

T
621.8
DURc



ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL

FACULTA DE INGENIERIA EN MECANICA

"CONSTRUCCION DE UN REDUCTOR DE VELOCIDAD
TIPO SIN FIN RUEDA"

INFORME TECNICO

PREVIA A LA OBTENCION DEL TITULO DE:
INGENIERO EN MECANICA

Presentada por:

CARLOS HENRY DURAN CAMACHO

GUAYAQUIL - ECUADOR

1991

AGRADECIMIENTO

Al Ing. ERNESTO MARTINEZ G.
Director de éste Informe
Técnico, por su ayuda,
colaboración y abnegada
preocupación para que éste
trabajo concluya.

DEDICATORIA

A MIS PADRES
A MIS HERMANDOS
A MI ESPOSA
A MI HIJO

DECLARACION EXPRESA

Declaro que:

" Este informe Técnico corresponde a la resolución de un problema práctico relacionado con el perfil profesional de la Ingeniería Mecánica ".

(Reglamento de Graduación mediante la elaboración de Informes Técnicos).

CARLOS HENRY DURAN CAMACHO



ING. NELSON CEVALLOS
Decano



ING. ERNESTO MARTINEZ
Director de Informe



ING. MANUEL HELGUERO G.
Miembro Tribunal

RESUMEN

Desde el año 1.984 hasta el año 1.990, presté mis servicios en Industrias Metal Mecánica Generales (I.M.G. C. Ltda), como ayudante de ingeniería; siendo sus principales líneas de fabricación, matricería para el estampado en frío de la chapa y máquinas hidráulicas.

En el año 1.987 la Compañía CONACAL decide fabricar sanitarios con planchas de acero al carbono recubiertos con esmalte vitreo, y se ve en la necesidad de adquirir una máquina para rebabar las piezas embutidas de gran tamaño necesarias para la fabricación de los sanitarios, para evitar la adquisición de troqueles, los cuales tienen un elevado costo, por lo cual se contrata la fabricación de esta máquina a I.M.G.

Para la fabricación de esta máquina se usó como modelo una máquina ya existente en la compañía ECASA de la Ciudad de Quito. El problema principal en la construcción de la máquina para rebabar era el reductor de velocidad para una potencia de 10 HP., y una velocidad de salida aproximada

de 40 RPM, lo cual es difícil conseguir en el mercado local y la adquisición en el mercado externo tenía el problema de su elevado costo y plazo de entrega muy largo, por lo cual se me asigna el diseño y construcción de dicho reductor.

En la primera parte de este Informe Técnico, describo el funcionamiento de la máquina de rebabar, luego analizo todos los pasos necesarios para la fabricación de un reductor de velocidad tipo sinfin-rueda para 10 HP, desde el diseño, selección de materiales, elaboración de planos; así como también la fabricación y puesta en marcha del mismo. En la parte final realizo una evaluación de los costos de fabricación del reductor.

El objetivo final de trabajo es el de contribuir con el desarrollo tecnológico del país, facilitando información a profesionales dedicados a la construcción de maquinaria.

INDICE GENERAL

| | Pág. |
|--|-------|
| RESUMEN | VI |
| INDICE GENERAL | VIII |
| SIMBOLOGIA | X |
| INDICE DE FIGURAS | XIV |
| INDICE DE TABLAS | XVI |
| ANTECEDENTES | XVIII |
| | |
| CAPITULO I | 21 |
| I.- DISEÑO | 21 |
| 1.1 Selección de tipo de reductor | 23 |
| 1.2 Alternativas de solución | 26 |
| 1.3 Selección de materiales, Cálculo y dimensionamiento del tornillo sinfín y su rueda | 29 |
| 1.4 Diseño de la fresa madre para el tallado de los dientes de la rueda | 49 |
| 1.5 Selección de rodamientos y retenedores y diseño de las cajas para su alojamiento | 52 |
| 1.6 Diseño de la caja | 65 |

| | |
|---|-----|
| CAPITULO II | 67 |
| II.- PROCESOS DE FABRICACION | 67 |
| 2.1 Descripción de procesos necesarios | 67 |
| 2.2 Maquinaria necesaria y disponible para la ejecución de los procesos de de fabricación | 80 |
| CAPITULO III | 83 |
| III.- CONSTRUCCION | 84 |
| 3.1 Planos definitivos de piezas | 85 |
| 3.2 Ciclos de fabricación | 94 |
| 3.3 Selección del lubricante | 107 |
| 3.4 Montaje, Pruebas y puesta a punto | 110 |
| CAPITULO IV | 119 |
| IV.- ANALISIS DE COSTOS | 119 |
| 4.1 Costo de materiales directos e indirectos .. | 119 |
| 4.2 Costo de manufactura | 125 |
| 4.3 Costo total | 127 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 128 |
| BIBLIOGRAFIA | 130 |

SIMBOLOGIA

| | | |
|-----------|---|--|
| RPM | : | Revoluciones por minuto |
| HP | : | Caballos de potencia |
| pulg | : | pulgada |
| lb-pulg | : | libras por pulgada |
| H | : | Potencia de entrada al tornillo sinfín |
| $P_{máq}$ | : | Potencia en el eje de la máquina |
| C_1 | : | Factor por tipo de carga |
| C_2 | : | Factor por tipo de lubricación |
| D_p | : | Diámetro primitivo de la rueda |
| M | : | Módulo |
| N_g | : | Número de dientes |
| mm | : | Milímetros |
| D_e | : | Diámetro exterior de la rueda |
| D_1 | : | Diámetro sobre aristas de la rueda |
| P | : | Paso |
| π | : | Pi |
| F_g | : | Ancho de la rueda |
| n_s | : | Factor de seguridad |
| DC | : | Distancia entre centros |
| d_p | : | Diámetro primitivo del tornillo sinfín |
| d_e | : | Diámetro exterior del tornilo sinfín |

| | | |
|------------------|---|---|
| V_w | : | Velocidad de la línea de paso de tornillo sinfín |
| n | : | Velocidad del tornillo sinfín |
| V_s | : | Velocidad de deslizamiento |
| λ | : | Angulo de la hélice |
| tg^{-1} | : | Arco tangente |
| W_{gt} | : | Carga transmitida |
| K_s | : | Factor de corrección por tamaño y materiales |
| F_e | : | Ancho de cara efectivo de la rueda |
| K_m | : | Factor de corrección de relación de velocidades |
| K_v | : | Factor de velocidad |
| W_f | : | Fuerza de fricción |
| μ | : | Coefficiente de fricción |
| ϕ_n | : | Angulo de presión normal |
| m_e | : | Relación de reducción |
| d_{eq} | : | Diámetro exterior de la fresa madre |
| L_f | : | Longitud de la fresa madre |
| ND | : | Número de dientes |
| AISI | : | American Iron and Steel Institute |
| SAE | : | Society of Automotive Engineers |
| ASTM | : | American Society of Testing and Materials |
| c | : | Punto de contacto entre la rueda y el tornillo sinfín |
| a | : | Distancia desde el eje de la rueda hasta el punto de contacto |
| d | : | Distancia desde los apoyos del eje de la rueda hasta el punto de contacto |

| | | |
|-----------|---|---|
| m | : | Distancia desde los apoyos del tornillo sinfín hasta el punto de contacto |
| W | : | Fuerza resultante |
| W_x | : | Componente de W en la dirección X |
| W_y | : | Componente de W en la dirección Y |
| W_z | : | Componente de W en la dirección Z |
| W_{ga} | : | Fuerza axial en el eje de la rueda |
| W_{gr} | : | Fuerza radial en el tornillo sinfín |
| F_B | : | Fuerza resultante en el punto B |
| F_{Bz} | : | Componente radial en el punto B en dirección Z |
| F_{By} | : | Componente radial en el punto B en dirección Y |
| F_A | : | Fuerza resultante en el punto A |
| F_{Az} | : | Componente radial en el punto A en dirección Z |
| F_{Ay} | : | Componente radial en el punto A en dirección Y |
| T | : | Torque |
| F_{rA} | : | Fuerza radial resultante en el punto A |
| F_{rB} | : | Fuerza radial resultante en el punto B |
| F_a | : | Fuerza axial |
| P_e | : | Carga dinámica equivalente |
| F_r | : | Carga radial real |
| X | : | Factor radial |
| Y | : | Factor axial |
| Y_o | : | Factor axial para parejas de rodamientos |
| L_{10h} | : | Duración nominal |
| C | : | Capacidad de carga dinámica |
| N | : | Newton |
| AGMA | : | American Gear Manufacturers Association |

A_{\min} : Area mínima
cm : Centimetro
t : Tiempo
 T_0 : Temperatura
hr : Hora

INDICE DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|------|
| 1.- Esquema de la posición de trabajo del reductor .. | 23 |
| 2.- Esquema de la rueda | 36 |
| 3.- Velocidad de deslizamiento Vs coeficiente de fricción (Tomada de Diseño en Ingeniería Mecánica SHIGLEY-MITCHELL, pág., 692 | 47 |
| 4.- Esquema de la Fresa madre | 49 |
| 5.- Diagrama de fuerzas con reacciones en los apoyos del eje de la rueda | 53 |
| 6.- Esquema del conjunto tornillo sinfín-rueda | 54 |
| 7.- Gráfico para el cálculo de duración (Tomado del catálogo General de SKF, pág., 29 | 63 |
| 8.- Esquema del molde para fundir la corona de bronce sobre la manzana | 83 |
| 9.- Plano general del reductor de velocidad sinfín - rueda | 85 |
| 10.- Plano del tornillo sinfín | 86 |
| 11.- Plano del la rueda | 87 |
| 12.- Plano de cajera fija de tornillo sinfín | 88 |
| 13.- Plano de cajera fija de eje de rueda | 89 |
| 14.- Plano de cajera desmontable del tornillo sinfín . | 90 |
| 15.- Plano de cajera desmontable de eje de rueda | 91 |

| | |
|--|-----|
| 16.- Plano de eje de rueda | 92 |
| 17.- Plano de caja | 93 |
| 18.- Fresado de guía para cajera fija de tornillo sinfín | 111 |
| 19.- Punteado con soldadura de todas las cajeras | 111 |
| 20.- Tornillo sinfín con sus rulimanes y su cajera desmontable | 112 |
| 21.- Rueda con su eje, rulimanes y cajera desmontable | 113 |
| 22.- Caja con cajera fijas | 113 |
| 23.- Cajera fija de tornillo sinfín soldada | 114 |
| 24.- Cajera fija del eje de la rueda soldada | 114 |
| 25.- Gráfico t Vs T° resultado de la prueba del reductor | 117 |

INDICE DE TABLAS

| | Pág. |
|--|------|
| I.- Tipo de carga | 30 |
| II.- Tipo de lubricación | 31 |
| III.- Sinfín y rueda para diametral pitch 4 (Tomada del catálogo de marca BROWNING Nº 8, pág., 635) | 33 |
| IV.- Sinfín y rueda para diametral pitch 3 (Tomada del catálogo de marca BROWNING Nº 8, pág., 635) | 34 |
| V.- Factor de materiales K_s para mecanismos de tornillo sinfín cilíndricos (Tomada de Diseño en Ingeniería Mecánica SHIGLEY-MITCHEL, pág., 699) | 41 |
| VI.- Factor de corrección de la relación de velocidades K_m (Tomada de Diseño en Ingeniería Mecánica SHIGLEY-MITCHEL, pág., 699) | 44 |
| VII.- Factor de velocidad K_v (Tomada de Diseño en Ingeniería Mecánica SHIGLEY-MITCHEL, pág., 700) | 45 |

| | |
|---|-----|
| VIII.-Datos de tiempo y temperatura obtenidos de la prueba del reductor | 116 |
| IX.- Costo de la lista de materiales directos | 119 |
| X.- Costo de la lista de materiales indirectos | 123 |
| XI.- Horas/hombre utilizadas en la fabricación | 125 |

ANTECEDENTES

Industrias Metal Mecánica C.Ltda., es una empresa que se creó el año 1.978, siendo uno de sus objetivos más importantes en ese año el de fabricar prensas hidráulicas manuales y motorizadas; así como también grúas para uso de taller para lo cual adquirió las máquinas herramientas necesarias para su desarrollo como son: dos fresadoras, cuatro tornos, un taladro de pedestal, una limadora; así como también soldadoras, esmeriles y herramientas en general.

Todos los operarios que se seleccionaron para el funcionamiento del taller mecánico de I.M.G., fueron personas con amplia experiencia tanto en manejo de máquinas herramientas como en montaje de partes y piezas.

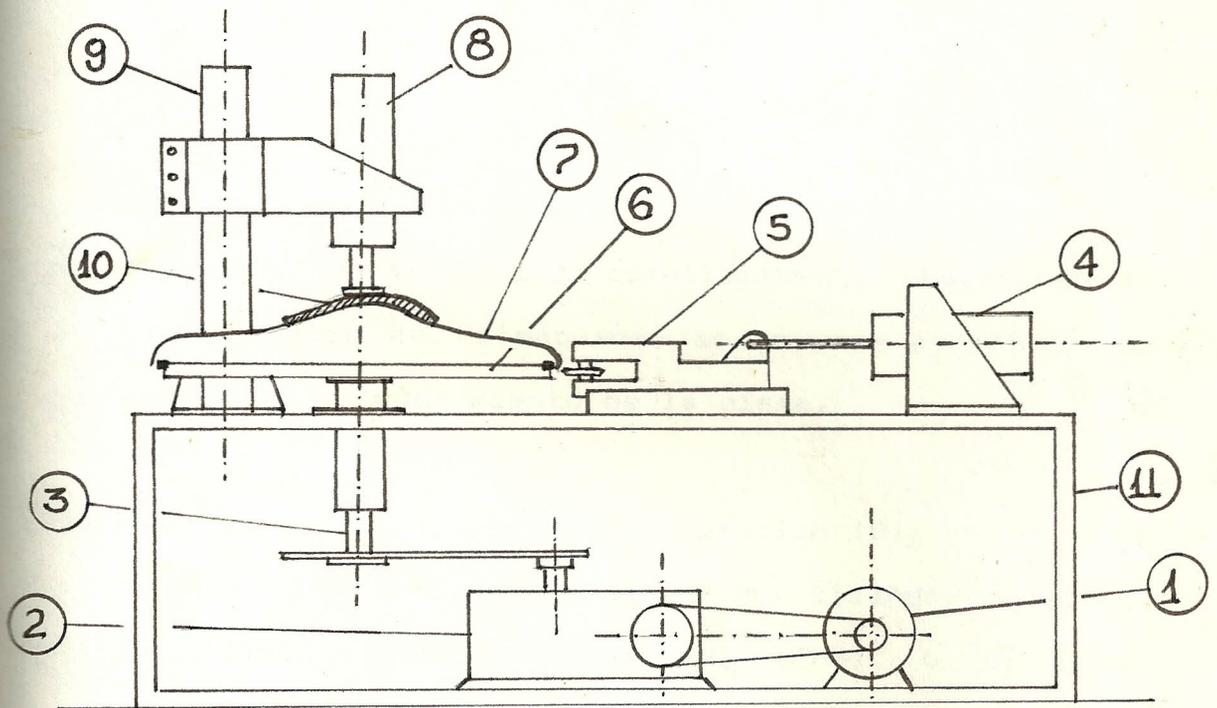
Para la fabricación de las prensas hidráulicas motorizadas se importaban los elementos hidráulicos como bombas, válvulas, etc., así como también las juntas o empaquetaduras para la fabricación local de los cilindros o actuadores tanto de simple como de doble efecto.

Luego de obtener excelentes resultados en la fabricación de éste tipo de prensas, los socios de I.M.G., deciden crear otra empresa que dé uso a sus máquinas en la fabricación de productos que se obtengan mediante el estampado en frío de la chapa; y así, nace CONACAL C. Ltda. (Convertidora de Acero y Aluminio C. Ltda.), siendo su línea de fabricación fregaderos de acero inoxidable para uso doméstico. Es así como CONACAL e I.M.G., producen en forma coordinada, siendo la segunda la encargada de fabricar la maquinaria en su mayor parte; los moldes o matrices para embutir, y los troqueles para rebabar las piezas embutidas.

En el año 1.987, CONACAL por medio de sus socios decide fabricar sanitarios en plancha de acero enlozado usando el mismo proceso de estampado en frío de la chapa y es cuando le solicitan a I.M.G., una máquina para rebabar las piezas embutidas, ya que ésta le evitará la adquisición de troqueles que son muy costosos.

Al construir la máquina por parte de I.M.G., se vió en la necesidad de fabricar un reductor de velocidad el mismo que es objeto de éste Informe Técnico.

A continuación se presenta un bosquejo de la máquina de rebabar con sus partes principales y así comprender mejor su funcionamiento y la importancia que tiene el reductor de velocidad en la misma.



Esquema de máquina de rebabar

- | | |
|---------------------------|----------------------------|
| 1.- Motor eléctrico 10 HP | 2.- Reductor sinfín -rueda |
| 3.- Eje de máquina | 4.- Cilindro neumático |
| 5.- Cortador | 6.- Matriz |
| 7.- Pieza a rebabarse | 8.- Cilindro neumático |
| 9.- Columna | 10.-Sujetador |
| 11.-Bastidor | |

CAPITULO I

DISEÑO

El principio de funcionamiento de la máquina de rebabar es el de corte de metal por cizallamiento, observando el esquema anterior de la máquina, se procede a explicar la secuencia del funcionamiento de la misma.

Teniendo el pistón del cilindro neumático (8), en su punto muerto superior (PMS), el pistón del cilindro neumático (4), totalmente hacia la derecha (PMS), y el motor eléctrico (1) apagado, se procede a montar la pieza a rebabarse (7) en la matriz (6).

La pieza (7) se fija en la matriz (6) accionando el sujetador (10) mediante el cilindro neumático (8). Ya fija la pieza se hace girar la matriz energizando el motor eléctrico (1) el cual le transmite movimiento al reductor (2) mediante bandas y poleas, y éste a su vez le transmite movimiento al eje de la máquina (3) mediante piñones y cadena, el cual debe girar a 10 R.P.M.

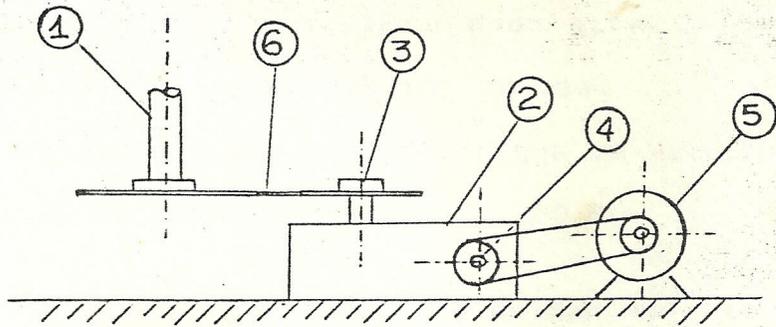
Ya puesta la pieza en movimiento, es accionado el cortador (5), por el cilindro neumático (4). Cuando la pieza termina de dar una revolución el cortador (5) es retirado hacia la derecha mediante el cilindro neumático (4), se apaga el motor (1) y luego se levanta el sujetador (10), a través del cilindro neumático (8).

Luego de esto es retirada la pieza (7) de la máquina, así como también la rebaba (sobrante de la embutición), finalizando de ésta manera un ciclo de producción.

1.1 SELECCION DEL TIPO DE REDUCTOR

Para lograr una correcta selección, se deben tener en cuenta los siguientes parámetros:

a.- Condiciones Geométricas.- Debido a que la máquina en la que va a trabajar el reductor tiene su eje motriz en una posición vertical y su toma de fuerza esta hacia abajo, el eje de salida del reductor debe estar hacia arriba (fig. #1), es decir paralelo al eje de la máquina para hacer la reducción final con piñones y cadena.



- 1.- Eje de la máquina (10 RPM)
- 2.- Reductor
- 3.- Eje salida reductor
- 4.- Eje entrada reductor
- 5.- Motor (1.750 RPM)
- 6.- Conjunto reducción final con piñones y cadenas

Fig. # 1.- Esquema de la posición de trabajo del reductor

Para facilitar el montaje del motor se elige el eje de entrada del reductor (sinfín) a 90° del eje de salida y de ésta manera el motor se lo instala con su eje paralelo al eje de entrada y con comodidad se puede hacer la primera reducción con bandas y poleas.

b.- Condiciones Técnicas de Trabajo.- En ésta parte de la selección hay que considerar los siguientes puntos:

1.- Velocidad de entrada y tipo de motor: se utilizará en la máquina un motor eléctrico de 1.750 RPM, pero como ésta debe girar a 10 RPM, debe existir una reducción inicial con bandas y poleas de 1.5 : 1, es decir que la velocidad de entrada al reductor será de 1.200 RPM.

2.- Relación de reducción de velocidad del reductor: Como necesitamos en la máquina 10 RPM de velocidad tenemos que hacer una reducción total de 175 por lo que eligiendo una relación para el reductor de 40 nos queda por reducir:

$$\frac{175}{40} = 4,375$$

reducción que se puede compartir entre la primera

(bandas y poleas) y la tercera (piñones y cadena) sin llegar a ser reducciones elevadas para estos tipos de transmisiones.

Con una relación de 40 para el reductor, que es una de las relaciones standarizadas para éste tipo de reductores, nos lleva a que el sinfín sea de una entrada o filete.

3.- Potencia y torque de salida necesario: la potencia de salida necesaria en la máquina es de 7 HP, y el torque necesario es 14.500 lb-pulg, datos que han sido obtenidos de una máquina similar.

1.2 ALTERNATIVAS DE SOLUCION

Debido a que el problema se reduce a obtener un reductor con las características antes mencionadas se puede mencionar las siguientes alternativas de solución:

- a.- Comprar un reductor localmente
- b.- Importar un reductor
- c.- Hacer una reducción total mediante sucesivas reducciones de poleas con bandas y piñones con cadena.
- d.- Comprar dos reductores y montarlos en serie
- e.- Hacer el reductor con las características geométricas y técnicas de nuestra conveniencia.

Analizando las alternativas anteriores y empezando por el literal a, comprar el reductor localmente tenía los siguientes inconvenientes:

- * Elevados precios en reductores similares
- * Características geométricas y técnicas muy diferentes.

Con respecto a la alternativa del literal b, los principales problemas eran el tiempo que tarda una importación, el precio, y además como factor

importante la fuga de divisas.

La alternativa del literal c podrá ser factible pero debido a la alta reducción que se necesitaba teníamos que montar sucesivos ejes intermedios y también el problema que la máquina tiene su eje motriz vertical.

Comprar dos reductores y montarlos en serie según la alternativa del literal d, tenía el inconveniente principal del precio y montaje.

La alternativa del literal e tenía las siguientes ventajas y desventajas:

VENTAJAS

- * Bajo Costo
- * Se posee un taller mecánico con máquinas herramientas y personal idóneo para su construcción
- * Características geométricas y técnicas según nuestra necesidad.

DESVENTAJAS

* Una de las desventajas en construirlo debido a que se haría por primera vez, es el tiempo de fabricación, pero como éste reductor y la máquina donde funcionará forma parte de un proyecto que tardaría cierto tiempo en arrancar lo cual nos da cierta libertad para la ejecución.

* Debido a que la carcasa o caja del reductor será construída en plancha de acero al carbono electrosoldada por lo cual su acabado iba a ser muy diferente al de reductores existentes en el mercado y además se debe tener mucho cuidado con el montaje de las partes para que exista un buen engrane entre el sinfín y su rueda.

Por todo el análisis de las alternativas mencionadas se tomó la decisión, la cual fué aprobada; de construir en el taller de I.M.G., el reductor de velocidad sinfín-rueda que se adaptaba a nuestros requerimientos.

1.3 SELECCION DE MATERIALES, CALCULO Y DIMENSIONAMIENTO DEL TORNILLO SINFIN Y SU RUEDA.

Para facilitar el cálculo del reductor se toma como referencia el catalogo # 8 de BROWNING, el mismo que se va a usar para encontrar el módulo y poder dimensionar el tornillo sinfín y la rueda.

Como material para la construcción de la rueda y el sinfín vamos a usar bronce y acero de cementación respectivamente, por ser los de más fácil adquisición en el mercado local.

DATOS PARA LA SELECCION

- Potencia de salida en el reductor : 7,00 HP
- Torque necesario : 14.500 lb-pulg
- Relación de reducción : 40
- Tipo de lubricación : baño de aceite
- Tipo de carga : choques fuertes

Con estos datos primero se calcula la potencia requerida a la entrada (eje del sinfín). Los factores de servicio se obtienen de las tablas I y II.

TABLA I

TIPO DE CARGA

| HORAS DE OPERACION POR DIA | FACTOR DE SERVICIO | | |
|-------------------------------|--------------------|-------------------|------------------|
| | No CHOQUE | CHOQUE LIVIANO | CHOQUE PESADO |
| 8 - 10 | 1,0 | 1,2 | 1,4 |
| 11 - 16 | 1,1 | 1,3 | 1,5 |
| 17 - 24 | 1,2 | 1,4 | 1,6 |

Nota: Tabla para escoger el factor debido al tipo de carga de acuerdo a las horas de operación y tipos de choques de la máquina (Tomada del catálogo de la marca BROWNING Nº 8, pág. 601)

TABLA II

TIPO DE LUBRICACION

| TIPO DE LUBRICACION | FACTOR DE SERVICIO |
|---------------------|--------------------|
| INTERMITENTE | 0,7 |
| GRASA | 0,4 |
| GOTEO DE ACEITE | 0,2 |
| BAÑO DE ACEITE | 0,0 |

Nota: Tabla para escoger el factor debido al tipo de lubricación del reductor (Tomada del catálogo de marca BROWNING Nº 8, pág., 601)

Observando la Tabla I, debido a que las horas de operación fluctúan entre 8 - 10 horas se obtiene un factor por el tipo de carga de 1,4.

Como el tipo de lubricación por lo general para este tipo de reductores es en baño de aceite se escoge un factor por tipo de lubricación de 0,0.

Utilizando la siguiente fórmula para hallar la potencia de entrada (H), al tornillo sinfín se tiene:

$$H = P_{ma} (C_1 + C_2) \quad \text{Fórmula 1}$$

Donde:

C_1 = Factor por tipo de carga = 1,4

C_2 = Factor por tipo de lubricación = 0,0

Entonces:

$$H = 7 \text{ HP } (1,4 + 0,0)$$

$$H \cong \underline{9.8 \text{ HP}}$$

Con los datos de potencia y torque necesarios, se recurre al catálogo de BROWNING, mostrados en las Tablas III y IV, se puede observar que para estas características técnicas el reductor a fabricarse se encuentra entre:

Diametral pitch 3 (Módulo = 8,46)

ó

Diametral pitch 4 (Módulo = 6,35.)

TABLA III

SINFIN Y RUEDA PARA DIAMETRAL PITCH 4

| NUMERO DE DIENTES DE LA RUEDA | RATIO | DISTANCIA ENTRE CENTROS | R. P. M. DE ENTRADA EN EL SINFIN | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|-------|-------------------------|----------------------------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|
| | | | 100 | | 300 | | 600 | | 900 | | 1.200 | | 1.800 | |
| | | | H.P ENTRADA | TORQUE SALIDA | H.P ENTRADA | TORQUE SALIDA | H.P ENTRADA | TORQUE SALIDA | H.P ENTRADA | TORQUE SALIDA | H.P ENTRADA | TORQUE SALIDA | H.P ENTRADA | TORQUE SALIDA |
| R O S C A S I M P L E | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 20 | 4.000 | 0.64 | 4755 | 1.43 | 4020 | 2.01 | 3070 | 2.28 | 2425 | 2.54 | 2105 | 2.97 | 1704 |
| 24 | 24 | 4.500 | 0.75 | 6675 | 1.67 | 5628 | 2.34 | 4290 | 2.65 | 3425 | 2.95 | 2938 | 3.45 | 2378 |
| 32 | 32 | 5.500 | 0.94 | 11205 | 2.10 | 9425 | 2.94 | 7205 | 3.34 | 5755 | 3.72 | 4925 | 4.35 | 3988 |
| 40 | 40 | 6.500 | 1.12 | 16529 | 2.48 | 13930 | 3.45 | 11064 | 3.95 | 8505 | 4.39 | 7265 | 5.00 | 5725 |
| 48 | 48 | 7.500 | 1.25 | 22288 | 2.79 | 19222 | 3.91 | 14343 | 4.44 | 11470 | 4.93 | 9798 | 5.77 | 8538 |
| 64 | 64 | 8.500 | 1.44 | 34231 | 3.20 | 26927 | 4.49 | 20941 | 5.11 | 17596 | 5.96 | 15076 | 6.64 | 12197 |

(Tomada del catálogo de la marca BROWNING N° 8, pág., 635)

TABLA IV
SINFIN Y RUEDA PARA DIAMETRAL PITCH 3

| NÚMERO DE DIENTES DE LA RUEDA | RATIO | DISTANCIA ENTRE CENTROS | R. P. M. DE ENTRADA EN EL SINFIN | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|-------|-------------------------|----------------------------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| | | | 100 | | 300 | | 600 | | 900 | | 1.200 | | 1.800 | |
| | | | H.P. ENTRADA | TORQUE SALIDA | H.P. ENTRADA | TORQUE SALIDA | H.P. ENTRADA | TORQUE SALIDA | H.P. ENTRADA | TORQUE SALIDA | H.P. ENTRADA | TORQUE SALIDA | H.P. ENTRADA | TORQUE SALIDA |
| R O S C A S I M P L E | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | 18 | 5.000 | 1,24 | 8550 | 2,57 | 6790 | 3,37 | 4845 | 3,96 | 3890 | 4,38 | 3350 | 5,11 | 2662 |
| 24 | 24 | 6.000 | 1,58 | 14550 | 3,27 | 11520 | 4,29 | 8220 | 5,03 | 7135 | 5,57 | 5775 | 6,48 | 4515 |
| 30 | 30 | 7.000 | 1,88 | 21600 | 3,91 | 17220 | 5,13 | 12290 | 6,00 | 9805 | 6,71 | 8555 | 7,74 | 6735 |
| 36 | 36 | 8.000 | 2,17 | 30126 | 4,49 | 23767 | 5,91 | 16956 | 6,89 | 13583 | 7,72 | 11804 | 8,90 | 9311 |
| 48 | 48 | 10.000 | 2,64 | 48521 | 5,45 | 38497 | 7,22 | 27713 | 8,32 | 21755 | 9,36 | 19075 | 10,80 | 15056 |
| 54 | 54 | 11.000 | 2,77 | 59319 | 5,75 | 45589 | 7,66 | 33218 | 8,82 | 25994 | 9,92 | 22741 | 11,45 | 17929 |

Nota: (Tabla III y IV): Tablas para escoger el módulo (M) necesario para los cálculos del reductor (Tomada del catálogo de la marca BROWNING N° 8, pág., 635)

Con éstos datos obtenidos se escoge un diametral pitch 3,628 (Módulo = 7).

Con todos los valores obtenidos se procede a calcular el tamaño de la rueda:

$$D_p = M * N_g \quad (\text{Fórmula 2})$$

Donde:

D_p = Diámetro primitivo

M = Módulo

N_g = Número de dientes

Entonces:

$$D_p = 7 * 40$$

$$D_p = 280 \text{ mm}$$

Luego se calcula el diámetro exterior (D_e):

$$D_e = (N_g + 2) * M \quad (\text{Fórmula 3})$$

$$D_e = (40 + 2) * 7$$

$$D_e = 294 \text{ mm}$$

Diámetro mayor sobre aristas (D_1): Observar fig. # 2

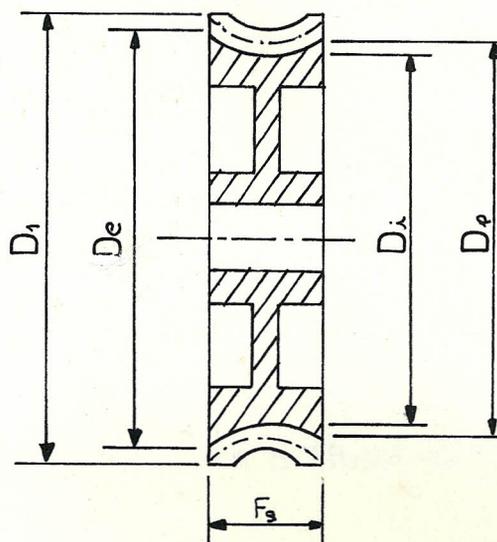


Fig. # 2 .- Esquema de la rueda

$$D_1 = D_e + (0,4775 * P) \quad (\text{Fórmula 4})$$

Donde:

$$P = \text{Paso} = M * \pi \quad (\text{Fórmula 5})$$

Reemplazando 5 en 4 se obtiene :

$$D_1 = D_e + (0,4775 * M * \pi) \quad (\text{Fórmula 6})$$

$$D_1 = 294 + (0,4775 * 7 * 3,1415)$$

$$\underline{D_1 = 304,5 \text{ mm}}$$

El ancho de la rueda se lo calcula mediante la siguiente fórmula:

$$F_g = (2,38 * P) + 6 \quad (\text{Fórmula 7})$$

Reemplazando P:

$$F_g = (2,38 * M * \pi) + 6 \quad (\text{Fórmula 8})$$

$$F_g = (2,38 * 7 * 3,1415) + 6 =$$

$$F_g = 58,33 \text{ mm}$$

Utilizando un factor de seguridad $n_s = 1,2$, se tiene:

$$F_g = 58,33 * 1,2 = 70 \text{ mm}$$

Por razones geométricas y por tener a disposición en el taller plancha de acero al carbono ASTM-A36 de 3 pulg., de espesor (76 mm), se decide fabricar la manzana de la rueda de este material, lo cual permite bajar el costo de fabricación ya que solo se funde una corona de bronce.

Puesto que no hay relación con el número de dientes de la rueda, el tornillo sinfín puede tener cualquier diámetro de paso; sin embargo, éste debe ser igual al de paso del cortador (fresa madre) utilizado para formar los dientes del engrane del gusano.

Teniendo como referencia el tamaño de la rueda, se procedió al dimensionamiento del tornillo sinfín, y tomando como distancia entre centros (DC) de 181 mm.

$$DC = \frac{D_p + d_p}{2} \quad (\text{Fórmula 9})$$

Donde:

d_p = Diámetro primitivo del tornillo sinfín

Despejando de fórmula 9 se tiene:

$$d_p = 2 * DC - D_p \quad (\text{Fórmula 10})$$

$$d_p = 2 * 181 - 280 =$$

$$\underline{d_p = 82 \text{ mm}}$$

Finalmente se procede a calcular el diámetro exterior (d_e), del sinfín:

$$d_e = d_p + 2 * M \quad (\text{Fórmula 11})$$

$$d_e = 82 + 2 * 7 =$$

$$d_e = 96 \text{ mm}$$

CALCULO DE LA CAPACIDAD DE POTENCIA

A continuación se procede a calcular la capacidad de potencia del reductor, a manera de comprobación; bajo las condiciones de trabajo previamente establecidas.

Para facilitar el cálculo y utilizando las siguientes tablas y figuras, se trabaja en unidades inglesas.

Fórmulas a utilizarse

* Velocidad en la línea de paso del sinfín (V_w)

$$V_w = \frac{\pi d_p n}{12} \quad (\text{Fórmula 12})$$

Donde:

n = velocidad del sinfín en RPM

* Velocidad de deslizamiento (V_s)

$$V_s = \frac{V_w}{\cos \lambda} \quad (\text{Fórmula 13})$$

Donde:

λ = ángulo de la hélice

$$\lambda = \text{tg}^{-1} \frac{P}{\pi d_p} \quad (\text{Fórmula 14})$$

* Carga transmitida (W_{gt})

$$W_{gt} = K_s D_p^{0.8} F_e K_m K_v \quad (\text{Fórmula 15})$$

Donde:

K_s : Factor de corrección por tamaño y materiales

F_e : Ancho de cara efectivo de la rueda

K_m : Factor de corrección de la relación de velocidades

K_v : Factor de velocidad

* Fuerza de Fricción (W_f)

$$W_f = \frac{\mu W_{gt}}{\mu \text{Sen} \lambda - \text{Cos} \phi_n \text{Cos} \lambda} \quad (\text{Fórmula 16})$$

Donde:

μ : Coeficiente de fricción

ϕ_n : Angulo de presión normal (14,5°)

* Potencia de entrada al tornillo (H)

$$H = \frac{W_{gt} D_p n}{12.600 m_g} + \frac{V_e W_f}{33.000} \quad (\text{Fórmula 17})$$

Donde:

m_g : relación de reducción

$$m_g = \frac{N_g}{\# \text{ entradas sinfín}} \quad (\text{Fórmula 18})$$

DESARROLLO DEL CALCULO

De la tabla V con el ancho de cara de la rueda F_g
Se obtiene K_m

$$F_g = 70 \text{ mm} / 25,4 = 2,75 \text{ pulg}$$

$$K_m = 700$$

TABLA V

FACTOR DE MATERIALES K_m PARA MECANISMOS DE TORNILLOS
SINFIN CILINDRICOS

| ANCHO DE CARA DEL ENGRANE F_g (pulg) | BRONCE DE COLADO EN ARENA | BRONCE DE COLADO FRIO ESTATICO | BRONCE DE COLADO CENTRIFUGO |
|--|---------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| HASTA 3 | 700 | 800 | 1000 |
| 4 | 665 | 780 | 975 |
| 5 | 640 | 760 | 940 |
| 6 | 600 | 720 | 900 |
| 7 | 570 | 680 | 850 |
| 8 | 530 | 640 | 800 |
| 9 | 500 | 600 | 750 |

(Tomada de Diseño en Ingeniería Mecánica SHIGLEY-MITCHELL

pág., 699)

Para calcular la velocidad de línea de paso V_w con la fórmula 12, se procede a obtener el diámetro primitivo del sinfín en pulgadas.

$$d_p = 82 / 25,4$$

$$d_p = 3,23 \text{ pulg}$$

Entonces utilizando fórmula 12 se tiene:

$$V_w = \frac{\pi (3,23) (1.200)}{12}$$

$$V_w = 1.014,7 \text{ pie/min}$$

Por medio de la fórmula 14 se calcula el ángulo de la hélice (λ), obteniéndose previamente el paso en pulgadas.

$$P = 21,99 / 25,4$$

$$P = 0,865 \text{ pulg.}$$

$$\lambda = \text{tg}^{-1} \frac{0,865}{\pi * 3,23}$$

$$= 4,872^\circ$$

Con fórmula 13 se obtiene la velocidad de deslizamiento V_m .

$$V_m = \frac{1.014,7}{\cos 4,872}$$

$$V_m = 1.018,38 \text{ pie/min}$$

Con fórmula 18

$$m_e = \frac{40}{1} = 40$$

Con este valor de m_e , de la tabla VI, se encuentra que $K_m = 0,815$

TABLA VI

FACTOR DE CORRECCION DE LA RELACION DE VELOCIDADES K_m

| RELACION | | RELACION | | RELACION | |
|----------|-------|----------|-------|----------|-------|
| m_e | K_m | m_e | K_m | m_e | K_m |
| 3.0 | 0.500 | 8.0 | 0.724 | 30.0 | 0.825 |
| 3.5 | 0.554 | 9.0 | 0.744 | 40.0 | 0.815 |
| 4.0 | 0.593 | 10.0 | 0.760 | 50.0 | 0.785 |
| 4.5 | 0.620 | 12.0 | 0.783 | 60.0 | 0.745 |
| 5.0 | 0.645 | 14.0 | 0.799 | 70.0 | 0.687 |
| 6.0 | 0.679 | 16.0 | 0.809 | 80.0 | 0.622 |
| 7.0 | 0.706 | 20.0 | 0.820 | 100.0 | 0.490 |

(Tomada de Diseño en Ingeniería Mecánica SHIGLEY-
MITCHELL, pág., 699)

Con $V_m = 1.018,38$ pie/min, interpolando de la tabla
VII, se obtiene $K_v = 0,255$

TABLA VII

FACTOR DE VELOCIDAD K_v

| VELOCIDAD V_m pie/min | K_v | VELOCIDAD V_m pie/min | K_v | VELOCIDAD V_m pie/min | K_v |
|----------------------------|-------|----------------------------|-------|----------------------------|-------|
| 1 | 0.649 | 300 | 0.472 | 1400 | 0.216 |
| 1.5 | 0.647 | 350 | 0.446 | 1600 | 0.200 |
| 10 | 0.644 | 400 | 0.421 | 1800 | 0.187 |
| 20 | 0.638 | 450 | 0.398 | 2000 | 0.175 |
| 30 | 0.631 | 500 | 0.378 | 2200 | 0.165 |
| 40 | 0.625 | 550 | 0.358 | 2400 | 0.156 |
| 60 | 0.613 | 600 | 0.340 | 2600 | 0.148 |
| 80 | 0.600 | 700 | 0.310 | 2800 | 0.140 |
| 100 | 0.588 | 800 | 0.289 | 3000 | 0.134 |
| 150 | 0.558 | 900 | 0.269 | 4000 | 0.106 |
| 200 | 0.528 | 1000 | 0.258 | 5000 | 0.089 |
| 250 | 0.500 | 1200 | 0.235 | 6000 | 0.079 |

(Tomada de Diseño en Ingeniería Mecánica SHIGLEY-
MITCHELL, pág., 700)

Usando la fórmula 15 se calcula la carga transmitida, obteniendo previamente el diámetro primitivo de la rueda en pulgadas.

$$D_p = 280 / 25,4 = 11,02 \text{ pulg.}$$

Entonces:

$$W_{gt} = 700 * (11,02)^{0,8} * (2,75) * (0,815) * (0,255)$$

$$W_{gt} = 2.728,18 \text{ lb}$$

En la figura 3, se encuentran los valores representativos del coeficiente de fricción para mecanismos de sinfín basados en una buena lubricación. La curva B, es para materiales de alta calidad, por ejemplo, un sinfín con temple de superficie conectado a un engrane de bronce fosforado. La curva A se emplea cuando es de esperar mayor fricción, como en el sinfín y engrane de hierro colado.

De la figura 2 con $V_m = 1.018,38 \text{ pie/min}$, y usando la curva A se obtiene el coeficiente de fricción (μ) = 0,035.

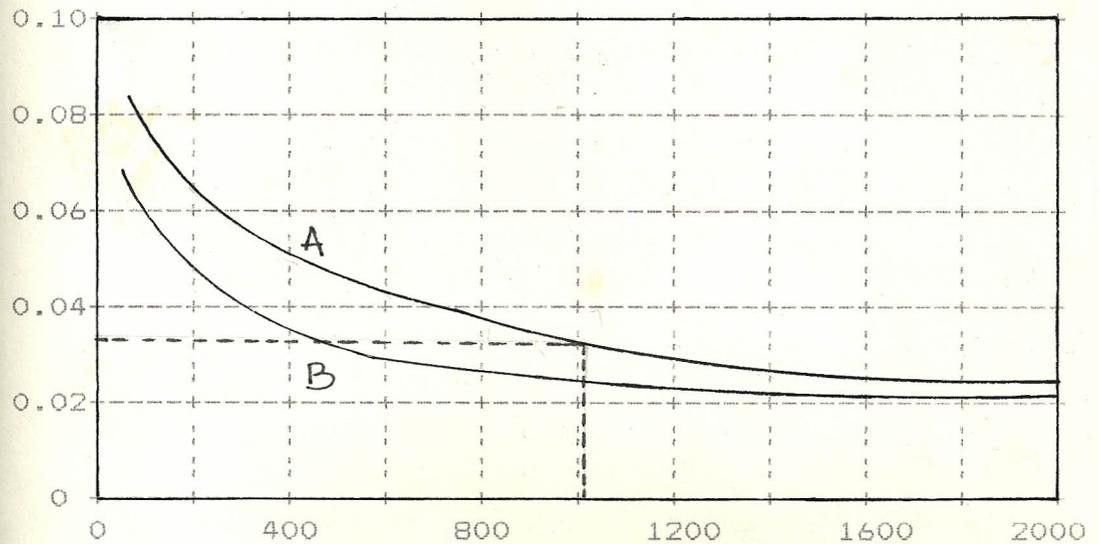


Fig # 3.- Velocidad de deslizamiento Vs Coeficiente de fricción (Tomada de Diseño en Ingeniería Mecánica SHIGLEY-MITCHELL, pág., 692)

Con la fórmula 16 se procede a calcular la fuerza de fricción:

$$W_r = \frac{0,035 * 2.728,18}{0,035 * \text{Sen } 4,872 - \text{Cos } 14,5 * \text{Cos } 4,872}$$

$$W_r = - 99,29 \text{ lb}$$

Finalmente se procede a calcular la potencia de entrada al tornillo sinfín mediante la fórmula 17.

$$H = \frac{2.728,18 * 11,02 * 1.200}{126.000 * 40} + \frac{1.018,38 * 99,29}{33.000}$$

$$H = 7,16 + 3,06 = 10,22 \text{ HP}$$

Siendo el primer término (7,16 HP), la potencia de salida de la rueda.

Con esto se comprueba que el reductor de velocidad puede transmitir 10 HP de potencia, bajo las condiciones establecidas.

1.4 DISEÑO DE LA FRESA MADRE PARA EL TALLADO DE LOS DIENTES DE LA RUEDA

A causa de la curvatura de las superficies exteriores y de la forma de las superficies de contacto, la acción del diente es compleja. Los detalles de la forma del perfil, dependen del método de talla de las guías, y los dientes de la rueda deben ser fresados mediante una fresa madre (fig. # 4) cuyas dimensiones se adapten a las del tornillo sinfín, por lo cual las dimensiones de la misma, en cuanto a paso, y perfil de la rosca, deben ser iguales a las del tornillo sinfín. Las otras dimensiones se la calculan a continuación.



Fig. # 4.- Esquema de la Fresa Madre

* Diámetro exterior (d_{er})

$$d_{er} = d_e + \frac{F}{10} \quad (\text{Fórmula 19})$$

$$d_{er} = 96 + \frac{7 * \pi}{10}$$

$$d_{er} = 98 \text{ mm}$$

* Longitud de la fresa (L_r)

$$L_r = P \left(4,5 + \frac{N}{50} \right) \quad (\text{Fórmula 20})$$

$$L_r = 7 (\pi) \left(4,5 + \frac{40}{50} \right)$$

$$L_r = 116 \text{ mm}$$

* Número de dientes de la fresa (ND)

$$ND = \frac{d_{er} * 3}{2 P} \quad (\text{aprox}) \quad (\text{Fórmula 21})$$

$$ND = \frac{98 * 3}{2 (7) (\pi)}$$

$$ND = 6,6 \approx 7 \text{ dientes}$$

Para la construcción de la fresa madre se usará acero marca ASSAB-XW5 (AISI D6 - SAE D3).

1.5 SELECCION DE RODAMIENTOS Y RETENEDORES Y DISEÑO DE LAS CAJERAS PARA SU ALOJAMIENTO

Para tener como referencia en la selección de rodamientos se usa el catálogo SP-79 de la marca MORSE, el cual en la página F-96, muestra un reductor de velocidad de iguales características al que se construiría.

En éste catálogo se observa que el diámetro del eje de entrada es 1,75 pulg. (44,45 mm), y el diámetro del eje de salida es 2,75 pulg. (69,85 mm). Con estos antecedentes se seleccionó para el eje de entrada el diámetro de 46 mm y para el eje de salida el diámetro de 70 mm.

En el diseño de maquinaria, los ejes para la toma o transmisión de potencia, antes de su extremo llevan un hombro como tope para la pieza que se monta en le mismo por lo cual los rodamientos para el tornillo sinfín deben tener un diámetro de agujero igual a 50 mm, y los rodamientos para el eje de la rueda deben tener un diámetro de agujero igual a 75 mm.

Los rodamientos adecuados para éste tipo de reductores son los de rodillos cónicos debido a que se generan tanto fuerzas axiales como radiales.

ANALISIS DE FUERZAS

Considerando que sólo se tiene definido el diámetro de los agujeros es necesario hacer un análisis de fuerzas mediante un diagrama (fig # 5), para así seleccionar dentro de la familia de rodamientos con esos diámetros de agujeros el más adecuado.

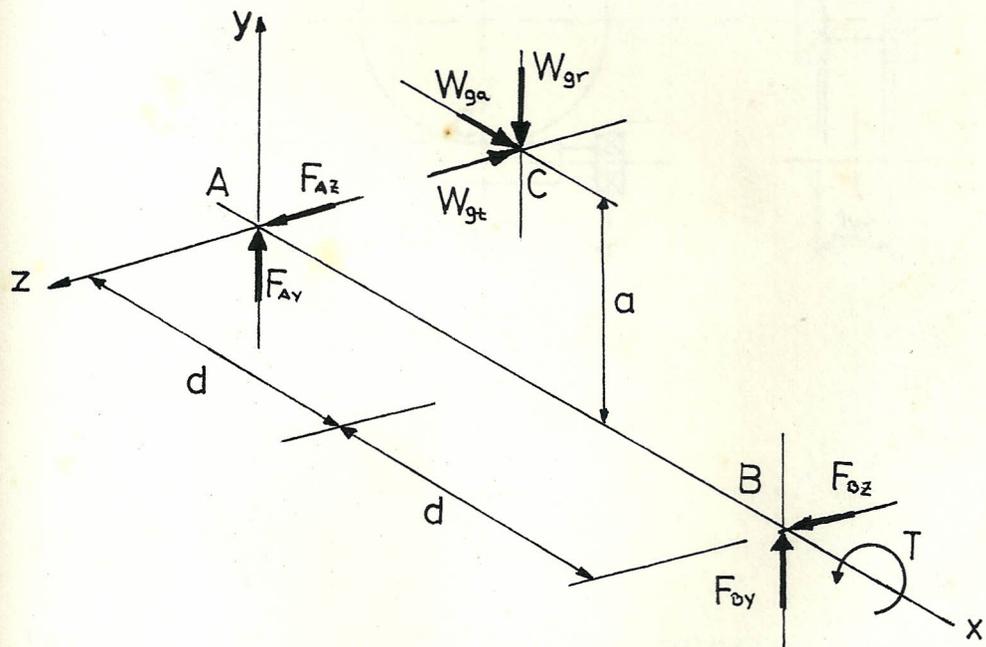


Fig. # 5.- Diagrama de fuerzas con reacciones en los apoyos del eje de la rueda

Para obtener las distancias d y a , se bosqueja en la figura 6 el conjunto tornillo sinfín-rueda, usando para el efecto sus diámetros primitivos.

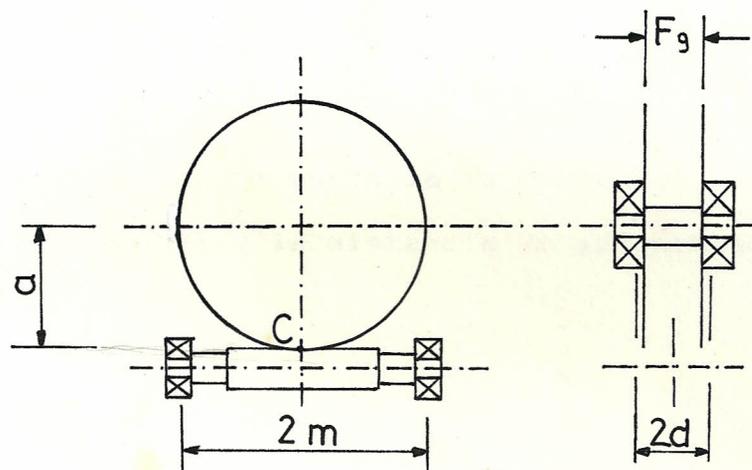


Fig. # 6 .- Esquema del conjunto tornillo sinfín-rueda

Observando la figura 6, la distancia a es tomada desde el eje de la rueda hasta el punto de contacto c de ésta con el sinfín.

Entonces:

$$a = \frac{D_p}{2} \quad (\text{Fórmula 22})$$

$$a = \frac{280}{2}$$

$$a = 140 \text{ mm (5,51 pulg)}$$

Como $F_e = 70 \text{ mm}$, se aproxima la distancia $2d$ a $79,37 \text{ mm}$ ($3 \frac{1}{8} \text{ pulg}$); y la distancia $2m$ aproximada es 254 mm (10 pulg).

De la figura 5 se tiene que :

$$W_{\theta t} = - W_z = 2728,18 \text{ lb}$$

Con esta fuerza se procede a calcular la fuerza resultante (W) para luego calcular las otras componentes.

$$W_z = W (\cos \phi_n \cos \lambda - \mu \text{ Sen } \lambda) \quad (\text{Fórmula 23})$$

Despejando W se tiene:

$$W = \frac{W_z}{\cos \phi_n \cos \lambda - \mu \text{ Sen } \lambda} \quad (\text{Fórmula 24})$$

$$W = \frac{2728,18}{\cos 14,5 \cos 4,876 - 0,035 \sin 4,876}$$

$$W = 2837,03 \text{ lb}$$

$$W_x = W (\cos \phi_n \sin \lambda + \mu \cos \lambda) \quad (\text{Fórmula 25})$$

$$W_x = 2837,03 (\cos 14,5 \sin 4,876 + 0,035 \cos 4,876)$$

$$W_x = 331,57 \text{ lb}$$

$$W_y = W \sin \phi_n \quad (\text{Fórmula 26})$$

$$W_y = 2837,03 \sin 14,5$$

$$W_y = 710,33 \text{ lb}$$

Como se observa en la figura 3

$$W_{ga} = -W_x = 331,57 \text{ lb}$$

$$W_{gr} = -W_y = 710,33 \text{ lb}$$

Sumando fuerzas con respecto al eje x se tiene:

$$F_{Bx} = W_{ga}$$

$$F_{Bx} = 331,57 \text{ lb}$$

Tomando momentos con respecto al eje z se tiene:

$$- W_{ga} * 5,51 - W_{gr} * 1,56 + 3,125 F_{By} = 0$$

Despejando F_{By} se tiene:

$$F_{By} = \frac{5,51 W_{ga} + 1,56 W_{gr}}{3,125}$$

$$F_{By} = \frac{5,51 * 331,57 + 1,56 * 710,33}{3,125}$$

$$F_{By} = 939,22 \text{ lb}$$

Tomando momentos con respecto al eje y se tiene:

$$W_{gt} (1,56) - F_{Bz} (3,125) = 0$$

De donde:

$$F_{Bz} = \frac{1,56 W_{gt}}{3,125}$$

$$F_{Bz} = 1362 \text{ lb}$$

Sumando fuerzas en la dirección y se tiene:

$$- W_{gr} + F_{By} + F_{Ay} = 0$$

De donde:

$$F_{Ay} = W_{gr} - F_{By}$$

$$F_{Ay} = 710,33 - 939,22$$

$$F_{Ay} = - 228,89 \text{ lb}$$

Sumando fuerzas en la dirección z se tiene:

$$- W_{gt} + F_{Bz} + F_{Az} = 0$$

De donde:

$$F_{Az} = W_{gt} - F_{Bz}$$

$$F_{Az} = 2728,18 - 1362$$

$$F_{Az} = 1366,18 \text{ lb}$$

Finalmente se puede calcular el torque de salida (T), sumando momentos con respecto al eje x.

$$- W_{gt} * 5,51 + T = 0$$

Entonces:

$$T = W_{gt} * 5,51$$

$$T = 15.032,27 \text{ lb-pulg.}$$

Para la selección de los rodamientos se obtienen las fuerzas resultantes radiales en cada uno de los apoyos.

$$F_A = \sqrt{F_{Ay}^2 + F_{Az}^2} \quad (\text{Fórmula 27})$$

$$F_A = \sqrt{(228,89)^2 + (1.366,18)^2}$$

$$F_A = F_{rA} = 1.385,22 \text{ lb}$$

$$F_B = \sqrt{F_{By}^2 + F_{Bz}^2} \quad (\text{Fórmula 28})$$

$$F_B = \sqrt{(939,22)^2 + (1.362)^2}$$

$$F_B = F_{rB} = 1.654,44 \text{ lb}$$

La fuerza axial en le eje de la rueda es:

$$F_{Bx} = W_{ga}$$

$$F_a = 331,57 \text{ lb}$$

Como éste tipo de reductores generalmente se seleccionan iguales rodamientos para los dos apoyos, se toma como fuerza radial la mayor de las dos, siendo en éste caso F_{rB} .

Se procede luego a calcular la carga dinámica equivalente, para lo cual se usa el catálogo de rodamientos de la marca SKF, y así se tiene:

$$P_e = X F_r + Y F_a \quad (\text{Fórmula 29})$$

Donde:

P_e = Carga dinámica equivalente

F_r = Carga radial real

X = Factor radial

Y = Factor axial

Usando para el eje de la rueda el rodamiento más

pequeño de la serie con diámetro de agujero igual a 75 mm, es decir el rodamiento # 32015, de la tabla del catálogo se tiene:

$$Y_0 = 0,7$$

$$X = 0,5$$

Reemplazando valores se obtiene:

$$P_e = 0,5 (1.654,44) + 0,7 (331,57)$$

$$P_e = 1.059,3 \text{ lb}$$

Como $P_e < F_r$ para la selección se usa el valor de F_r .

Usando la figura 7 obtenida del catálogo de SKF para una duración nominal L_{10h} mínima de 100.000 horas de servicio se tiene $C/P_e \approx 5$

Donde:

C = capacidad de carga dinámica

Entonces:

$$C = P_e * 5$$

$$C = 1.654,44 * 5$$

$$C = 8.272,2 \text{ lb}$$

Para poder seleccionar el rodamiento del catálogo se convierte la capacidad de carga dinámica C a Newton (N).

$$C = 36.866 \text{ lb}$$

Como se observa en las tablas de rodamientos de rodillo cónicos de SKF, hay muchos rodamientos con diámetros a agujeros más pequeños de diámetro 75 mm, que soportan carga la calculada, lo cual significa que la selección de éstos se la debe hacer en base las dimensiones de ejes según el catálogo de la marca MORSE, debido a que si se montan rodamientos más pequeños, los ejes pueden fallar por esfuerzos.

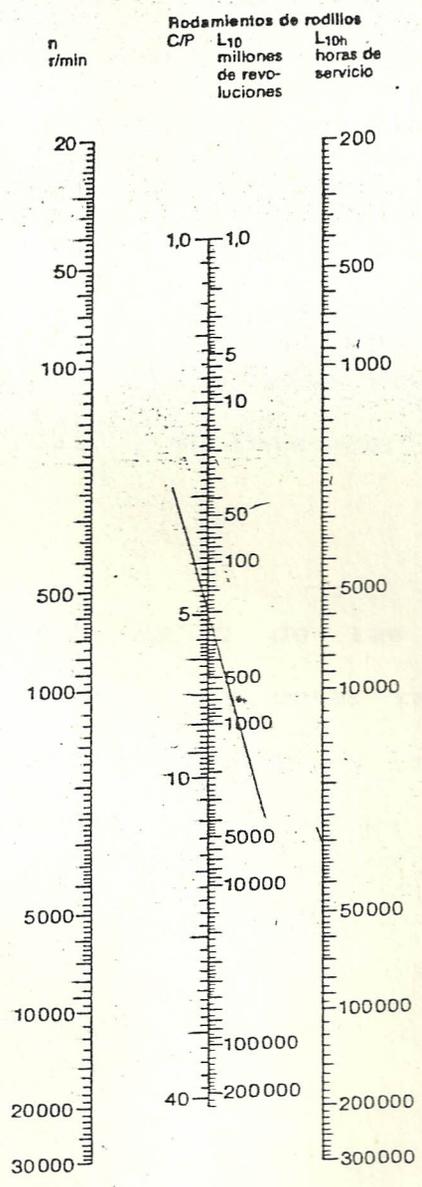


Fig. # 7 .- Gráfico para el cálculo de duración
(tomado del catálogo general de SKF, pág., 29)

Como se menciona anteriormente los rodamientos para el eje de la rueda deben tener un agujero con diámetro 75 mm y debido a la disponibilidad en el mercado local se usa el rodamiento de rodillos cónicos con designación # 32215 y un retenedor para el eje diámetro 75 * diámetro 90 * 8 mm.

Para el sinfín se seleccionan rodamientos con la designación # 33210 y un retenedor \varnothing 50 * \varnothing 75 * 10 mm.

Para el dimensionamiento de las cajas de los rodamientos se usarán las cotas recomendadas en el catálogo para estos rodamientos y los alojamientos de los retenedores están dados por su diámetro exterior y su ancho o espesor.

1.6 DISEÑO DE LA CAJA

Si la caja de engranajes se calienta con exceso, la película de lubricante se puede adelgazar demasiado y cortarse dando lugar a que se establezca el contacto directo entre las superficies.

Cuando esto ocurre, el rozamiento aumenta, se generará más calor y, finalmente, se produce una seria abrasión y escariación.

En muchas circunstancias la capacidad de transmisión de potencia está determinada por la capacidad radiante de la caja o cárter, capacidad que a su vez depende de las condiciones ambientales.

La máxima temperatura del lubricante no debe exceder, a ser posible, de 88 °C. Para reductores de velocidad de engranajes de tornillo sinfín de servicio pesado, la AGMA recomienda un área mínima (A_{min}) de envoltura de:

$$A_{min} = 57,25 DC^{1,7} \text{ (cm}^2\text{)} \quad \text{(Fórmula 30)}$$

Con $DC = 18,1$ cm se tiene:

$$A_{mín} = 57,25 (18,1)^{1,7}$$

$$A_{mín} = 7867 \text{ cm}^2$$

De acuerdo al tamaño de la rueda y el tornillo sinfín, considerando también la distancia entre centros del par de reducción se puede estimar un tamaño de caja con las siguientes dimensiones:

Longitud = 52 cm

Ancho = 38 cm

Altura = 22 cm

Estas dimensiones pueden variar un poco cuando se hagan los planos definitivos del reductor.

CAPITULO II

PROCESOS DE FABRICACION

2.1 DESCRIPCION DE LOS PROCESOS NECESARIOS

La fabricación de un producto requiere herramientas y máquinas que puedan producir económicamente y con precisión. Lo económico depende en gran parte de la correcta selección de la máquina o del proceso, que proporcionen un producto terminado, satisfactorio.

La selección queda influenciada a su vez, por la cantidad de artículos que habrán de producirse. Generalmente existe una máquina adecuada para cierta producción.

En la fabricación de lotes pequeños o piezas hechas a la orden, la mejor solución puede ser la máquina de objetivo general, como el torno, taladro y cepillo; puesto que son adaptables, tienen un costo inicial bajo, requieren menos mantenimiento y poseen la

flexibilidad necesaria para adaptarse a las condiciones variables de taller.

El trabajo de los metales se puede clasificar con diferentes tipos de procesos, muchos de los cuales, con algunas modificaciones, son aplicables a la mayoría de los materiales no metálicos.

CLASIFICACION DE PROCESOS EN EL TRABAJO DE METALES

A.- Procesos usados para cambiar la forma del material.

B.- Procesos usados para labrar partes a dimensiones fijas.

1.- Arranque de viruta

2.- Labrado electrónico o químico

C.- Procesos para obtener acabado en las superficies

1.- Arranque de metal

2.- Pulimento

3.- Recubrimiento

D.- Procesos para unir partes o materiales

E.- Procesos usados para cambiar las propiedades físicas

PROCESOS A UTILIZARSE EN LA FABRICACION DE CADA UNA DE LAS PIEZAS COMPONENTES DEL REDUCTOR DE VELOCIDAD

Luego de tener la lista general de procesos de fabricación que se van a usar en la construcción se procede a describir la secuencia de fabricación de las piezas y los procesos utilizados para el efecto.

TORNILLO SINFIN .-

CORTE.- Para hacer el tornillo sinfín, se parte de un eje de acero (SAE 4337) sobre medida tanto en diámetro como en longitud, por lo tanto se usa el corte en la sierra alternativa dejándole exceso en su longitud. Es preferible pedir al proveedor el eje de acero con 3 ó 5 mm. de exceso en su longitud y así no desperdiciar material y ganar tiempo evitando el corte de sierra.

TORNEADO.- En éste proceso el eje de acero primero es refrentado a la longitud final y luego se le hace centros con la broca de centros para montarlo entre puntos. Ahora se procede al cilindrado de puntas de ejes, asientos para rodamientos, diámetro exterior del tornillo y finalmente el perfilado de la rosca para lo cual es conveniente hacer una plantilla con la forma del diente para comprobar.

FRESADO.- En esta operación se procede a hacer el chavetero del eje utilizando una fresa frontal con la medida del ancho del chavetero.

TRATAMIENTO TERMICO.- El tornillo sinfín debe tener una superficie dura, para lo cual se realiza el tratamiento térmico de cementación.

PULIDO.- Una vez tratada térmicamente la superficie del tornillo, se procede a pulir en el torno, montándolo entre puntos. El pulido se lo hace a mano usando lija fina.

FRESA MADRE

TORNEADO.- El acabado de la superficie de los dientes de la rueda depende únicamente del tipo de acabado que se le dé a la fresa madre.

La fabricación de la fresa madre se la inicia partiendo de un eje de acero especial para herramientas XW5 (AISI D6). Se monta en el torno el pedazo de acero el cual debe tener 2 cm. de exceso en su longitud para poder cogerlo en el choque. Se cilindra y refrenta una cara y se hace un hueco a la medida del mandríl que se va usar en la fresadora. Ahora se procede al perfilado de la rosca igual que

el tornillo sinfín, luego se monta la pieza en el torno por la cara ya refrentada y se procede a refrentar la otra, dándole la longitud final.

FRESADO.- Con una fresa de disco se procede a hacer el destalonado de la fresa madre, creándole los dientes de corte y con una fresa frontal, a cada diente se le hace la salida del corte. Luego se desprende las rebabas con una lima.

TRATAMIENTO TERMICO.- Una vez terminada la fresa madre se procede a templar el acero con una dureza aproximada de 60 Rc.

PULIDO.- El pulido de la fresa madre se lo hace a mano en una mesa, con lija. Este pulido consiste básicamente en retirar de la superficie de los dientes las impurezas producto del tratamiento térmico.

RUEDA

TORNEADO.- Para la fabricación de la rueda primero es necesario fabricar la manzana de la misma, partiendo de un disco de plancha de acero (ASTM A36), en el cual se cilindra el canal exterior, refrentado de sus

caras y cilindrado del agujero (\varnothing 1 1/2 pulg.), que va servir de guía para el futuro proceso de vaciado.

SOLDADURA.- Para evitar que la corona de bronce patine sobre la manzana de acero cuando esté funcionando el reductor, es necesario soldarle en su canal exterior pedazos de varilla cuadrada (6 ó 8) con sus aristas redondeadas, para evitar tensiones internas en el bronce al momento de solidificarse.

VACIADO.- Para realizar este proceso se procede a elaborar una matriz que consiste en una placa base y un anillo rolado soldado a ésta y un pín de diámetro 1 1/2 pulg., que sirve como centrador de la manzana, para que el bronce al momento de fundir quede bien distribuido en cuanto al centro de la rueda.

TORNEADO.- Con la corona de bronce fundido se procede a darle las medidas finales a la rueda mediante cilindrado y refrentado. También se cilindra el hueco definitivo en la manzana.

FRESADO.- El tallado de los dientes de la rueda se lo inicia fresando una guía con otra fresa igual o parecida en módulo a la fresa madre. Esta guía sirve para que al tallar con la fresa madre esta arrastre a la rueda como si fuera el tornillo sinfín, aumentando

después de cada vuelta la profundidad de corte hasta su terminación.

CEPILLADO.- Ahora es necesario hacer el chavetero de la rueda en su manzana usando el cepillo.

PULIDO.- Después de haber pasado por todos estos procesos, la rueda tiene que pulirse a mano con una lima, la misma que sirve para eliminar las rebabas producto del fresado y cepillado.

CAJERAS FIJAS PARA TORNILLO SINFIN

TORNEADO.- Para construir la cajera fija del tornillo sinfín se parte de un eje de acero de transmisión (SAE 1020) de 5 pulg., de diámetro el cual es cilindrado externamente y refrentado. En esta posición se cilindra el alojamiento para el rulimán, luego se vira la pieza y se la refrenta a la medida final.

PULIDO.- La operación de pulido se la realiza en el torno, normalmente con lija de tal modo que el asiento de la pista exterior del rulimán quede totalmente lisa y con el ajuste necesario para facilitar su montaje.

CAJERA FIJA PARA EJE DE LA RUEDA

Para construir esta pieza se parte de un disco de plancha de acero (ASTM A36), de 3 pulg. de espesor y se realizan los mismos procesos que en la cajera fija para el tornillo sinfín.

CAJERA DESMONTABLE PARA TORNILLO SINFIN

Para construir este elemento se parte de un eje de acero de transmisión (SAE 1020), de 5 pulg., de diámetro y una plancha de acero de 1/2 pulg., de espesor (ASTM A36).

CORTE POR LLAMA.- Se oxicorta en plancha de acero un aro (brida), con exceso, tanto en su diámetro exterior como en el hueco.

TORNEADO.- Se cilindra el exterior de la brida a un diámetro aproximado y se cilindra el agujero que sirve de guía para luego soldar. El eje de 5 pulg. se refrenta y cilindra exteriormente, haciendo un escalon para soldar la brida.

SOLDADURA.- Se suelda la brida al eje con electrodos AWS E-7018 a cordón seguido.

TORNEADO.- Ahora se procede a cilindrar la brida exteriormente y a refrentarla. Luego se monta la pieza centrandola por la brida para refrentarla la misma y el eje, hasta que quede el espesor adecuado. Entonces se cilindra el alojamiento para el rulimán.

PULIDO.- La operación de pulido se la realiza manualmente con lija, de tal modo que el asiento de la pista exterior del rulimán quede totalmente lisa y con el ajuste necesario para facilitar su montaje.

TALADRADO.- Finalmente se procede a taladrar seis agujeros de $3/8$ pulg., de diámetro en la brida para su fijación. Estos agujeros deben ser equidistantes entre sí.

CAJERA DESMONTABLE PARA EJE DE RUEDA

Para construir éste elemento se parte de un disco de plancha de 3 pulg. de espesor y un disco de plancha de acero de $1/2$ pulg. de espesor. En ambos casos el acero es ASTM A36.

Los procesos necesarios para construir ésta pieza son iguales que para la cajera desmontable del tornillo

sinfín, con la única diferencia que a la cajera de la rueda se le suelda refuerzos (6) a la brida. La cantidad de agujeros para su fijación en 16 de 3/8 pulg. de diámetro.

EJE DE RUEDA

Para construir el eje de la rueda se parte de un eje de acero de transmisión SAE 1020 de 3 1/2 pulg., de diámetro.

TORNEADO .- Este proceso se inicia referentando el eje y haciéndole centro para montarlo entre puntas. Luego se cilindran los asientos de rulimanes, punta de eje y el asiento de la rueda. Finalmente se pule a mano con lija fina.

FRESADO .- Aquí se procede a fresar los chaveteros del eje de la rueda en la freasadora, con una fresa frontal de diámetro igual a la medida del ancho del chavetero. Se fresan, el chavetero para la rueda y el chavetero de la punta del eje a la salida.

CAJA

La caja es fabricada de plancha de acero ASTM A36 de 3/8 pulg., de espesor.

CORTE POR LLAMA.- Se deben oxicotar 6 piezas que forman las caras de la caja. Este corte se realiza dejando 3 mm. de exceso por lado.

CEPILLADO.- Aquí se procede a cepillar las 6 piezas por sus 4 lados.

SOLDADURA.- En éste proceso se debe tener cuidado en cuanto a que las caras de las cajas deben quedar a 90° entre sí. El tipo de elctrodo a usarse debe ser el AWS-E7018 de 1/8 pulg., de diámetro.

FRESADO.- Para evitar introducir más calor en la caja se procede a hacer en la fresa con una barra los huecos para alojamientos de las dos cajeras del eje de la rueda manteniendo el mismo centro, y el hueco de la cajera desmontable del tornillo sinfín. Con el mismo centro del hueco de la cajera desmontable del tornillo sinfín se hace una guía para poder montar la cajera fija del mismo.

TALADRADO.- Este proceso se lo realiza en el armado del reductor, el cual consiste en copiar los agujeros hechos en las bridas de las cajeras desmontables. Los agujeros a taladrarse deben ser de diámetro 5/16 pulg.

ROSCADO.- Al igual que el proceso anterior, éste es realiza en el montaje, y los agujeros taladrados son machuelados a diámetros 3/8 pulg. UNC.

En el montaje final, los procesos utilizados son los de soldadura y pulido de las mismas. Una vez armado el reductor se procede a la prueba de funcionamiento del mismo y por último para darle un mejor acabado de la caja se procede a masillar y pintar.

2.2 MAQUINARIA NECESARIA Y DISPONIBLE PARA LA EJECUCION DE LOS PROCESOS DE FABRICACION

De acuerdo a los procesos de fabricación necesarios para la producción de los componentes del reductor descritos anteriormente, la maquinaria y equipos que se utilizarían se la puede clasificar en tres grupos que son los siguientes:

* Maquinas - herramientas

- Torno
- Cepillo
- Fresadora
- Taladro
- Sierra alternativa

* Equipos

- De oxicoorte
- Para vaciado
- Soldadura eléctrica por arco con aporte de metal
- Para tratamiento térmico
- Para pintura

* Otras herramientas

- Esmeril de banco
- Esmeril portátil

- Macho para roscar
- Llaves
- Limas
- Arco de sierra manual

En este listado de herramientas no esta por demás nombrar las herramientas que trabajan con su respectiva máquina, siendo las más importantes las siguientes:

- Brocas
- Cuchillas para torno y cepillo
- Fresas

En nuestro medio, a nivel de pequeña industria es difícil que se pueda tener al alcance todos los procesos de fabricación necesarios para la elaboración de un determinado producto y lógicamente las máquinas y otros equipos para su ejecución.

Siendo I.M.G C. Ltda., una compañía que básicamente trabaja con procesos de fabricación que utiliza máquinas herramientas, subcontrató a otras empresas para que realicen ciertos procesos para la fabricación del reductor que no estaban a su alcance. A saber, estos procesos son los siguientes:

- Vaciado
- Tratamientos térmicos

Al subcontratar con otras empresas la ejecución de estos procesos se tiene la siguiente ventaja, debido a que estas tienen experiencia suficiente en los mismos:

- Ahorro de tiempo
- Seguridad de obtener buenos resultados

Para la fundición del bronce de la rueda, debido a consideraciones de costo de material y de tiempo de fabricación, se decide fundir el bronce sobre la manzana de la rueda, para lo cual fué necesario proporcionar a la empresa encargada de la fundición un molde para realizar la misma. Este molde por sugerencia de esta empresa debía tener 5 mm de exceso en el radio, y 5 mm de exceso en cada cara de la manzana, para evitar fallas debidas a la contracción del material.

En la figura 8, se presenta un esquema del molde para fundir la corona de bronce.

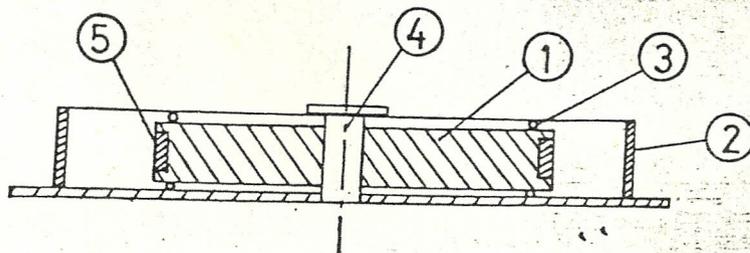


Fig. # 8 .- Esquema del molde para fundir la corona de
bronce sobre la manzana

- 1.- Manzana de la rueda
- 2.- Molde
- 3.- Varilla de \varnothing 5mm
- 4.- Centrador
- 5.- Trabillas

Una vez que se tiene todos los procesos de fabricación necesarios, y la máquina y equipos para su ejecución, se procede a la fabricación del reductor de velocidad previa elaboración de los planos definitivos de las piezas.

CAPITULO III

CONSTRUCCION

3.1 PLANOS DEFINITIVOS DE PIEZAS

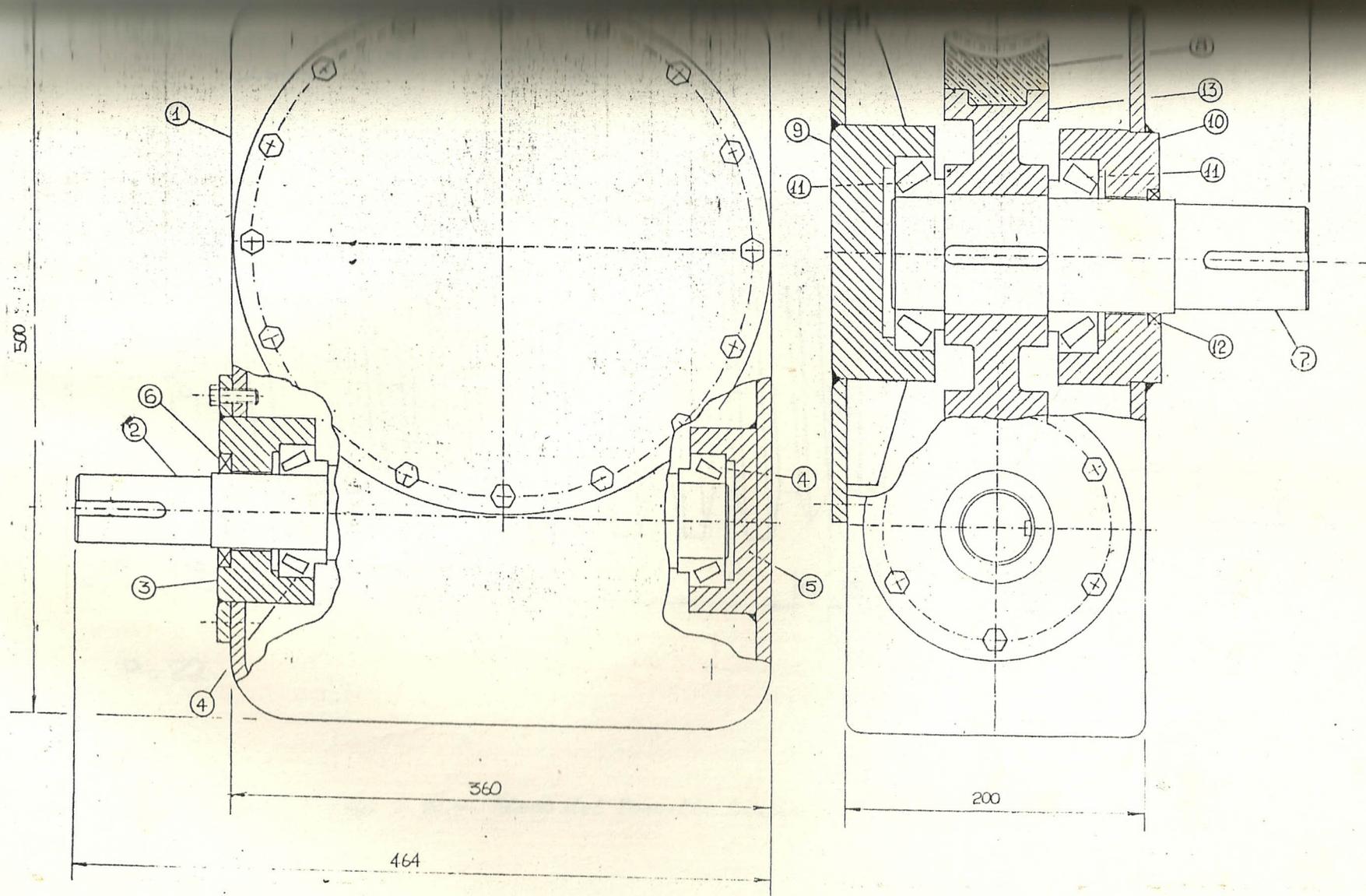
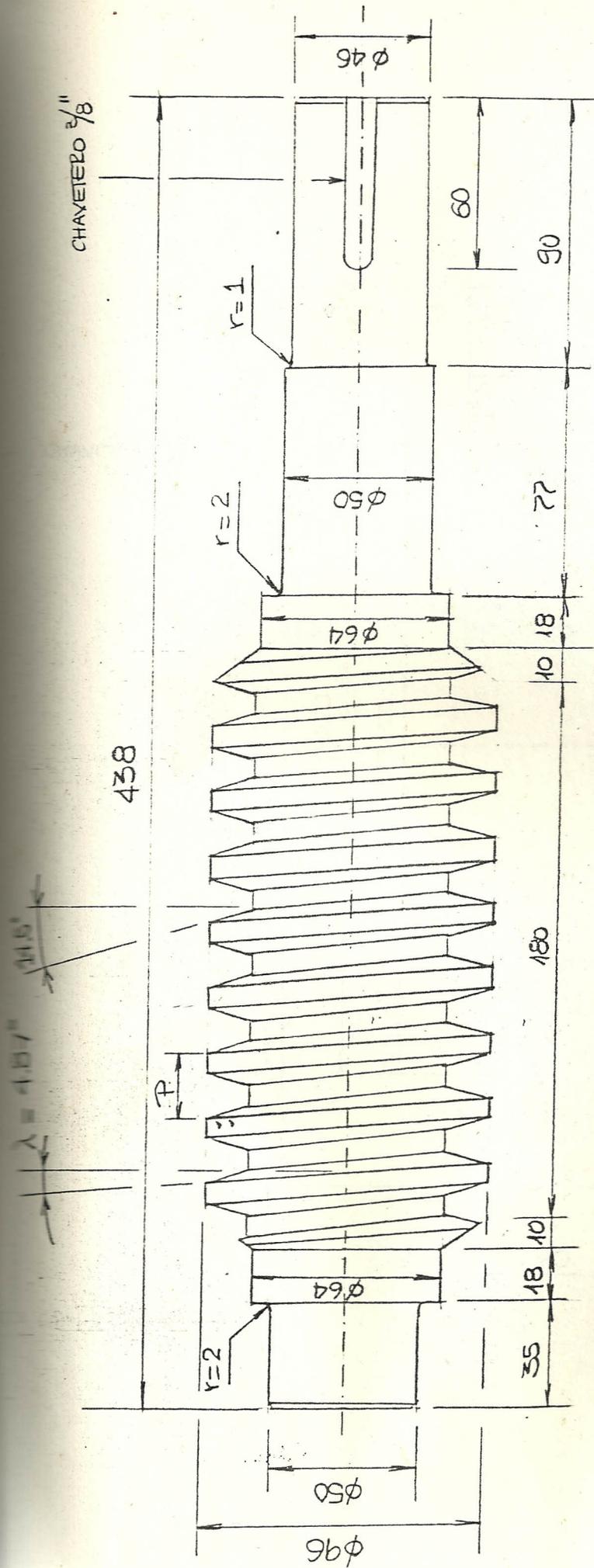


Fig. # 9.- Plano General del Reductor de Velocidad Sinfin-rueda.



$P=22$

Fig. # 10.- Plano del Tornillo Sinfin.

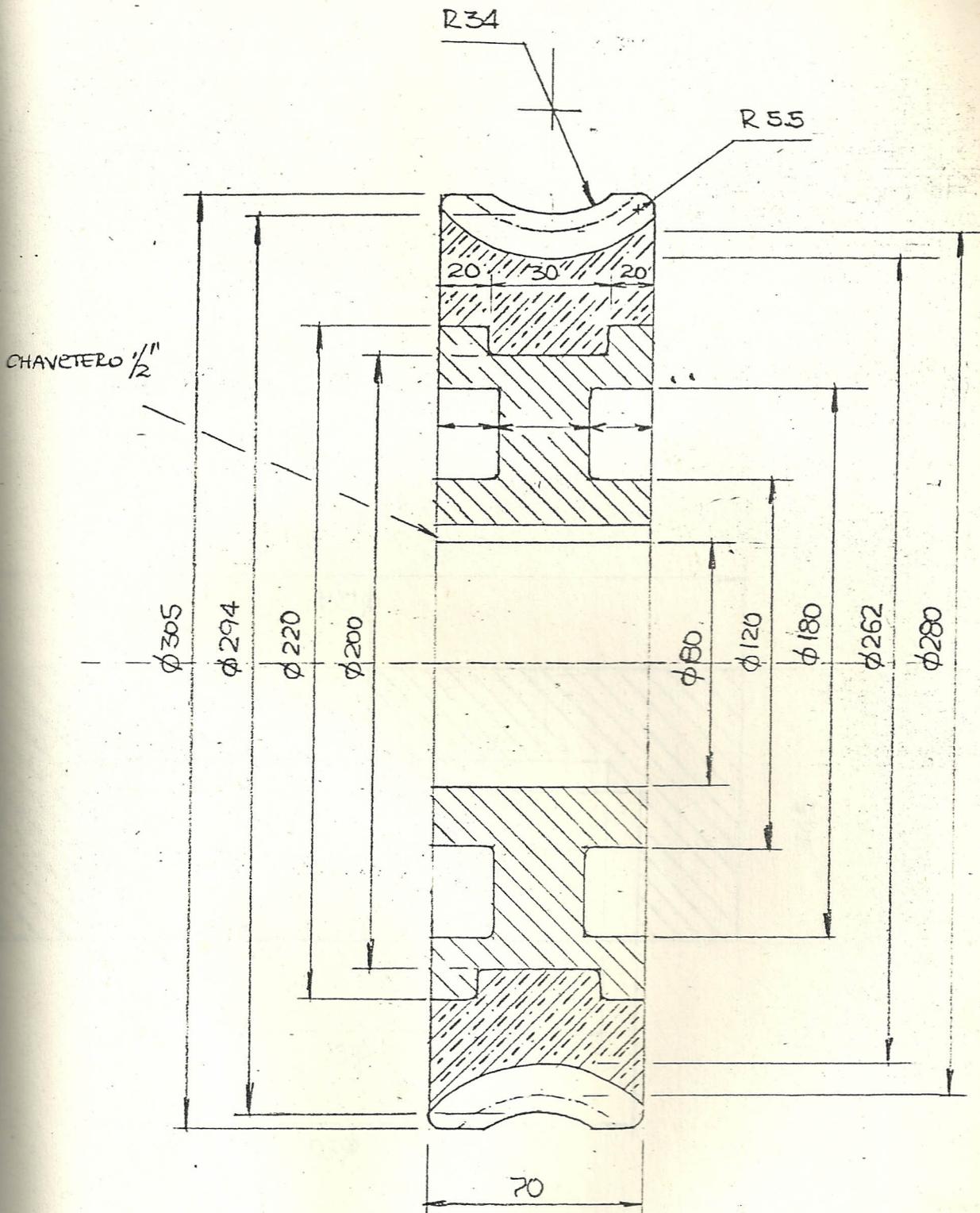


Fig. # 11. - Plano de la Rueda

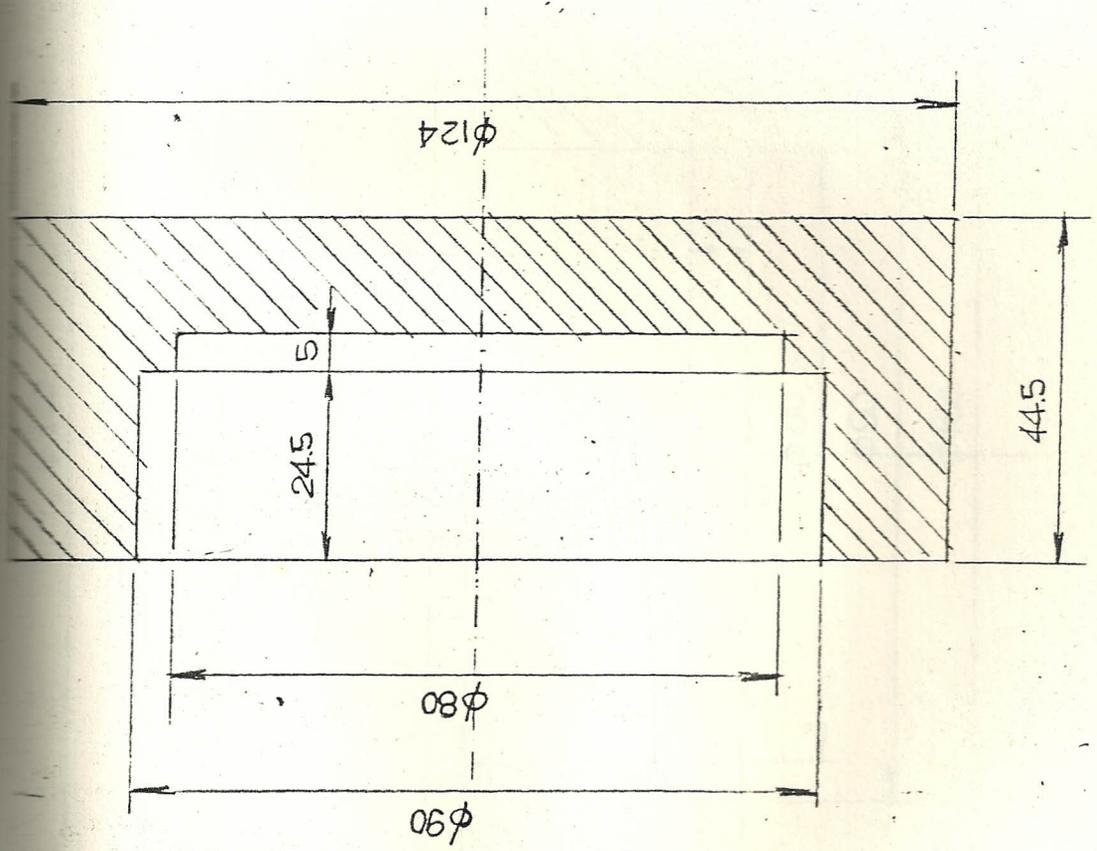


Fig. # 12.- Plano de Cajera Fija de Tomillo Sinfin.

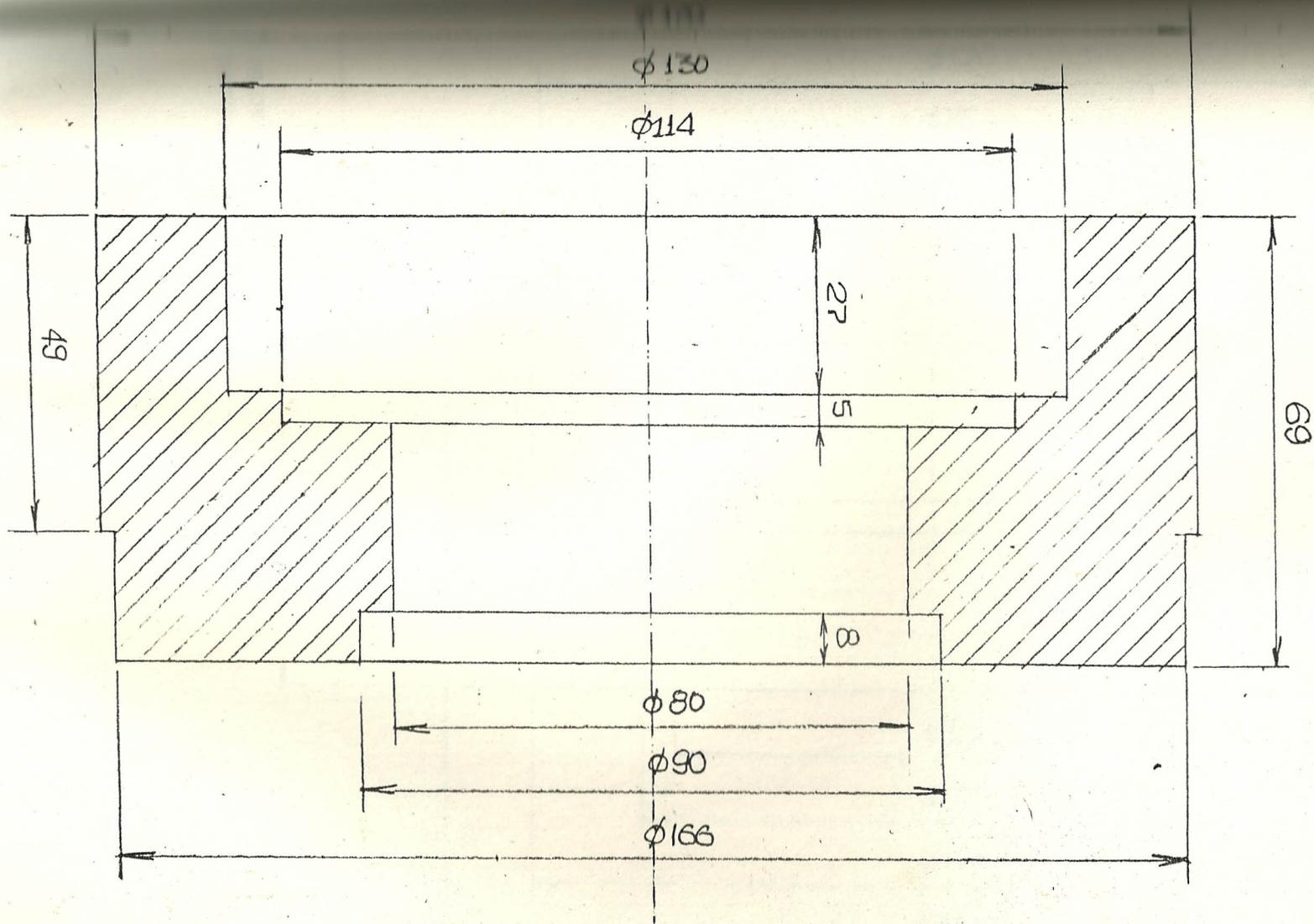


Fig. # 13.- Plano de Cajera Fija de Eje de Rueda.

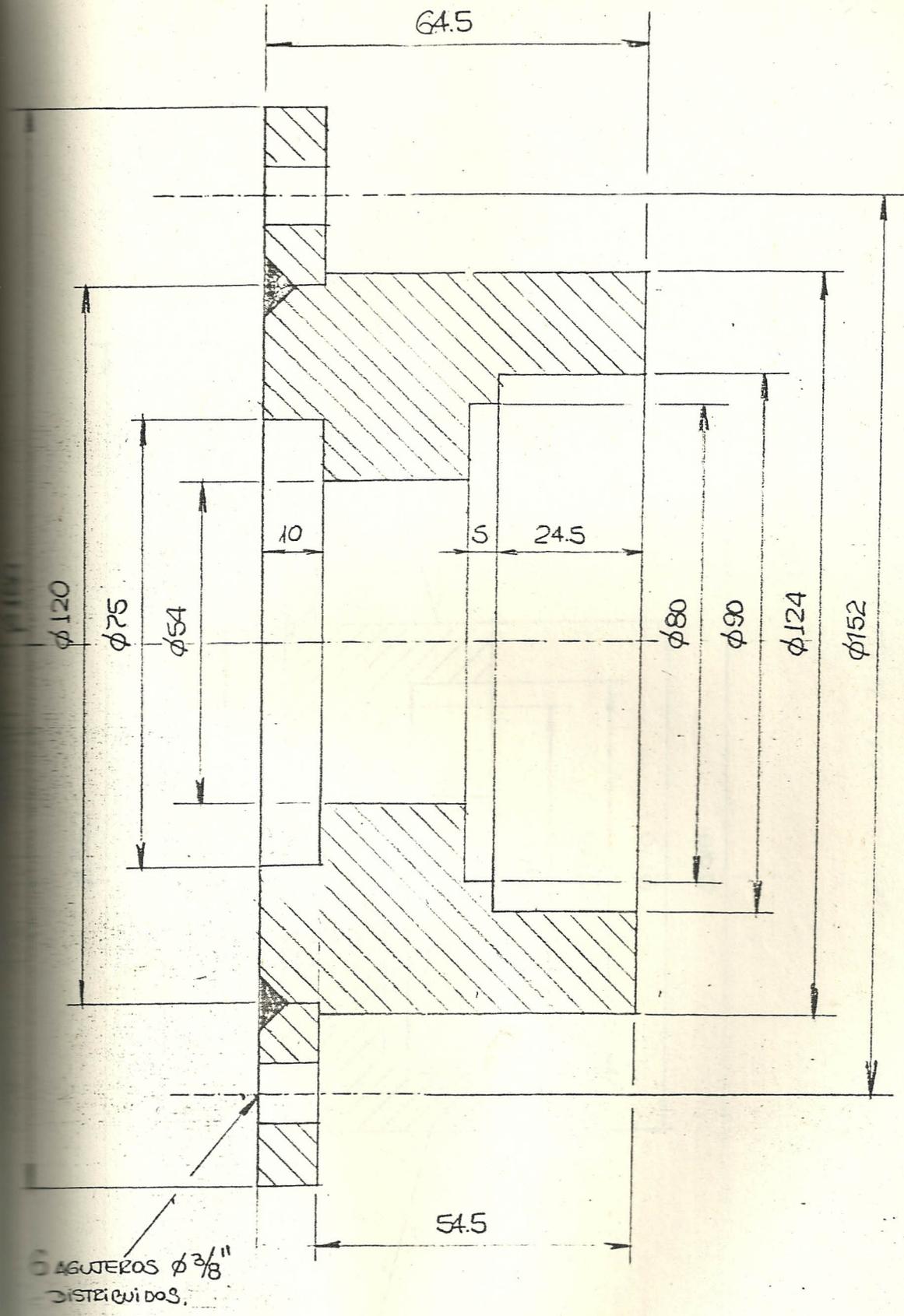


Fig. # 14. - Plano de Cajena Desmontable del Tornillo Sinfin.

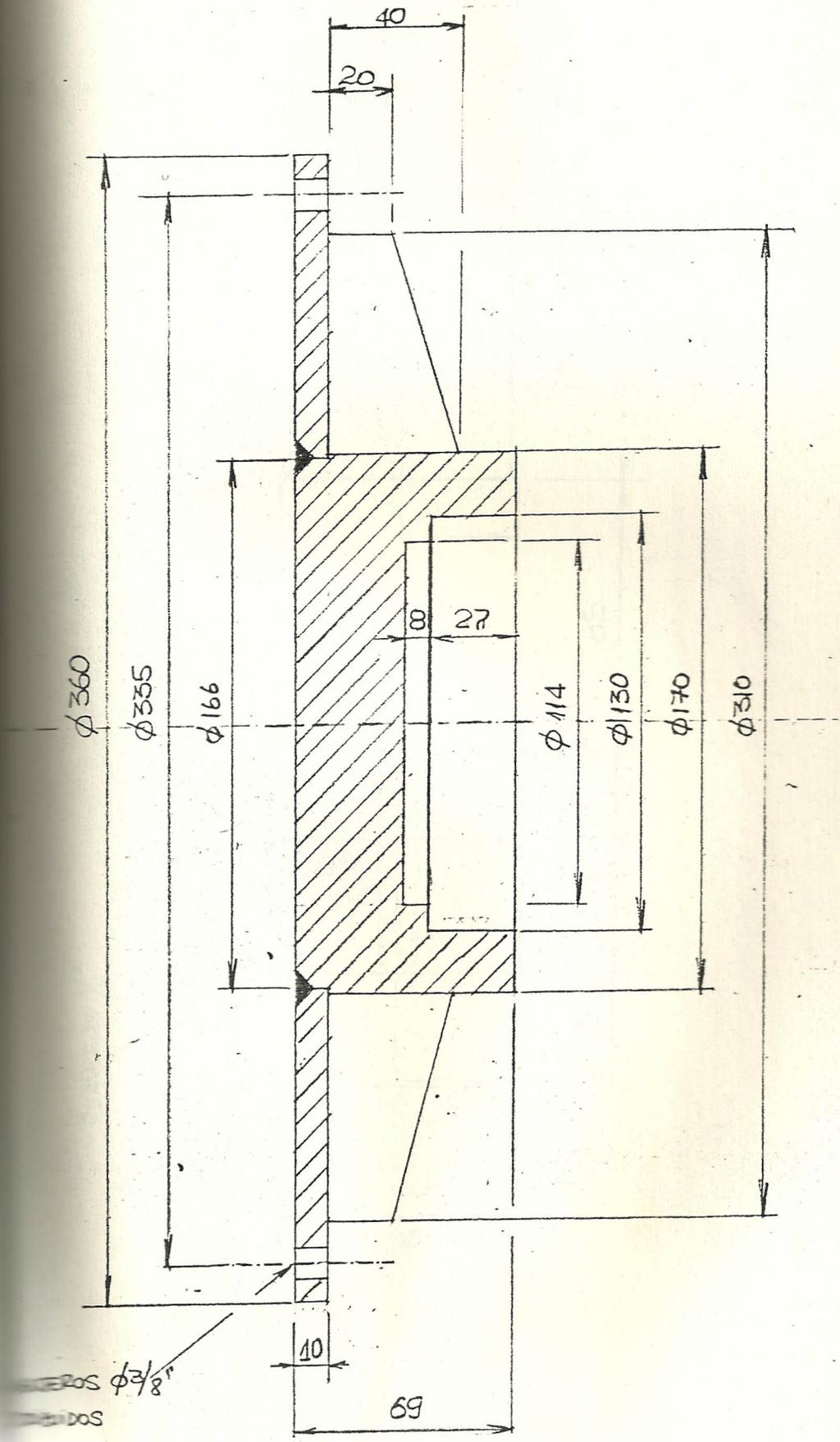


Fig. # 15.- Plano de Cajera Desmontable de Eje de Rueda.

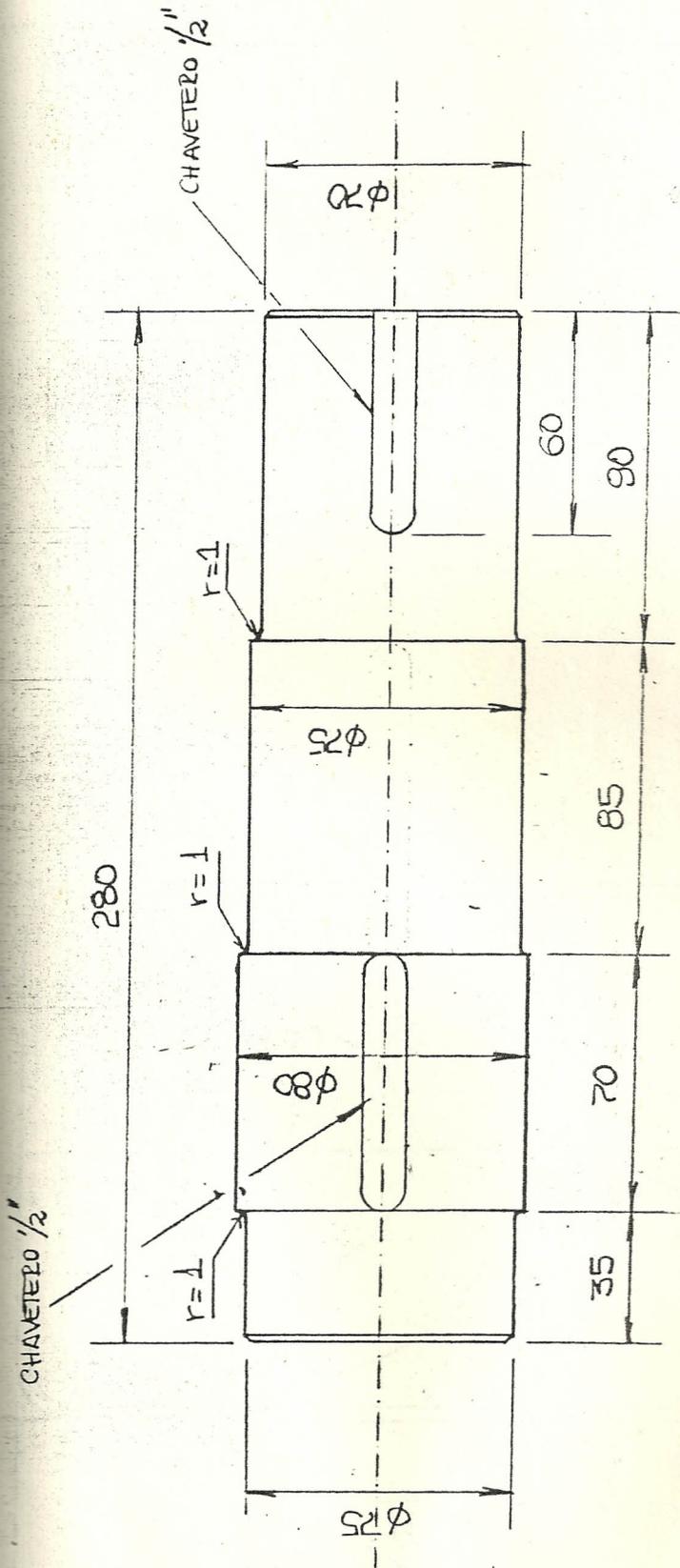
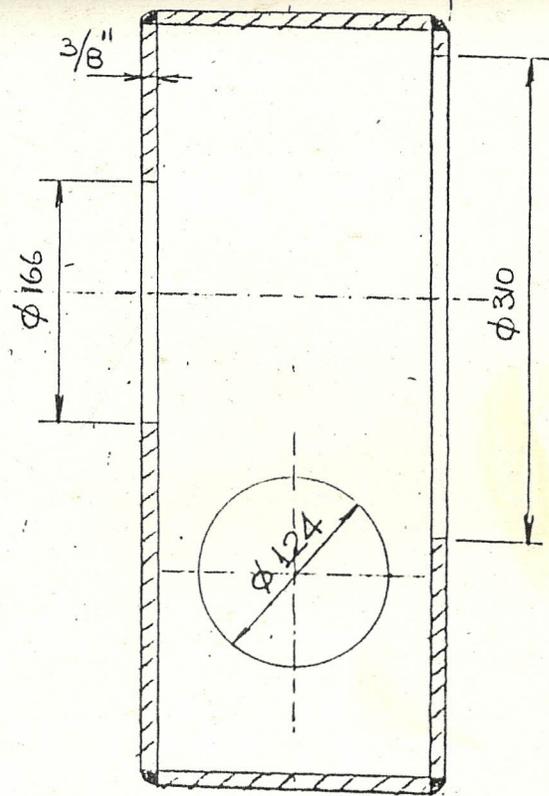
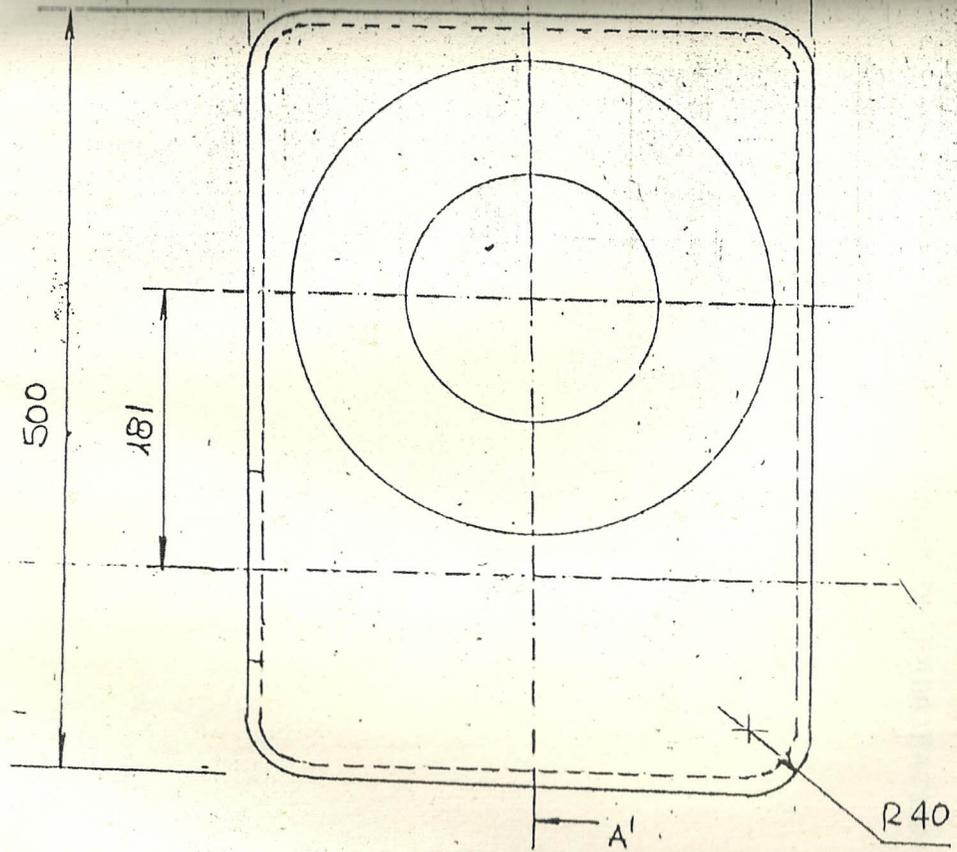
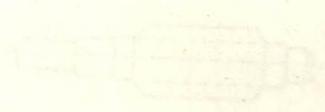


Fig. # 16.- Plano de Eje de Rueda.



CORTE A-A'

Fig. # 17.- Plano de Caja.



3.2 CICLOS DE FABRICACION

CICLO DE FABRICACION

PRODUCTO :

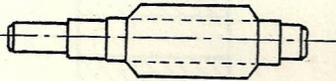
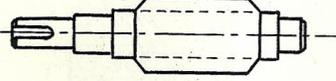
DENOMINACION
DE LA PIEZA:

TORNILLO SINFIN

CANTIDAD: 1

MATERIAL:

ACERO DE CEMENTACION (SAE 4337)

| No. OPERADOR | MAQUINA | DENOMINACION DE LA OPERACION Y CROQUIS | UTILAJES | DATOS TECNICOS | TIEMPO MINIMO |
|-----------------|-----------|--|--------------------------------------|-------------------|------------------|
| 1 | TORNO |  <p>a) Refrentado b) Cilindrado c) Perfilado de rosca d) Pulido</p> | Pie de rey Cuchillas fija | | |
| 1 | FRESADORA |  <p>a) Fresado de chavetero 3/8"</p> | Fresa frontal Ø 3/8 Pie de rey | | |

CICLO DE FABRICACION

PRODUCTO :

DENOMINACION
DE LA PIEZA:

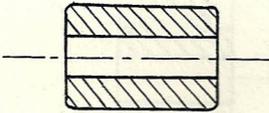
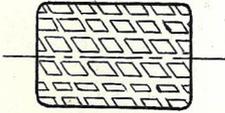
FRESA MADRE

CANTIDAD:

1

MATERIAL:

ACERO PARA TEMPLE X105 (AISI D6)

| No. OPERADOR | MAQUINA | DENOMINACION DE LA OPERACION Y CROQUIS | UTILAJES | DATOS TECNICOS | TIEMPO MINIMO |
|-----------------|-----------|---|---------------------------------|-------------------|------------------|
| 1 | TORNO |  <p>a) Cilindrado exterior b) Refrentado c) Cilindrado hueco d) Perfilado rosca e) Pulido</p> | Pie de rey Cuchillas fija | | |
| 1 | FRESADORA |  <p>a) Destalonado</p> | Fresa de disco | | |

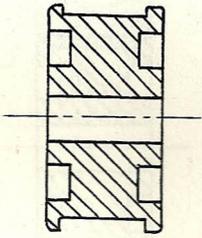
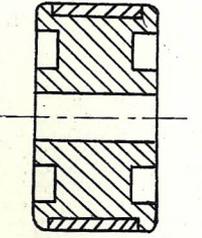
CICLO DE FABRICACION

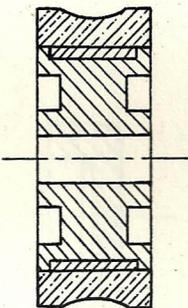
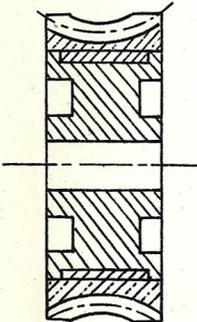
PRODUCTO :

DENOMINACION DE LA PIEZA: MANZANA DE LA RUEDA

CANTIDAD: 1

MATERIAL: PLANCHA DE ACERO ASTM-A36 DE 3" e.

| No. OPERADOR | MAQUINA | DENOMINACION DE LA OPERACION Y CROQUIS | UTILAJES | DATOS TECNICOS | TIEMPO MINIMO |
|--------------|------------------|--|-------------------------|----------------|---------------|
| 1 | TORNO |  a) Cilindrar b) Refrentar c) Cilindrar hueco | Pie de rey Cuchillas | | |
| 1 | CEPILLO | a) Cepillar chavetero | Cuchillas | | |
| 1 | SOLDADORA |  a) Soldar tabiques (8) | | | |
| 1 | ESMERIL PORTATIL | a) Pulir Soldaduras | Disco para esmerilar | | |

| CICLO DE FABRICACION | | | | | |
|--|-----------|--|----------------------------------|----------------|---------------|
| PRODUCTO : | | | | | |
| DENOMINACION DE LA PIEZA: RUEDA (CORONA) | | | CANTIDAD: 1 | | |
| MATERIAL: BRONCE | | | | | |
| No. OPERADOR | MAQUINA | DENOMINACION DE LA OPERACION Y CROQUIS | UTILAJES | DATOS TECNICOS | TIEMPO MINIMO |
| 1 | TORNO |  <p>a) Cilindrar b) Refrentar c) Cilindrar radio exterior con plantilla d) Pulir</p> | Pie de rey Cuchillas Hijas | | |
| 1 | FRESADORA |  <p>a) Fresar dientes</p> | Fresa guía Fresa madre | | |

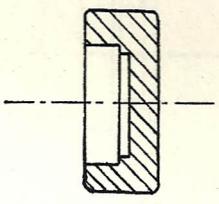
CICLO DE FABRICACION

PRODUCTO :

DENOMINACION CAJERA FIJA DE
DE LA PIEZA: TORNILLO SINFIN (EXTERIOR)

CANTIDAD: 1

MATERIAL: ACERO TRANSMISION Ø 5" (SAE 1020)

| No. OPERADOR | MAQUINA | DENOMINACION DE LA OPERACION Y CROQUIS | UTILAJES | DATOS TECNICOS | TIEMPO MINIMO |
|-----------------|---------|--|-------------------------|-------------------|------------------|
| 1 | TORNO |  <p>a) Cilindrado exterior b) Refrentado c) Cilindrado de alojamiento para ruliman</p> | Pie de rey Cuchillas | | |

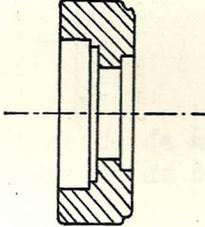
CICLO DE FABRICACION

PRODUCTO :

DENOMINACION CAJERA FIJA DE EJE
DE LA PIEZA: DE RUEDA

CANTIDAD: 1

MATERIAL: PLANCHA DE ACERO ASTM-A36 DE 3" e.

| No. OPERADOR | MAQUINA | DENOMINACION DE LA OPERACION Y CROQUIS | UTILAJES | DATOS TECNICOS | TIEMPO MINIMO |
|--------------|---------|---|-------------------------|----------------|---------------|
| 1 | TORNO |  <p>a) Cilindrar exterior b) Refrentar c) Cilindrar hueco d) Cilindrar alojamiento para ruliman e) Cilindrar alojamiento para retenedor</p> | Pie de rey Cuchillas | | |

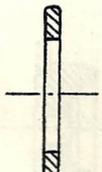
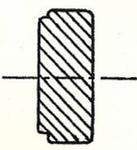
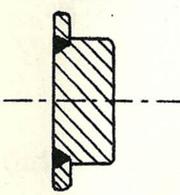
CICLO DE FABRICACION

PRODUCTO :

DENOMINACION CAJERA DESMONTABLE DE
DE LA PIEZA: TORNILLO SINFIN

CANTIDAD: 1

MATERIAL: ACERO DE TRANSMISION ϕ 5" (SAE 1020) y PLANCHA DE ACERO ASTM
A-36 1/2" e.

| No. OPERADOR | MAQUINA | DENOMINACION DE LA OPERACION Y CROQUIS | UTILAJES | DATOS TECNICOS | TIEMPO MINIMO |
|--------------|-----------|---|-------------------------|----------------|---------------|
| 1 | TORNO |  <p>a) Cilindrado de hueco y exterior de brida</p> | Pie de rey Cuchillas | | |
| 1 | TORNO |  <p>a) Cilindrado de escalón para alojamiento de brida b) Refrentado de desbaste</p> | | | |
| 1 | SOLDADORA |  <p>a) Soldado de brida</p> | | | |

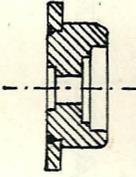
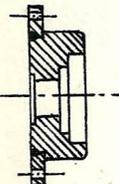
CICLO DE FABRICACION

PRODUCTO :

DENOMINACION CAJERA DESMONTABLE
DE LA PIEZA: DE TORNILLO SINFIN (CONT.)

CANTIDAD: 1

MATERIAL: ACERO DE TRANSMISION \varnothing 5" SAE 1010 PLANCHA DE ACERO
ASTM - A36 1/2" e.

| No. OPERADOR | MAQUINA | DENOMINACION DE LA OPERACION Y CROQUIS | UTILAJES | DATOS TECNICOS | TIEMPO MINIMO |
|-----------------|---------|--|-------------------------|-------------------|------------------|
| 1 | TORNO |  <p>a) Cilindrado de diámetro exterior b) Cilindrado de alojamiento para ruliman c) Cilindrado de alojamiento para retenedor</p> | Pie de rey Cuchillas | | |
| 1 | TALADRO |  <p>a) Taladrado de huecos para fijación</p> | Broca | | |

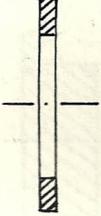
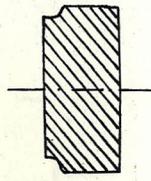
CICLO DE FABRICACION

PRODUCTO :

DENOMINACION DE LA PIEZA: CAJERA DESMONTABLE DE EJE DE RUEDA

CANTIDAD: 1

MATERIAL: PLANCHAS DE ACERO ASTM-A36 DE 3" e. y 1/2" e.

| No. OPERADOR | MAQUINA | DENOMINACION DE LA OPERACION Y CROQUIS | UTILAJES | DATOS TECNICOS | TIEMPO MINIMO |
|--------------|---------|---|-------------------------|----------------|---------------|
| 1 | TORNO |  <p>a) Cilindrado de hueco y exterior de brida</p> | Pie de rey Cuchillas | | |
| 1 | TORNO |  <p>a) Cilindrado de escalón para alojamiento de brida b) Refrentado de desbaste</p> | | | |

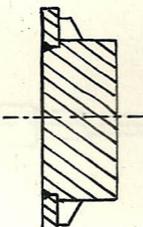
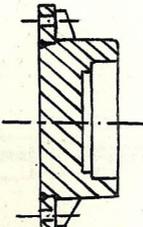
CICLO DE FABRICACION

PRODUCTO :

DENOMINACION DE LA PIEZA: CAJERA DESMONTABLE
EJE DE RUEDA (CONT.)

CANTIDAD: 1

MATERIAL:

| No. OPERADOR | MAQUINA | DENOMINACION DE LA OPERACION Y CROQUIS | UTILAJES | DATOS TECNICOS | TIEMPO MINIMO |
|--------------|-----------|--|-------------------------|----------------|---------------|
| 1 | SOLDADORA |  <p>a) Soldado de brida b) Soldado de refuerzos (6)</p> | | | |
| 1 | TORNO |  <p>a) Cilindrado de brida y aletas b) Refrentado c) Cilindrado de alojamiento para ruliman</p> | Pie de rey Cuchillas | | |
| 1 | TALADRO | a) Taladrado de huecos para fijación | Broca | | |

CICLO DE FABRICACION

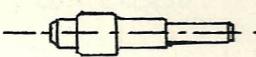
PRODUCTO :

DENOMINACION
DE LA PIEZA:

EJE DE RUEDA

CANTIDAD: 1

MATERIAL: ACERO DE TRANSMISION \varnothing 3 1/2" (SAE 1020)

| No. OPERADOR | MAQUINA | DENOMINACION DE LA OPERACION Y CROQUIS | UTILAJES | DATOS TECNICOS | TIEMPO MINIMO |
|-----------------|-----------|--|---------------------------------|-------------------|------------------|
| 1 | TORNO |  <p>a) Refrentado b) Cilindrado c) Pulido</p> | Pie de rey Cuchillas fija | | |
| 1 | FRESADORA |  <p>a) Fresado de Chaveteros.</p> | Fresa frontal | | |

CICLO DE FABRICACION

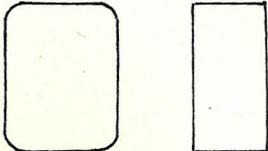
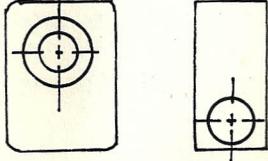
PRODUCTO :

DENOMINACION
DE LA PIEZA:

CAJA

CANTIDAD: 1

MATERIAL: PLANCHA DE ACERO ASTM -A36 DE 3/8" e.

| No. OPERADOR | MAQUINA | DENOMINACION DE LA OPERACION Y CROQUIS | UTILAJES | DATOS TECNICOS | TIEMPO MINIMO |
|--------------|-------------------|--|-------------------------|----------------|---------------|
| 1 | EQUIPO OXICORTE | a) Oxicortar 6 piezas (caras) de la caja con exceso | | | |
| 1 | ESMERIL PORTATIL | a) Esmerilar filos de las 6 piezas | | | |
| 1 | CEPILLO | a) Cepillar las piezas a la medida | | | |
| 1 | SOLDADORA |  a) Soldar a escuadra (90°) las piezas | Pie de rey Cuchillas | | |
| 1 | ESMERIL PORTATIL | a) Pulir las soldaduras | | | |
| 1 | FRESADORA TALADRO |  a) Perforar agujeros para alojamiento de cajeras | Broca Machuelos | | |

3.3 SELECCION DE LUBRICANTE

PRIMER CAMBIO .- El aceite de un reductor nuevo debe drenarse completamente después de un período de 500 horas de operación ó 4 semanas de trabajo (lo que ocurra primero). Es muy importante que la limpieza de la caja se realice con aceite de lavado, para remover materias extrañas. El requerimiento mínimo de filtrado es de 100 micrones o menos.

Estos lubricantes no deben filtrarse a través de tierras u otros tipos de filtros que puedan remover los aditivos de la fórmula original.

CAMBIOS POSTERIORES .- Bajo condiciones normales de operación, el lubricante se debe cambiar cada 2.500 horas ó 6 meses de operación (lo que ocurra primero).

Pudiendo establecerse períodos más largos, haciendo pruebas periódicas de los aceites.

LIMPIEZA Y LAVADO .- El lubricante debe drenarse mientras el reductor está a su temperatura de operación, deba además limpiarse con aceite de lavado compatible con el lubricante de operación. Cuando se usen solventes (evítense mientras sea posible) para remover depósitos de óxidos o lubricantes

contaminados debe usarse después un aceite de lavado para remover todos los residuos de dichos líquidos.

LUBRICANTE RECOMENDADO.- La duración de los engranes depende de la buena lubricación de todas sus piezas. Engranajes que, con buena lubricación, funcionan durante años sin usura notable, se deterioran en el espacio de algunas semanas si la lubricación se hace defectuosa.

El lubricante recomendado para este tipo de reductores es el lubricante líquido, siendo los más importantes los aceites de petróleos que ordinariamente contienen uno o más aditivos que mejoran alguna de las propiedades.

Las finalidades de los aditivos son entre otras: reducir la velocidad de oxidación (antioxidantes: fósforo, azufre, etc.); aumentar la capacidad de carga para lubricación límite (agente para extrema presión EP); para mejorar el índice de viscosidad (elevadores del IV); para impedir la formación de espumas (inhibidores antiespumantes), beneficioso cuando el aceite está sometido a un batido intenso.

La máxima temperatura del lubricante no debe excederse, a ser posible, de 80 °C, o bien 190 °F. Para temperaturas ambientales de trabajo se recomienda para este tipo de reductores de velocidad un aceite que tenga una viscosidad entre 25 y 30 cst, es decir, un aceite del tipo SAE 70 ó SAE 80.

3.4 MONTAJE, PRUEBAS Y PUESTA A PUNTO

MONTAJE .- El montaje de las piezas del reductor se refiere al montaje de las cajas con sus respectivos rulimanes y con todas las piezas componentes.

Previamente al montaje se hace una guía (agujero) en la caja para la cajera fija (interior del tornillo sinfín). Esta guía (fig. # 18), se la hace en la fresadora con el mismo centro de la cajera desmontable del tornillo sinfín y a 90° del eje de la rueda, para estar seguros que se va a mantener la distancia entre centros calculada ya que de esto depende fundamentalmente el buen trabajo del reductor.

Con esta guía hecha, ahora se arma el reductor con todos sus componentes, y se procede a puntear con soldadura todas las cajas, luego se copian en la caja todos los agujeros que están hechos en las bridas de las cajas desmontables (fig. # 19). Ahora se desarma el reductor y se taladran estos agujeros con broca de 5/16 pulg. de diámetro, y luego se machuelean a 3/8 pulg., UNC.



Fig. # 18.- Fresado de guía para cajera fija de tornillo sinfín

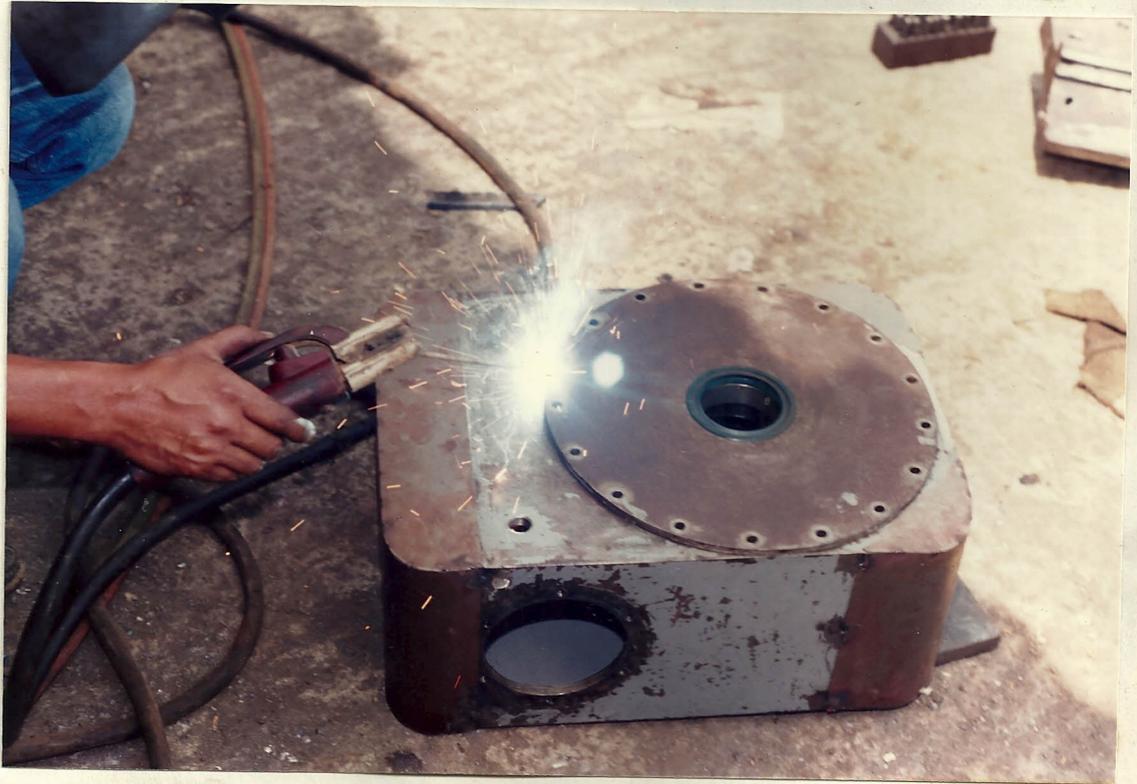


Fig. # 19.- Punteado con soldadura de toda la cajera

Una vez realizado éste trabajo se limpian todas las rebabas producto del taladrado y machueleado de éstos agujeros para luego armar nuevamente el reductor con todas sus partes (fig. # 20, 21 y 22). Las cajas desmontables se las arma con sus respectivos pernos y se procede a soldar las cajas fijas. La caja fija del tornillo sólo se la puede soldar por la guía realizada y el reductor es desarmado nuevamente para poder soldar la misma por el interior de la caja. A la caja fija de la rueda se le suelda aletas para reforzarla (fig. # 23 y 24).

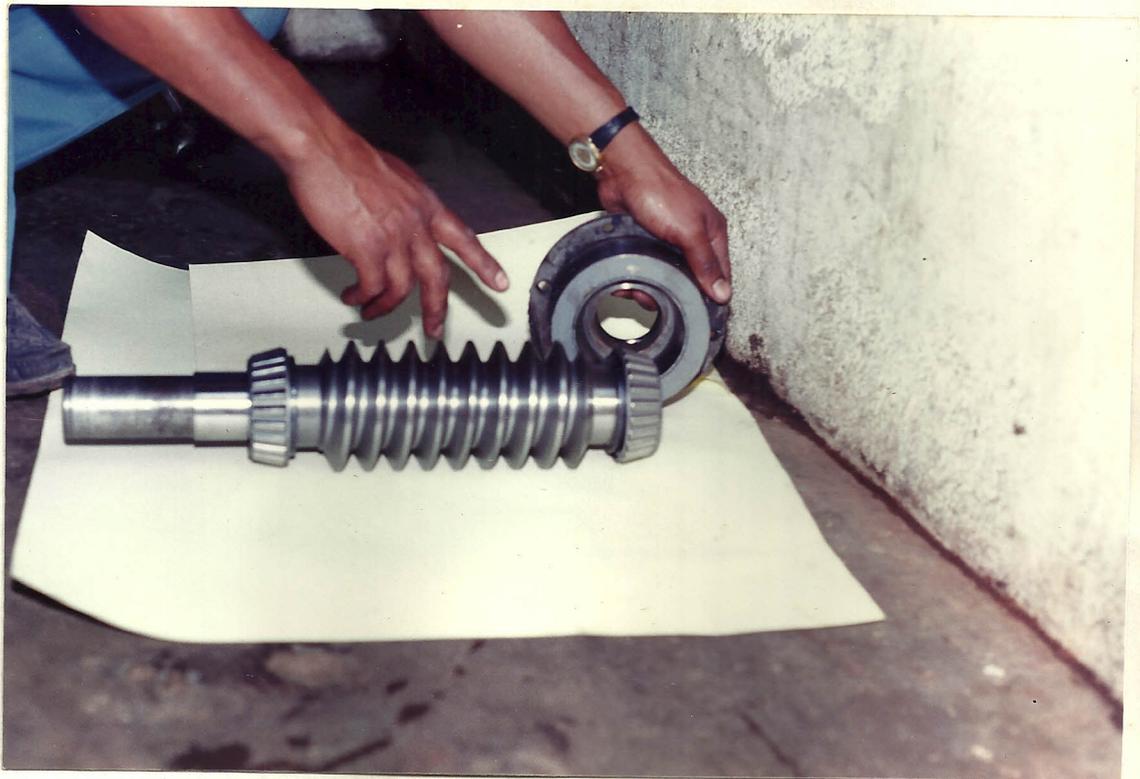


Fig. # 20.- Tornillo sinfín con sus rulimanes y su caja desmontable

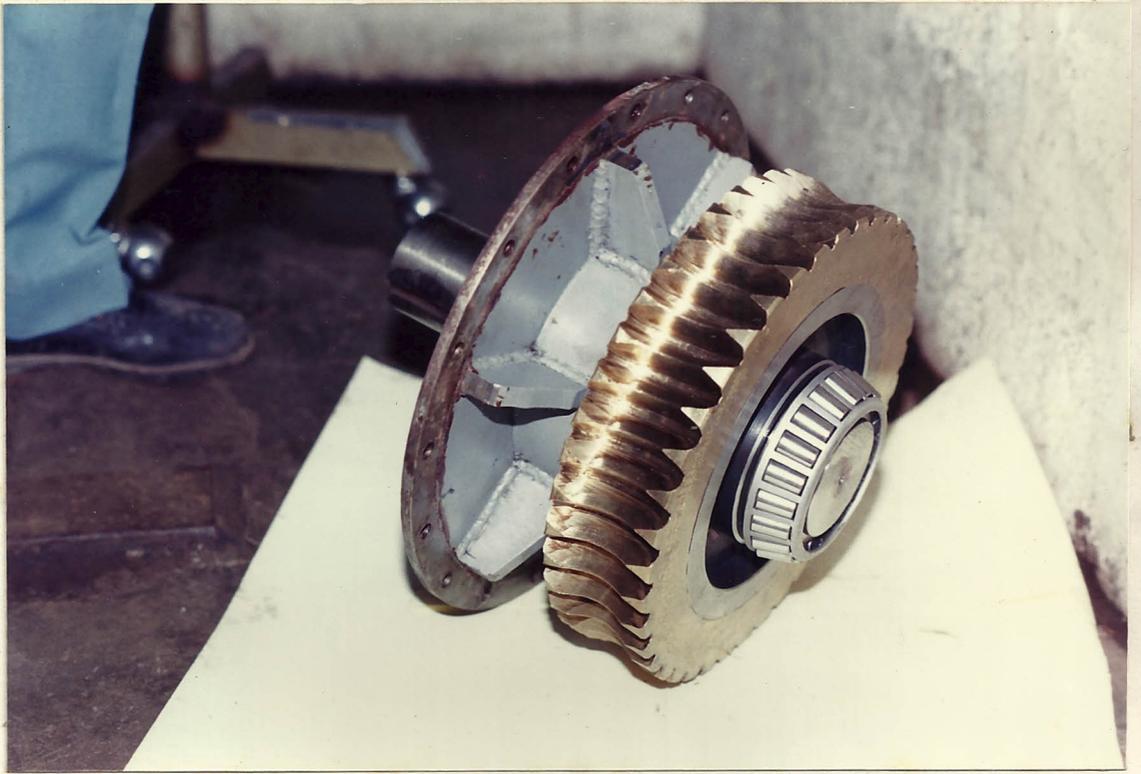


Fig. # 21.- Rueda con su eje, rulimanes y cajera desmontable

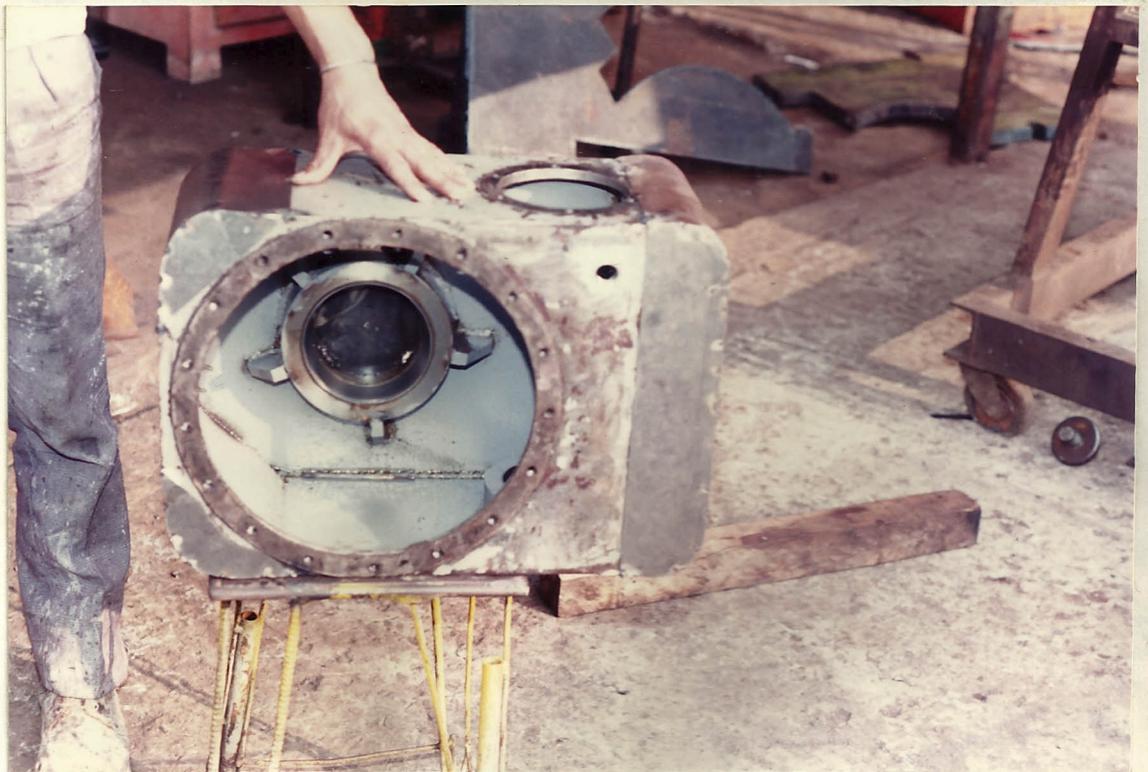


Fig. # 22.- Caja con cajeras fijas

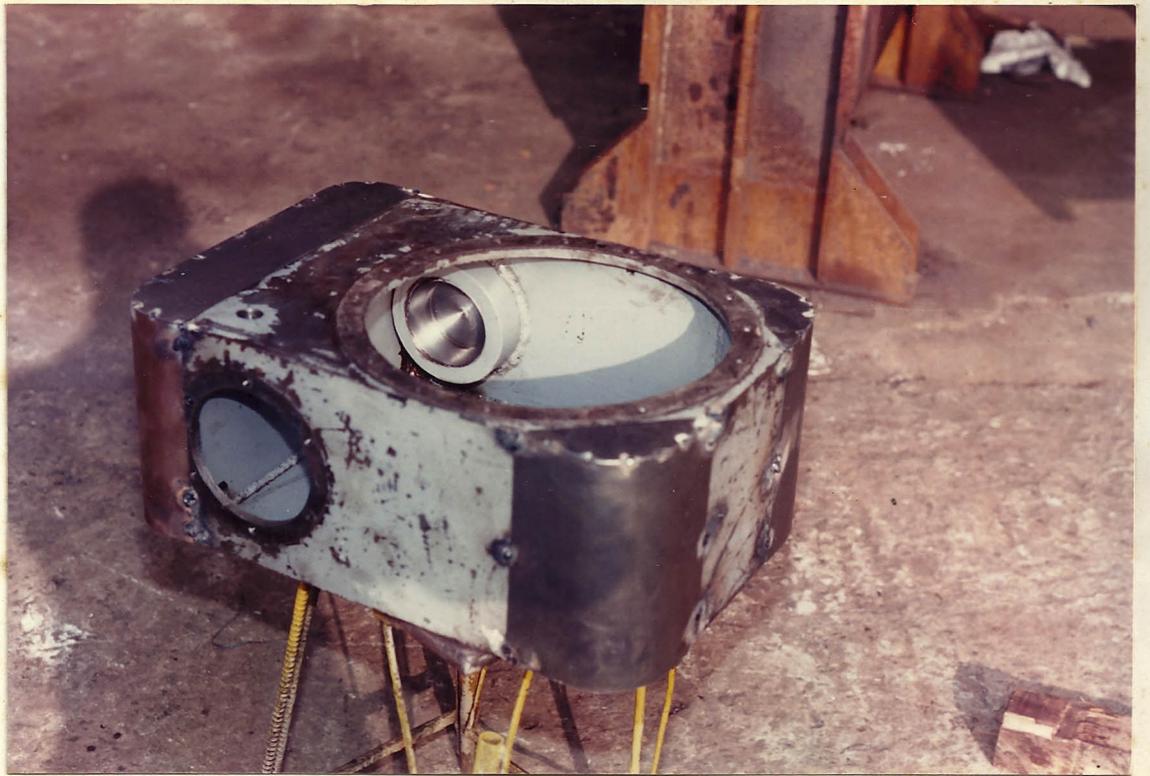


Fig. # 23.- Cajera fija de tornillo sinfin soldada

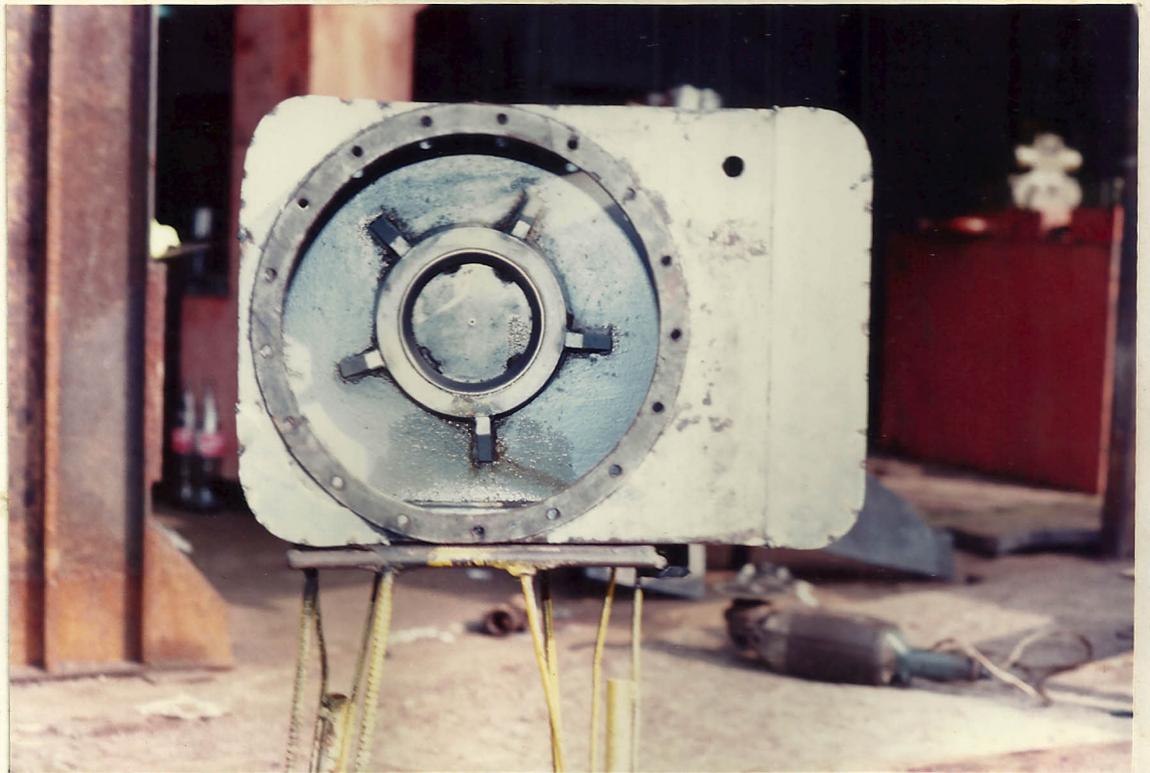


Fig. # 24.- Cajera fija del eje de la rueda soldada

PRUEBAS Y PUESTA A PUNTO .- Las pruebas del reductor se las hace de tal modo que pueda hacer accionado por un motor eléctrico. El reductor se lo hace trabajar por varias horas para comprobar el calentamiento. En el eje de salida se le acopla un freno para simular carga.

Después de varias horas de trabajo y comprobar que el reductor calienta dentro de los límites normales se procede por última vez desarmarlo para poder pulir la soldadura de la cajera del eje de la rueda, y lavarlo en el interior, ya que en este tiempo de trabajo se desprende partículas de bronce de la rueda debido al acoplamiento con el tornillo sinfín. Ahora se arma nuevamente el reductor, se masilla posible fallas de soldadura, y se procede a pintarlo.

Sí se nota que el reductor calienta excesivamente o que está ajustado el eje de entrada, debido a la soldadura de las cajeras, se pueden corregir estas fallas desoldando las mismas lo cual implica una pérdida de tiempo apreciable, lo cual puede ser evitado realizando un buen montaje desde el inicio del mismo, principalmente el lo referente a soldadura.

A continuación se presenta una tabla con datos de

tiempo (t) y temperatura (T°), tomados en la prueba del reductor.

TABLA VIII

VALORES DE TIEMPO Y TEMPERATURA OBTENIDOS EN LA PRUEBA DEL REDUCTOR

| TIEMPO (hr) | TEMPERATURA ($^{\circ}$ C) |
|----------------|--------------------------------|
| 0,0 | 32 |
| 0,5 | 45 |
| 1,0 | 62 |
| 1,5 | 73 |
| 2,0 | 79 |
| 2,5 | 82 |
| 3,0 | 80 |
| 3,5 | 80 |
| 4,0 | 79 |
| 4,5 | 76 |
| 5,0 | 74 |
| 5,5 | 70 |
| 6,0 | 68 |
| 6,5 | 67 |
| 7,0 | 65 |
| 7,5 | 65 |
| 8,0 | 66 |
| 8,5 | 67 |
| 9,0 | 65 |
| 9,5 | 65 |
| 10,0 | 66 |

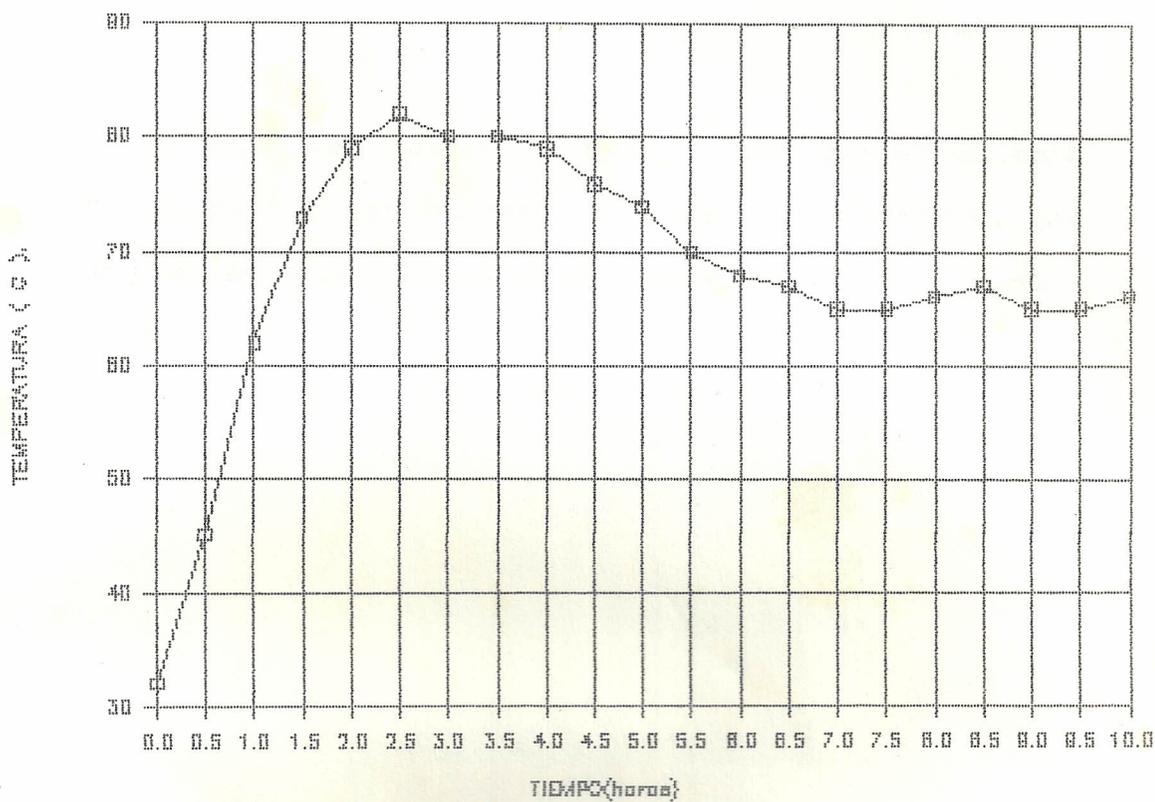


Fig. # 25 .- Gráfico t Vs T°, resultado de la prueba del reductor

Analizando la fig. # 25, se puede observar que entre la 1^{era} y 3^{era} hora de trabajo, hay un incremento notable en la temperatura del reductor debido a que el sinfín y la rueda están en un proceso de acoplamiento donde pequeñas rugosidades generan el calentamiento, luego se aprecia una disminución de la temperatura hasta mantenerse en un régimen estable

entre 65 y 67 °C, que es una temperatura tolerable.

En términos generales, se puede decir que el montaje de las partes del reductor ha sido satisfactorio, por lo cual está en buenas condiciones de ser utilizado.

CAPITULO IV

ANALISIS DE COSTOS

4.1 COSTO DE MATERIALES DIRECTOS E INDIRECTOS

A.- Costo de la lista de materiales directos obtenida de los planos de la sección 3.1, descrita en la tabla IX:

TABLA IX

COSTO DE LA LISTA DE MATERIALES DIRECTOS

| <u>MATERIAL</u> | <u>CANTIDAD</u> | <u>PESO</u> (Kg) | <u>PRECIO c/Kg</u> (Suces) | <u>SUBTOTAL</u> (Suces) |
|-----------------|-----------------|---------------------|-------------------------------|----------------------------|
|-----------------|-----------------|---------------------|-------------------------------|----------------------------|

RUEDA

Plancha acero

ASTM-A36 1 21 660 13.860

D = 270*76 mm

| <u>MATERIAL</u> | <u>CANTIDAD</u> | <u>PESO</u> (Kg) | <u>PRECIO c/Kg</u> (Suces) | <u>SUBTOTAL</u> (Suces) |
|-----------------|-----------------|---------------------|-------------------------------|----------------------------|
|-----------------|-----------------|---------------------|-------------------------------|----------------------------|

Bronce para

| | | | | |
|---------|---|----|-------|--------|
| piñones | 1 | 26 | 2.200 | 57.200 |
|---------|---|----|-------|--------|

D = 305-206*80 mm

TORNILLO SINFIN

Barra de acero

| | | | | |
|----------------|---|----|-------|--------|
| SAE 4337 (705) | 1 | 28 | 1.300 | 36.400 |
|----------------|---|----|-------|--------|

D = 100*450 mm

FRESA MADRE

Barra de acero

| | | | | |
|---------------|---|---|-------|--------|
| (AISI D6-XW5) | 1 | 8 | 3.250 | 26.000 |
|---------------|---|---|-------|--------|

D = 100*120 mm

EJE RUEDA

Barra de acero

| | | | | |
|----------|---|----|-----|-------|
| SAE 1020 | 1 | 14 | 540 | 7.560 |
|----------|---|----|-----|-------|

D = 90*280 mm

| <u>MATERIAL</u> | <u>CANTIDAD</u> | <u>PESO</u> (Kg) | <u>PRECIO c/Kg</u> (Suces) | <u>SUBTOTAL</u> (Suces) |
|-----------------|-----------------|---------------------|-------------------------------|----------------------------|
|-----------------|-----------------|---------------------|-------------------------------|----------------------------|

CAJERA FIJA EJE RUEDA

Plancha de acero

| | | | | |
|----------|---|----|-----|-------|
| ASTM-A36 | 1 | 15 | 660 | 9.900 |
|----------|---|----|-----|-------|

D = 180*76 mm

CAJERA FIJA TORNILLO SINFIN

Barra de acero

| | | | | |
|----------|---|---|-----|-------|
| SAE 1020 | 1 | 5 | 540 | 2.700 |
|----------|---|---|-----|-------|

D = 127*50 mm

CAJERA DESMONTABLE DE EJE DE RUEDA

Plancha de acero

| | | | | |
|----------|---|----|-----|-------|
| ASTM-A36 | 1 | 15 | 660 | 9.900 |
|----------|---|----|-----|-------|

D= 180*76 mm

Plancha de acero

| | | | | |
|----------|---|----|-----|-------|
| ASTM-A36 | 1 | 10 | 660 | 6.600 |
|----------|---|----|-----|-------|

D= 370*12 mm

| <u>MATERIAL</u> | <u>CANTIDAD</u> | <u>PESO</u> | <u>FRECIO c/Kg</u> | <u>SUBTOTAL</u> |
|-----------------|-----------------|-------------|--------------------|-----------------|
| | | (Kg) | (Suces) | (Suces) |

CAJERA DESMONTABLE DE TORNILLO SINFIN

Barra de acero

| | | | | |
|---------------|---|---|-----|-------|
| SAE - 1020 | 1 | 7 | 540 | 3.780 |
| D = 127*70 mm | | | | |

Plancha de acero

| | | | | |
|---------------|---|---|-----|-------|
| ASTM - A36 | 1 | 3 | 660 | 1.980 |
| D = 190*12 mm | | | | |

CAJA

Plancha de acero

| | | | | |
|---------------|---|----|-----|--------|
| ASTM - A36 | 1 | 68 | 515 | 35.020 |
| 1220*800*9 mm | | | | |

RULIMANES

| | | | | |
|----------|---|----|--------|----------|
| Nº 33210 | 2 | -- | 15.341 | 33.750,2 |
| Nº 32215 | 2 | | 26.493 | 58.248,6 |

RETENEDORES

| | | | | |
|-------------|---|----|-------|---------|
| Nº 75-90-B | 1 | -- | 640 | 640,0 |
| Nº 50-75-10 | 1 | -- | 2.155 | 2.155,0 |

| | |
|----------------------|--------|
| SOLDADURA | 10.000 |
| PERNOS | 3.000 |
| CEMENTACION Y TEMPLE | 21.000 |

TOTAL 339.693,8

B.- Costo de la lista de materiales indirectos descrita en la tabla X:

TABLA X

COSTO DE LA LISTA DE MATERIALES INDIRECTOS

| MATERIALES | COSTO (Suces) |
|----------------------|---------------|
| Oxígeno | 4.500,00 |
| Acetileno | 5.200,00 |
| Disco de esmerilar | 4.200,00 |
| Disco de lijar | 1.300,00 |
| Cuchillas para torno | 6.300,00 |

4.2 COSTOS DE MANUFACTURA

Para efectos de obtener un valor realmente comparable a los costos de construcción de la empresa privada, es decir el costo que engloba ingeniería, mano de obra, dirección técnica, etc., será tomado directamente de costos promedios de empresas locales.

Se estima previamente las horas/hombre usadas detalladas en la tabla XI:

TABLA XI

HORAS/HOMBRE UTILIZADAS EN LA FABRICACION

| <u>PREPARACION</u> | <u>HORAS/HOMBRE</u> |
|----------------------|---------------------|
| Trazado-oxicorte | 10 |
| Esmerilado | 4 |
| soldadura | 8 |
| MECANIZADO | |
| Torneado fresa madre | 8 |
| Fresado fresa madre | 12 |
| Torneado sinfin | 10 |
| Torneado rueda | 8 |

| <u>PREPARACION</u> | <u>HORAS/HOMBRE</u> |
|---------------------------|---------------------|
| Fresado rueda | 10 |
| Tornado cajeras | 24 |
| Fresado chaveteros | 6 |
| Cepillado chavetero rueda | 4 |
| Taladrado | 6 |
| Machuelado | 6 |
| INGENIERIA Y MONTAJE | |
| Montaje mecánico | 24 |
| Diseño mecánico | 40 |
| Supervisión | 20 |
| <hr/> | |
| TOTAL HORAS/HOMBRE | 200 |

Aplicando ahora un costo de hora/hombre, tomado promedialmente entre empresas locales de construcción, tenemos:

COSTO Hora/Hombre S./ 880,00

Entonces:

TOTAL COSTO MANUFACTURA S./ 176.000,00

=====

4.3 COSTO TOTAL

El costo total a la fecha (Noviembre 1.988), es la suma de los costos de materiales directos e indirectos más los costos de manufactura, lo cual resulta:

COSTO TOTAL S./ 548.443,80

Para poner el reductor un precio de venta, se hace el siguiente análisis:

El precio de un reductor de velocidad importado a la fecha anterior, con iguales características al del presente informe es de S/. 1'450.000. Con una utilidad de 33 % en la venta del reductor fabricado localmente, es decir, un precio de venta S/. 830.000, se obtiene un precio competitivo con respecto al reductor importado. Esta utilidad puede aumentar bajando los costos de fabricación, lo cual se puede lograr fundamentalmente con una producción en serie.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez que ha terminado la fabricación del reductor de velocidad tipo sinfín-rueda, puedo decir que el resultado ha sido satisfactorio, tanto en funcionamiento como en la disponibilidad en el mercado local de los materiales para la construcción de los componentes.

Con estas condiciones favorables para la fabricación de reductores de velocidad puedo concluir lo siguiente:

- Se crea la posibilidad de formar una industria en nuestro país que fabrique este tipo de equipo mecánico y otros afines.
- Se evita la fuga de divisas.
- Se generan fuentes de trabajo.
- Que existe mano de obra calificada para fabricar este tipo de producto.

Con la experiencia obtenida en el presente trabajo puedo puntualizar las siguientes recomendaciones.

1 .- Reemplazando u optimizando procesos de fabricación, como por ejemplo, el de construir la caja en hierro fundido en lugar de planchas de acero electrosoldada; se pueden bajar considerablemente los costos de fabricación, y además se le puede dar al reductor un mejor acabado. El reemplazar la soldadura también se evitan otros problemas como deformaciones.

Al bajar los costos de fabricación y obtenido un margen de utilidad apreciable, se pueden ofrecer reductores con precios tales que los inversionistas en general se decidan por un producto nacional.

2 .- En nuestro país se debe utilizar la tecnología y sus procesos, en la construcción no sólo de piezas como parte del mantenimiento de una máquina o equipos, sino en la construcción de dichas máquinas, las cuales con ciertas modificaciones se pueden fabricar con los mismos resultados de la máquina o equipo original.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- SHIGLEY - MITCHELL. Diseño en Ingeniería Mecánica, New York, McGraw-Hill Inc., 1.983
- 2.- V. M. FAIRES. Diseño de Elementos de Máquinas, Barcelona, Montaner y Simon S.A., 1.970
- 3.- HELMUT ERNST. Aparatos de Elevación y Transporte, Tomo I, Principios y Elementos Constructivos, Barcelona, Editorial Blume,. 1.970
- 4.- MARKS, Manual del Ingeniero Mecánico, New York, Mac - Graw Inc., 1.987
- 5.- BEGEMAN - AMSTEAD. Procesos de Fabricación, México, C.E.C.S.A., 1.971
- 6.- STRANEO - CONSORTI, El Dibujo Técnico Mecánico, Barcelona, Montaner y Simon S.A., 1.969
- 7.- A. L. CASILLAS. Máquinas, Cálculos de Taller, Madrid, Ediciones Máquinas, 1.984
- 8.- BROWNING. Nº 8, Power Transmission Equipment, U.S.A, 1.975

- 30
- 9.- MORSE SP-79. Power Transmission Products, U.S.A, 1.979
 - 10.- SKF. Catálogo General, Alemania, 1.982
 - 11.- ASSAB. Manual de Aceros Especiales.