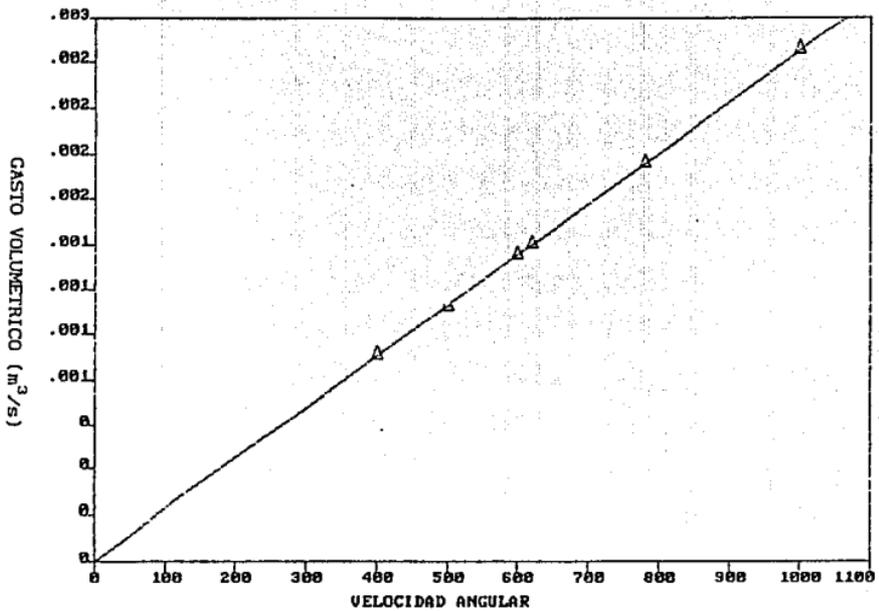
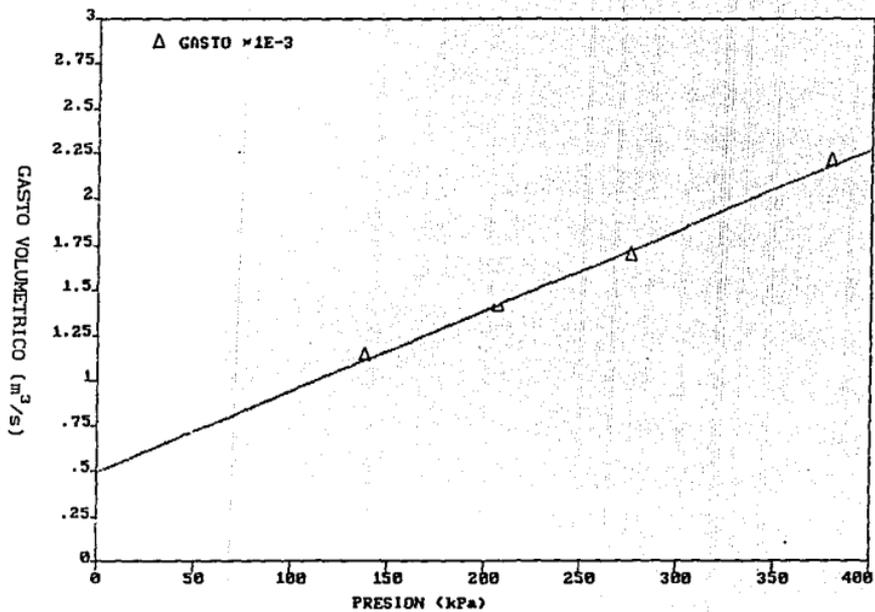


Fig 6.9 Comportamiento del gasto volumetrico con respecto a la velocidad angular

Fig 6.10 Relación entre el gasto volumétrico y la presión

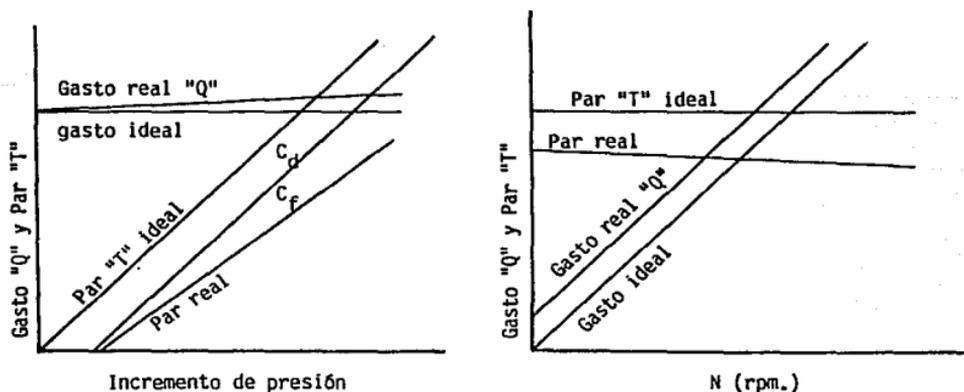


CONCLUSIONES

En el capítulo anterior se hizo mención de los tipos de pruebas por los que paso el motor hidráulico, antes de que funcionara y cuando este por fin funcionó con una muy baja eficiencia.

De los datos obtenidos y las eficiencias calculadas se puede notar la influencia de la eficiencia mecánica en la eficiencia global ya que esta es esencialmente baja debido a factores de fricción entre las partes móviles del motor (flecha, rotores y válvulas) contra las partes estáticas (carcasa y tapas laterales), además de la mala lubricación de este; pues se observa que recién lubricado (con diesel por facilidad de penetración) el motor mostro una eficiencia de casi el doble que cuando operaba en forma normal (ultimos 4 puntos). Además la flecha giraba y se apoyaba en las tapas laterales de la carcasa sin ningún tipo de rodamiento o chumacera por lo que estos eran zonas de gran pérdida de energía, y como se había dicho las caras y tapas de la carcasa rozaban íntegramente contra los rotores de esta.

Pese a estos inconvenientes el motor tuvo una tendencia normal en su comportamiento según lo muestran las figuras 6.5, 6.6, 6.9, y 6.10, con respecto a las curvas que normalmente presentan estos motores figuras C.1 y C.2; además se comprueba también que cuando se aumenta



la presión, la eficiencia también crece figura 6.7. Otra curva de eficiencia se presenta en la figura 6.8, esta muestra una relación de eficiencia con respecto a la velocidad angular para el modelo de motor que se fabricó y que tiene un forma parabólica:

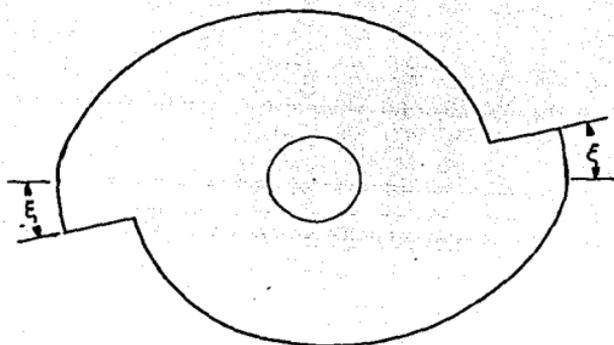
En cuanto al diseño mecánico se puede establecer para este tipo de motor, que para elevar la eficiencia del motor y que este funcione adecuadamente el diseño debe contemplar: minimizar las fricciones en un máximo; en que el diseñador debe tener presente que el material de las válvulas deslizantes nunca deberá ser más duro que el de los rotores pues estas terminaran desgastando los rotores y es más factible reemplazar las válvulas que los rotores por razones de costo y tiempo de manufactura. También las válvulas deben tener una baja inercia para que estas puedan ser fácilmente desplazadas por el fluido y los rotores. A las válvulas del motor no se les debe poner resortes ya que las válvulas y el puerto de alta presión se encuentran interconectados; las narices de los rotores se deberán diseñar de manera que se eviten los contrapares y las fugas de presión tomándose como reglas que:

Se usaran 1.5 narices tipo A por puerto de entrada para más de dos puertos de entrada en adelante y dos narices para un puerto de entrada; 1 nariz tipo B por cada puerto de entrada. Ver figura C.3.

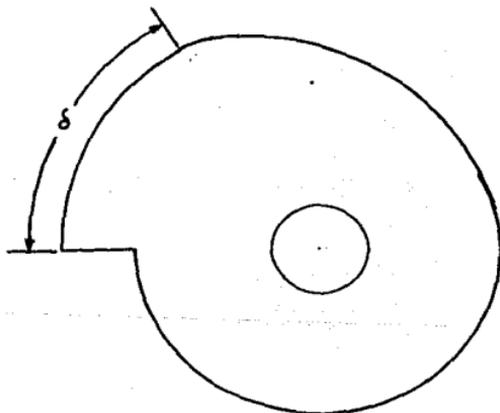
En lo posible el diseñador deberá evitar tratamientos térmicos y el uso de materiales que necesiten tratamientos térmicos en el post maquinado de la carcasa y de las tapas de esta, así como el uso de pocos tornillos; estos tornillos de preferencia de 3/8" en adelante, para evitar problemas en el maquinado.

La eficiencia depende en parte de la forma de la válvula y esta forma deberá ser desarrollada para cada tipo de Nariz de rotor en lo particular. La geometría en conjunto de ambas es tan importante que esta podría ser la causa de que el motor no funcione como tal. Se recomienda no usar muchos puertos de entrada y salida pues sólo se complica la manufactura del motor y los problemas de corto-circuito.

No se recomienda que el rotor tenga muchas narices ó un pequeño diámetro ver figura C.4, por el desplazamiento vertical misma de la válvula; pues esto incrementa el ángulo y la pendiente en la nariz lo que crea dificultad en el funcionamiento de la válvula, lo que crea un



Rotor con narices tipo "A", recomendadas para dos narices en adelante



Rotor con nariz tipo "B", recomendada cuando el rotor sólo cuenta con una nariz.

Fig. C.3 Tipos de narices según los puertos de entrada
 ξ es el valor angular del puerto de entrada ó salida
 δ es el valor angular de la suma de los puertos y el canal de la válvula deslizante.

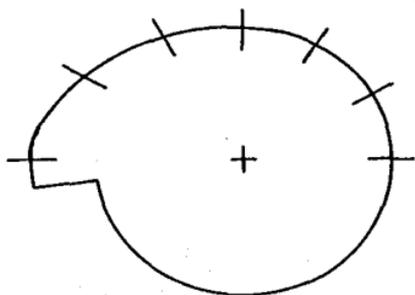
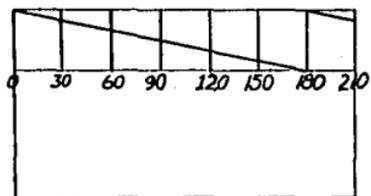
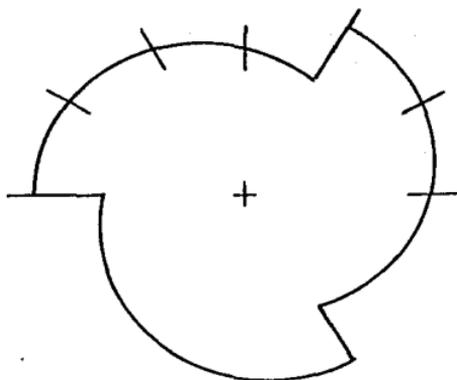
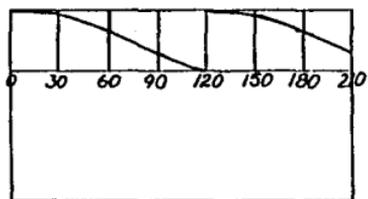
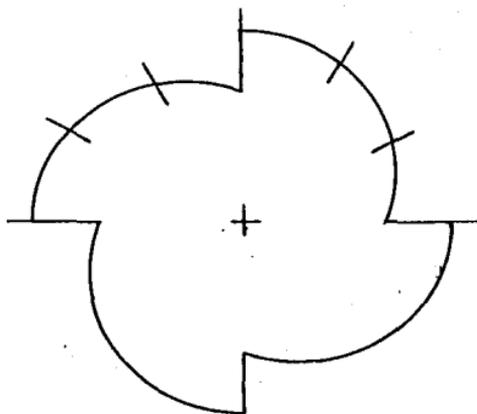
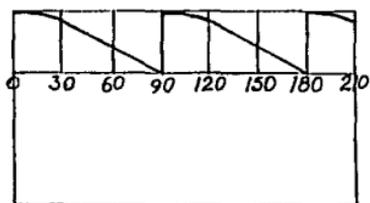


Fig. C.4 Relación de la pendiente de ascensión de la válvula con el número de narices a un mismo radio del rotor.

aparente atascamiento de la válvula contra la superficie de deslizamiento del rotor en donde la válvula toma la función de una cuña y las fuerzas de presión del fluido impiden así el movimiento.

BIBLIOGRAFIA

KENNETH Mc NAUGHTON y el cuerpo de redactores de *Chemical Engienering*. BOMBAS selección uso y mantenimiento. Mc GRAW HILL . 1987.

CLAUDIO MATAIX. MECANICA DE FLUIDOS Y MAQUINAS HIDRAULICAS. HARLA . 1978.

ROBERT C. JUVINALL. Fundamentals of Machine Component Design. John Wiley & Sons. 1983.

S. L.STRANEO Y R. CONSORTI. El dibujo Técnico Mecánico. Montaner y Simon, S.A. . 1969.

ASTME. Principios Fundamentales para el diseño de herramientas. C.E.C.S.A. 1981.

HARRY D. MOORE & DONALD R. KIBBEY. MATERIALES Y PROCESOS DE FABRICACION industria metalmecánica y de plasticos. Limusa 1987.

HEINRICH GERLING. Alrededor de las máquinas herramientas. Editorial Reverté S.A. 1964.