

REPÚBLICA DE CUBA.
MINISTERIO DE EDUCACIÓN SUPERIOR.
UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS.
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA



TRABAJO DE DIPLOMA

TÍTULO:

**MODIFICACIÓN DE DISEÑO Y TECNOLOGÍA DE
MAQUINADO EN EL CARTER DEL REDUCTOR DE LOS
ENFRIADORES POR AIRE EN LA REFINERÍA DE
PETRÓLEO "CAMILO CIENFUEGOS"**

AUTOR: YOANDRYS M. VÁZQUEZ CABRERA.

**TUTORES: Dr. RAFAEL A. GOYTISOLO ESPINOSA (UCF).
Dr. YOVANY LLODY GARCÍA (UCF).
Ing. JORGE IBÁN ÁGUILA LÓPEZ (CUVENPETROL S.A).**

**"AÑO 54 DE LA REVOLUCIÓN"
CIENFUEGOS, JUNIO 2012.**

Pensamiento

*“... la juventud es la edad del crecimiento y del desarrollo, de la actividad y de la viveza, de la imaginación y el ímpetu...”.
Cuando se es joven, se crea. Cuando se es inteligente, se produce. No se adapta, se innova: la medianía copia; la originalidad se atreve.*

José Martí

Agradecimientos:

- ★ *Especialmente a mis padres y familia, los cuales siempre me acompañaron y apoyaron desde el inicio de mis estudios para llegar donde estoy.*
- ★ *A mi esposa e hijos, a quienes adoro mucho y su presencia siempre fue mi energía y eterna inspiración.*
- ★ *A mis tutores Dr. Rafael Antonio Goytisoló Espinosa, Dr. Yovany Llodý y al Ing. Jorge Ibán Águila, quienes me ofrecieron su ayuda y conocimientos para hacer posible la realización de este trabajo.*
- ★ *A mi gran amigo entrañable ing. Ariochi Bacallao, que su ejemplo me motivó a no ceder jamás en el camino.*
- ★ *A mis amigos que siempre me extendieron su mano y me brindaron su apoyo desde mucho antes de comenzar mis estudios universitarios.*
- ★ *A todos aquellos profesores que con su dedicación y paciencia moldearon mi preparación y formación durante estos seis años.*
- ★ *A mis compañeros de grupos, a los que están y a los que por diferentes razones no han podido estar hoy aquí conmigo, por todos los años que hemos compartidos juntos.*
- ★ *A mis compañeros de trabajo de la brigada de maquinado Nro.2 del taller de mantenimiento, en especial a nuestro Jefe de Taller David Oscar Hernández por su formidable apoyo.*
- ★ *A todos mis amigos de la empresa Oleohidráulica Cienfuegos donde inicié mis primeros pasos como profesional.*
- ★ *A mis hermanos, hermanas y que los mismos vean en mí un ejemplo a seguir.*
- ★ *Y a todos aquellos que de una manera u otra, han formado parte de mi formación, ayudándome a convertirme en un profesional mucho más preparado.*

A todos, mi eterna gratitud



Hago constar que el presente trabajo fue realizado en la Universidad de Cienfuegos: “Carlos Rafael Rodríguez” como parte de la culminación de los estudios de la Ingeniería Mecánica, autorizando a que el mismo sea utilizado por la institución para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos ni publicado sin la aprobación del autor.

Firma del Autor

Los abajo firmantes, certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdos de la dirección del centro y el mismo cumple los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura, referido a la temática señalada.

Firma del tutor

Información Científico Técnica

Nombres y Apellidos

Computación

Nombres y Apellidos

Con el siguiente trabajo pretendemos dar solución a un problema presentado con el carter del reductor del ventilador de los enfriadores por aire perteneciente a la planta de proceso de productos ligeros en la Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos”. Esta pieza, proveniente de fabricación soviética sobre la década de los años 80 y construida de hierro fundido en su totalidad, tiene la particularidad de sostener en su interior los restantes elementos que integran el conjunto ventilador y en particular una cavidad para el alojamiento del cojinete de rodamiento cuyo diámetro nominal es de 215mm. Este alojamiento debido a las condiciones de trabajo que funciona el ventilador y su tiempo excesivo de explotación presenta un elevado desgaste que ha provocado la parada total del equipo, pues al ser pieza única y con la caída del campo socialista, la fábrica ya no cuenta con carter de repuestos para las distintas baterías de ventiladores.

El tema por este sentido puede agravarse, entonces fue necesaria su recuperación y dedicar este trabajo a modificar y recuperar el carter averiado para que continúe con la prestación de servicio, empleando para su proceso tecnológico máquinas herramientas con tecnología CNC a partir del Ac-45 como material de prueba en la construcción de un casquillo intercambiable.

Carter, reductor, conjunto ventilador, enfriadores por aire.

INTRODUCCIÓN.....	10
HIPÓTESIS:	11
OBJETIVO GENERAL:.....	11
OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	11
TAREAS A REALIZAR:	11
CAPÍTULO I: Caracterización de los Ventiladores de los Enfriadores por aire, de sus Reductores Tipo 3ABG-610 IYE (3ABГ-610ИЭ) y de las diferentes averías que se han producido en los mismos.	12
1.2 Características de los motores de los ventiladores.....	13
1.3 Caracterización de los Reductores 3ABG-610 IYE (3ABГ-610ИЭ) de la transmisión de los ventiladores.	13
1.4.1 Papel que juegan los enfriadores en nuestra industria.	16
1.4.2 Especificaciones para el montaje de los Reductores.	17
1.4.3 Especificaciones para el arranque y prueba de los Reductores.....	18
1.4.5 Descripción de las operaciones en cada Mantenimiento Técnico.....	18
1.5. Algunas de las averías que se presentaron durante el funcionamiento de algunos ventiladores.	24
1.5.1 Avería en el ventilador A-107.	24
1.5.2. Avería en el ventilador A-106.	25
1.5.3 Avería en el ventilador A-107.	26
1.5.4. Avería en el ventilador A-106.	26
1.5.5 Avería en el ventilador A-111-2 .mayo-09.....	27
1.6 Resumen de las averías más importantes observadas e ilustración con las fotos del aspecto externo de las mismas.....	29
1.6.1. Fractura de los Dientes del Piñón.....	29
1.6.2 Fractura de los Remaches de sujeción de la corona al manguito.	30
1.6.3 Aplastamiento del chavetero en el árbol en la unión camisa-árbol.	30
1.6.4 Fractura del cojinete de bolas radial rígido inferior.	31
1.6.5 Fractura del acoplamiento del motor con el árbol del piñón del reductor.....	32
1.7 Causas de fallo:	32

1.7.1 Propuesta de solución al problema:	32
1.8 Ciencia de los Materiales:	33
1.8.1. Estudio del material de construcción de las nuevas piezas:	33
1.9 Medidas de protección e higiene a cumplimentar.	36
1.10 Conclusiones parciales del Capítulo I.	36
CAPÍTULO II: Modificación de diseño en el carter del reductor averiado Tipo 3ABG-610 IYE (3ABГ-610ИЭ) para su recuperación.	37
2.1 Esquema de análisis considerando la elasticidad angular de los cojinetes de rodamientos.	37
2.2 Cálculo de las fuerzas sobre la corona cónica en el eje.	40
2.3 Selección y cálculo para el ajuste por interferencia entre en rodamiento y el casquillo.	41
2.4 Cálculo del apriete mínimo admisible.	44
2.5 Cálculos de intercambiabilidad.	45
2.6 Cálculo y selección del tipo de ajuste entre el diámetro interior en el carter del reductor y el casquillo intercambiable.	46
2.6.1 Cálculo de las desviaciones.	46
2.6.2 Cálculo de las dimensiones límites.	46
2.7 Selección del equipamiento, accesorios y herramientas para realizar el trabajo.	48
2.8 Proyección de las tecnologías mecánicas.	49
2.9 Cálculo de los regímenes de corte en el maquinado del carter.	49
2.9.1 Decidir la aplicación de mecanizado (AD).	50
2.9.2 Escoger la elaboración interior o exterior (ela).	50
2.9.3 Tiempo de vida útil de la herramienta:	50
2.9.4 Escoger la forma de la plaquita (f_p) y el ángulo de posición ($kr = \varphi$).	50
2.9.5 Longitud de bordes cortante de la plaquita (l_p).	50
2.9.6 Selección del código del vástago (d_v).	51
2.9.7 Obtención del régimen de corte.	51
2.9.8 Determinación del radio de la punta (r_e).	51
2.9.9 Cálculo del número de pasadas (i) y la profundidad de corte (t).	52
2.9.10 Cálculo de la velocidad de corte.	52

2.9.11 Se recalcula la V_c con n del torno:	52
2.9.12 Potencia de corte.	53
2.9.13 Cálculo del tiempo principal:.....	53
2.10 Manufactura. Procesos tecnológicos.	54
2.10.1 Diseño del dispositivo especial de centrado para carter del reductor.	55
2.11 Determinación de la altura en el dispositivo especial de centrado.	56
2.12 Secuencia tecnológica del proceso de maquinado en el carter del reductor.....	59
2.13 Cálculo de los regímenes de corte en la fabricación del casquillo intercambiable.	62
2.13.9 Cálculo del número de pasadas (i) y la profundidad de corte (t).	64
2.13.10 Cálculo de la velocidad de corte.....	64
2.13.11 Se recalcula la V_c con n del torno:.....	64
2.13.12 Potencia de corte.	64
2.13.13 Cálculo del tiempo principal:	64
2.14 Metodología del cálculo del taladrado.....	65
2.14.1 Selección del tipo de broca.....	65
2.14.2 Obtención de la velocidad de corte (V_c) y el avance (S).	65
2.14.3 Cálculo de n (r/min.).....	65
2.14.5 Cálculo de la velocidad de corte real.	66
2.14.6 Cálculo de la potencia de corte y comprobación.	66
2.14.7 Cálculo del tiempo principal:.....	66
2.15 Diseño y construcción del casquillo intercambiable.....	67
2.16 Secuencia tecnológica del proceso de fabricación del casquillo intercambiable.	68
2.17 Conclusiones Parciales del Capítulo II.	74
Análisis Económico	75
3.1 Determinación del costo de fabricación.	75
3.2 Costo de fabricación por recuperación en el carter del reductor.	76
3.3 Costo de fabricación del casquillo intercambiable.....	76
3.4 Conclusiones parciales del capítulo III.	79
CONCLUSIONES GENERALES	80
RECOMENDACIONES	81
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	82

BIBLIOGRAFÍA.....	83
-------------------	----

INTRODUCCIÓN

La Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos” es una de las grandes inversiones que se iniciaron en la década del 80 con la colaboración de la desaparecida Unión Soviética, comenzó su etapa de proyección en el período comprendido entre 1977 a 1983 y su construcción y montaje de 1983 hasta 1990. El 10 de abril del 2006 se constituye la Empresa Mixta consolidándose como una empresa de gran prestigio en el área del Caribe bajo el nombre CUVENPETROL S.A (Petróleos Cuba y Venezuela). Se encuentra situada en la zona costera de la bahía de Cienfuegos, por lo que el cuidado del entorno natural es tarea importante en esta industria. Por sus características de funcionamiento, en la misma se presentan disímiles problemas mecánicos los cuales hay que saber resolver con rapidez y eficacia para el buen funcionamiento de la planta.

La recuperación del carter del reductor del conjunto ventilador, pieza única de su tipo y puesta en cuestión en este trabajo fue modificado por los técnicos del área y cuya tecnología de fabricación fue elaborada en el taller de mantenimiento Título 36 por máquinas herramientas universales y de control numérico, esta modificación para la recuperación del carter del reductor tuvo como objetivo lograr la continuidad del funcionamiento del conjunto ventilador empleado en los enfriadores por aire conectados los mismos a la salida de los hornos. Para lograr con éxito tal recuperación, fue necesario modificar el diseño y la realización del proceso tecnológico del maquinado en el alojamiento dañado del carter así como la fabricación de un casquillo intercambiable en su lugar que permitiera en reparaciones futuras una vez dañado sustituirlo por otro. Para el correcto proceso tecnológico en la recuperación del carter fue necesario el diseño y la fabricación de un dispositivo guía que ayudara al centrado del carter en el torno vertical CNC y de otro dispositivo que permitiera el rectificado interior del casquillo intercambiable para el alojamiento del cojinete de rodamiento de Ø 215mm y de esta manera satisfacer las exigencias tecnológicas y de diseño planteadas.

PROBLEMA A RESOLVER:

Producto al régimen de trabajo al que está expuesto el ventilador (cargas, vibraciones y elevado tiempo de explotación) se ha deteriorado la cavidad del alojamiento para el cojinete de Ø 215mm en el carter del reductor provocando la paralización del mismo, pues al ser el carter pieza única la entidad no cuenta con repuestos.

HIPÓTESIS:

Mediante el empleo de tecnologías de maquinado y la correcta selección del material será posible lograr la recuperación del carter del reductor del conjunto ventilador de los enfriadores por aire con la calidad requerida por diseño.

OBJETIVO GENERAL:

Desarrollar una tecnología de maquinado para el carter y fabricación del casquillo intercambiable.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- ✓ Análisis del tema actual en la empresa.
- ✓ Diseño y fabricación del casquillo intercambiable.
- ✓ Determinar los procedimientos de intercambiabilidad presentes en la recuperación.
- ✓ Valorar económicamente la recuperación del carter.

TAREAS A REALIZAR:

- ✓ Revisión del estado técnico de los elementos del ventilador.
- ✓ Definir los ajustes requeridos de los elementos acoplados.
- ✓ Empleo de software mecánico de diseño para la confección de piezas.
- ✓ Estudio metalográfico del material a elaborar.
- ✓ Establecer la tecnología de fabricación adecuada a dicho elemento.
- ✓ Determinar el costo fabricación del casquillo y del carter.
- ✓ Definir las medidas de seguridad a cumplimentar.

CAPÍTULO I: Caracterización de los Ventiladores de los Enfriadores por aire, de sus Reductores Tipo 3ABG-610 IYE (3ABГ-610ИЭ) y de las diferentes averías que se han producido en los mismos.

1.1 Caracterización de los Enfriadores por aire de la Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos”.

Los Enfriadores de Productos Ligeros de la Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos” no son más que una batería de intercambiadores de tubos aleteados, dispuestos de forma inclinada sobre una estructura de acero tal como se muestra en la Fig. 1.1 a). Debajo de la estructura están dispuestos los ventiladores con su correspondiente motor y transmisiones y los difusores, Fig. 1.1 b), que tienen la función de orientar el flujo de aire desde cada ventilador, con un mínimo de pérdidas volumétricas, para que circule adecuadamente por el espacio entre tubos, enfriando de esta manera el producto que circula por los intercambiadores.



a)



b)

Fig. 1.1 Enfriadores de Productos Ligeros

1.2 Características de los motores de los ventiladores.

Los datos técnicos de los motores eléctricos de los ventiladores se refieren en la Tabla 1.1

Tabla 1.1 Datos Técnicos de los Motores de los Ventiladores.					
Tipo	Voltaje(V)	N(kW)	n(r/min)	In(A)	Factor Potencia
BAO-82-8T2	440	30	880	56	0,84

1.3 Caracterización de los Reductores 3ABG-610 IYE (3ABГ-610ИЭ) de la transmisión de los ventiladores.

Tabla 1.2. Datos Técnicos de los Reductores 3 ABG - 610 IYE.							
Potencia Máxima en el eje conductor motriz						45 kW	
Revoluciones por minutos del eje horizontal						980 r/min.	
Relación de transmisión						2,27:1	
Datos de las ruedas de la transmisión.							
m (mm)	Zp	Zc	α (°)	β (°)	B (mm)	α_p (°)	α_c (°)
9	11	25	20	35	41	23,75	66,25

En la Fig. 1.2 se muestra la vista externa de los reductores en la posición vertical en que van colocados en los ventiladores y un plano del mismo donde se aprecia la disposición de las ruedas y la de los cojinetes de apoyo. El árbol de la corona posee en su parte superior un cojinete de bolas radial en combinación con una axial y en la inferior un cojinete radial.



Fig. 1.2 Vista externa del motor eléctrico y el reductor.

1.4 Caracterización y funcionamiento de los Ventiladores en los Enfriadores por aire.

El conjunto ventilador está integrado por diferentes piezas cuyo objetivo primordial es producir un flujo de aire y llevarlo hasta los enfriadores, elemento este formado por tubos aleteados para que se realice el proceso de intercambio de calor. Para lograr tal efecto, el motor eléctrico es el encargado de ofrecer el torque necesario quien está acoplado con el reductor mediante un semi-coupling. El movimiento llega al eje del ventilador instalado de forma vertical mediante una transmisión entre piñón – corona, de dientes helicoidales, la corona es sujeta a una camisa a través de una unión remachada por doce remaches y la misma al eje por una chaveta que finalmente llegan las revoluciones obtenidas hasta el álabe de seis paletas quien desarrolla el caudal necesario de aire al enfriador. En este conjunto, otras de las piezas presente es el casquillo intercambiable en el extremo superior. El carter es la carcasa encargada de proteger en su interior la mayoría de los elementos que forman el conjunto ventilador y de ser el elemento de anclaje a la base. Tiene forma de embudo, contiene una altura de 800mm, diámetro menor de 300mm y un diámetro mayor de 680mm, construido totalmente de hierro fundido con dos cojinetes de rodamientos en ambos extremos quienes mantiene suspendido al eje. También está dotado de una cavidad para la

acumulación de aceite para el enfriamiento de los rodamientos. Los ventiladores son del tipo de flujo axial y giran a una velocidad de 423 r.p.m.

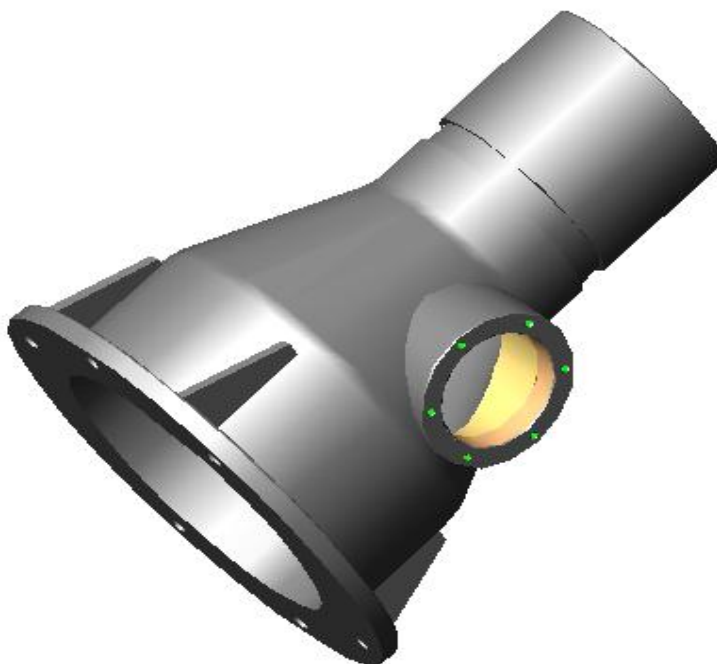


Fig. 1.3 Vista isométrica del Carter del reductor.

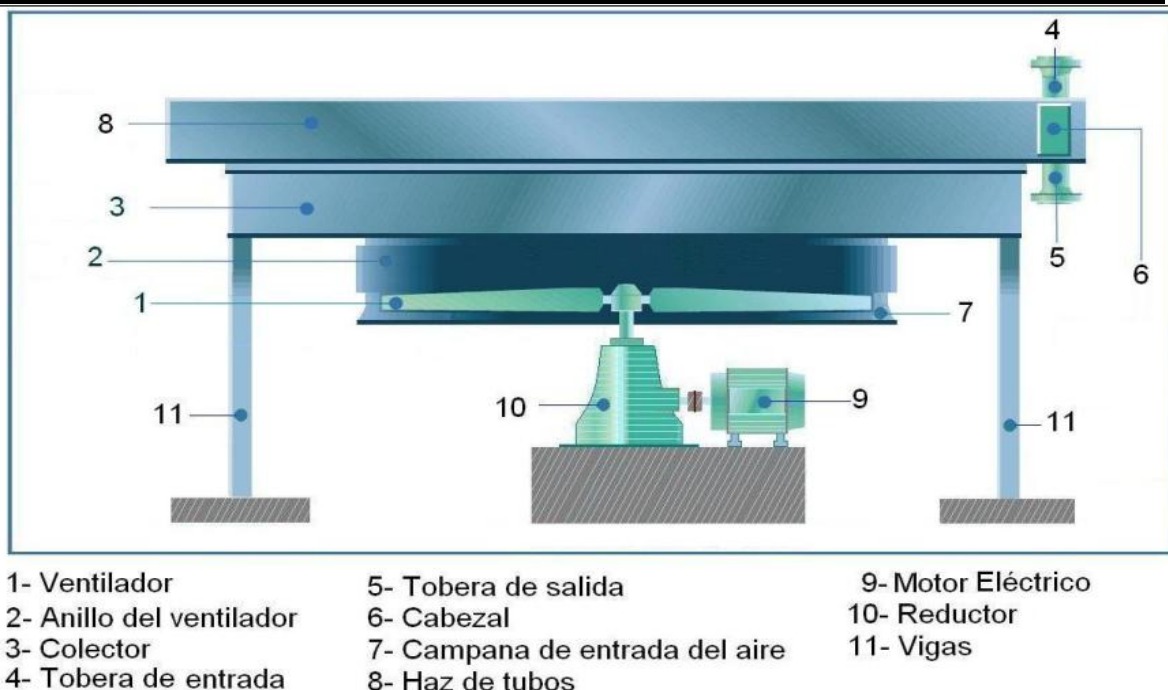


Fig. 1.4 Esquema de los ventiladores en los enfriadores por aire.

1.4.1 Papel que juegan los enfriadores en nuestra industria.

El papel que juega los enfriadores por aire en nuestras instalaciones es sin duda extraordinario tanto los de topes de torres, los de reflujos recirculantes y productos a tanque, la confiabilidad operacional de los sistemas así como la calidad final del producto donde se encuentran instalada esta tecnología depende grandemente de estos equipos ya que son los encargados de mantener los parámetros tanto de temperatura como presión.

La salida de servicio de los enfriadores por aire, debido al fallo de unos de sus elementos provocaría inestabilidad en el proceso en un mayor o menor grado, por citar ejemplo, el fallo de uno de los enfriadores 4A-01-401 enfriadores del tope de la torre 04T-401 provocaría un incremento de la temperatura del tope y paralelamente un incremento de la presión lo cual si no se toman todas las medidas pertinentes con la premura que requiere se pudiera activar el sistema de

parada por emergencia así como disparos de las válvulas de seguridad, todo esto incide directamente tanto en la fiabilidad como en las pérdidas de la planta y por lo tanto en la calidad del producto en este caso el GLP, de manera parecida fuese si el fallo ocurriera en los A-101, A-102 o A-103 enfriadores de los toques de la 01T-101, 01T-102, 01T-104 respectivamente, un caso que al parecer no es tan consecuente pero que si tiene un gran efecto es la salida de servicio de algunos de los que enfrían los productos a tanque.

En este caso la planta no se desestabiliza, ni ocurriría parada por emergencia, ni disparos de válvulas de seguridad pero por ejemplo la salida del 01A-107 equipo que enfría la fracción 180-350 antes de ir a tanque por fallo anteriormente mencionado provocaría que el producto fuese con una mayor temperatura para tanque que de ser esta mayor a la temperatura de inflamación aumentaría la probabilidad de un incidente que pudiera convertirse en una catástrofe. De manera simple y resumida se pretende catalogar la importancia de estos equipos que sin duda se están convirtiendo en foco rojo en nuestra instalación.

1.4.2 Especificaciones para el montaje de los Reductores.

1. El conjunto del reductor del aparato de enfriamiento por aire está compuesto por el reductor y el motor eléctrico.
2. Antes del montaje es necesario realizar la revisión técnica del reductor.
3. El reductor se monta en su base y el apriete final se realiza después de realizar alineación de la rueda y paletas del ventilador montadas en el eje vertical del reductor con respecto al reductor.
4. Después del apriete de la base del reductor comprobar la alineación del reductor, la cual se realiza alineando el motor eléctrico con respecto al reductor.
5. La desalineación en el plano vertical entre la superficie diametral del semi-coupling del reductor con respecto al motor no debe ser mayor de 0.2mm.
6. La distancia u holgura entre los semi-coupling debe de estar entre 2 y 6mm.

7. Entre los semi-coupling puede haber un ángulo de inclinación de 0° hasta 15°.
8. Para determinar el valor del ángulo de inclinación se mide el valor de C y B, con la diferencia se determina el valor del ángulo.
9. La diferencia entre C y B no puede ser mayor de 1mm.

1.4.3 Especificaciones para el arranque y prueba de los Reductores.

1. Antes del arranque comprobar que el nivel de aceite este en la marca superior.
2. Engrasar los cojinetes radial y axial de la parte superior del eje vertical.
3. La prueba de trabajo del reductor se efectúa con el objetivo de comprobar su capacidad de trabajo. Durante la prueba del reductor se comprueba la temperatura de los cojinetes, se comprueba que no existan ruidos extraños ni golpeteo. También se recomienda realizar la medición de la potencia que está consumiendo.
4. La prueba del reductor en puesta en marcha se realiza durante 2hrs con un ángulo de inclinación de las paletas del ventilador de 10°.

1.4.4 Mantenimientos técnicos que se le efectúan a los Reductores.

1. Inspección técnica, **cada 1 440 hrs. ----- 2 Meses**
2. Reparación pequeña, **cada 4 320 hrs.----- 6 Meses**
3. Reparación mediana, **cada 8 640 hrs.----- 12 Meses**
4. Reparación capital, **cada 25 000 hrs.----- 2 Años y 89 Días**

1.4.5 Descripción de las operaciones en cada Mantenimiento Técnico.

1.4.5.1 Inspección técnica.

1. Comprobar el nivel de aceite y en caso de ser necesario rellenar.
2. Engrasar los rodamientos de la parte superior del eje vertical.
3. Limpieza de los restos de grasa y suciedad de la parte externa del reductor.
4. Comprobar el trabajo del reductor y cerciorarse que no tenga ruidos extraños ni golpeteo.

1.4.5.2 Reparación pequeña.

1. Realizar todos los trabajos de la inspección técnica.
2. Comprobar el apriete de todas las uniones roscadas.
3. Comprobar y regular la posición y ajuste de los cojinetes eje conductor motriz.
4. Abrir la tapa del reductor y comprobar el estado del engranaje de la corona y el piñón.
5. Efectuar las mediciones de la holgura lateral entre los dientes del engranaje (entre el piñón y la corona) esta holgura es de (0.20—0.40), comprobar el correcto engranaje, con la pintura azul que se efectúa una fina película en el piñón motriz y cuando se gira según la mancha que deja en el diente de la corona se comprueba la correcta posición de los pares.
6. Cambiar el aceite de lubricación.
7. Comprobar la alineación del reductor con el motor.

1.4.5.3 Reparación mediana.

1. Desmontar del eje vertical la rueda del ventilador con las paletas.
2. Desacoplar el semi-coupling y desmontar el reductor.
3. Realizar el desarme completo del reductor.
4. Comprobar el estado del engranaje del piñón y la corona, si es necesario cambiar los pares.
5. Comprobar los cojinetes y el sello del reductor, comprobar también el acoplamiento (coupling), si es necesario cambiarlos.
6. Armar el reductor.
7. Comprobar el reductor durante 8hrs.poner el ángulo de las paletas en 10° y aumentarlo cada dos horas hasta el ángulo de trabajo de 20°. Si no se cambian los pares se comprueba el trabajo del reductor durante dos horas con un ángulo de inclinación de las paletas del ventilador de 10°. Se comprueba

temperatura de los cojinetes, que no existan ruidos extraños y se comprueba el consumo eléctrico.

8. Después de realizar la reparación mediana se tiene que probar el reductor durante 8 hrs.

1.4.5.4 Reparación capital.

1. En la reparación capital se efectúan todos los trabajos de la reparación mediana más la defectación y cambio de los componentes que sean necesarios.
2. Con la puesta en marcha de un nuevo reductor, y después de efectuar una reparación mediana y una capital (en caso de cambio de los pares de piñón y corona), las dos primeras revisiones técnicas que le toquen por planificación se deben realizar con un volumen de reparación pequeña.
3. Después de realizar la reparación capital se tiene que probar el reductor durante 8 hrs. Las dos primeras horas de pruebas el ángulo de inclinación de las paletas del ventilador debe de ser de 10° y después ir aumentando el ángulo paulatinamente durante las otras 6 hrs. restantes cada dos hrs. hasta llegar al ángulo de inclinación de trabajo de 20°. Esto se efectúa en caso del cambio del par de piñón corona.

1.4.5.5 El desarme y la regulación del eje motriz del reductor.

El desarme y regulación del eje motriz del reductor se realiza en el siguiente orden:

1. Primeramente se desmonta el eje motriz del reductor. Posteriormente se quita la tuerca 1, la arandela 2, la camisa dentada 3, el sello 4, quitar los tornillos de la tapa 5, quitar la tapa, la arandela de apoyo 6 y el cojinete 7.
2. Se hace necesario para regular el ajuste del eje motriz, regular la arandela de regulación y se realiza de la siguiente manera:
3. Disminuir hasta el valor necesario la suma del grosor de las arandelas de regulación. Se recomienda preparar 8 arandelas de la siguiente dimensión (2.00—2.02), (2.05—2.07), (2.15-2.17), (2.25-2.27), (2.35—2.37), (2.45—2.47),

(2.55—2.57), (2.60—2.62). La selección del par de arandelas se puede efectuar cambiando la suma del grosor cada 0.05mm. Después del montaje de los elementos el apriete de la tuerca de ajuste del piñón motriz se realiza con una fuerza de 20 - 25 kgf.

4. Cerciorarse de la correcta regulación y montaje de los cojinetes del eje motriz: El piñón motriz no puede tener juego axial al tacto. La fuerza necesaria para que gire el eje motriz debe de ser de 2.5—3 kgf (Fig. 1.5) Con la terminación de la regulación sellar la tuerca final.

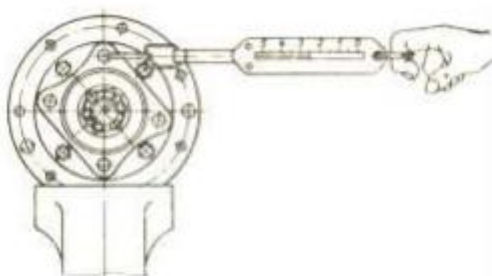


Fig. 1.5 Control de fuerza necesaria para el giro.

1.4.5.6 Comprobación y regulación del ajuste de los cojinetes del eje motriz sin el desmontaje y desarme del reductor.

1. Desacoplar el reductor del motor eléctrico, separar el motor eléctrico y quitar el semi-acoplamiento.
2. Quitar el aceite del reductor.
3. Desmontar el eje conductor motriz del reductor.
4. El posterior trabajo realizarlo según punto 4.1, 4.2 y 4.3.

1.4.5.7 Regulación del engranaje entre los dientes del piñón y la corona.

1. El engranaje cónico de los dientes del piñón y la corona es necesario regularlo de tal forma que engranen o hagan contacto en la distancia requerida a lo largo del diente y entre los dientes, siendo la holgura lateral entre los dientes de 0.20—0.40 mm.

2. La holgura lateral entre los dientes se puede comprobar aproximadamente sin desarmar el reductor por el movimiento o desplazamiento angular del coupling, manteniendo fijo la rueda con las paletas del ventilador, con una holgura normal de engrane el movimiento o traslación libre del coupling debe ser de 1—1.5 mm. Esta holgura lateral se comprueba con más exactitud con una plancha de plomo.
3. El correcto engranaje entre los dientes del piñón y la corona se realiza dándole una fina película de pintura azul al piñón .se rotan los pares, según quede la mancha en el diente de la corona se determina si el engranaje es el correcto. En un correcto engranaje la huella o mancha de pintura queda en el centro de la altura del diente hacia el extremo más fino como se observa en el siguiente dibujo.

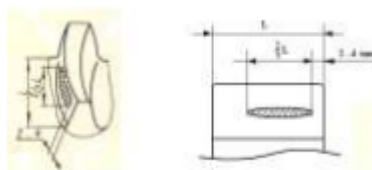
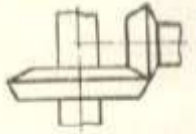
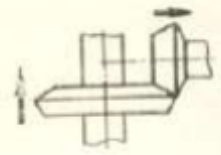
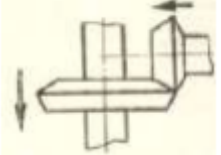
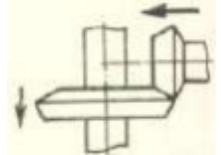


Fig. 1.6 Especificaciones de la mancha de contacto.

La regulación de la posición del engranaje entre el piñón y la corona se efectúa con los laines horizontalmente y vertical con la tuerca que está en la parte superior del eje vertical la regulación se efectúa como se demuestra en la Tabla 1.3.

Tabla 1.3 Pasos para la regulación del engranaje cónico de las ruedas dentadas.			
Posición de la mancha de contacto en el diente del engranaje conducido.		Método para la regulación	Esquema de regulación del engranaje
Giro normal	Giro contrario		

		Correcta posición de engrane	
		Con la posición de la huella de contacto en la parte ancha del diente, mover la rueda del eje conducido hacia la rueda conductora, si con esta acción la holgura lateral de los dientes es demasiado pequeña mover hacia fuera el piñón conductor.	
		Con la posición de la huella de contacto en la parte estrecha del diente, retirar o mover hacia abajo la rueda conducida de la conductora, si con esta acción la holgura lateral entre los dientes es demasiado grande, mover hacia dentro el piñón conductor.	
		Con la posición de la huella de contacto en la parte superior del diente mover la rueda conductora hacia la conducida, si la holgura lateral es poca, mover hacia abajo o retirar la rueda conducida.	

		Con la posición de la huella de contacto en la parte inferior del diente, mover o retirar hacia fuera la rueda conductora de la conducida, si la holgura lateral es demasiado grande, mover la rueda conducida hacia arriba.	
---	---	--	---

1.4.5.8 Tipos y cantidad de cojinetes de rodamientos del reductor.

Rolletes cónicos 7613y (árbol del piñón).	1
Rolletes cónicos 7610y (árbol del piñón).	1
Caja de bolas radial de simple hilera 224 (árbol de la corona).	2
Rodamiento axial 8324(árbol de la corona).	1

1.5. Algunas de las averías que se presentaron durante el funcionamiento de algunos ventiladores.

1.5.1 Avería en el ventilador A-107.

El día 25 de marzo del 2009 se ejecuta una revisión al ventilador A-107 y se detecta partido tres remaches de la corona.

Resultado de inspección y defectación:

- Tres remaches de la corona partido.

- El resto de los remaches de fijación de la corona flojos.
- Corona y piñón en buen estado.
- Se decide dejarlo trabajando para crear las condiciones.

Trabajos realizados:

- El día 26 se cambia el reductor por uno nuevo con mantenimiento ejecutado.
- El día 27 se pone en servicio y esta OK.

Recomendación:

- Planificar la recuperación de este reductor fabricando y montando nuevos los remaches de fijación de la corona.

1.5.2. Avería en el ventilador A-106.

El día 15 de abril del 2009 se ejecuta una revisión al ventilador A-106 ya que presentaba ruido durante su funcionamiento.

Resultado de inspección y defectación:

- Los remaches de la corona en buen estado.
- Corona en buen estado.
- Piñón con dientes partidos.
- Chaveta de la camisa de la corona machucada al igual que el chavetero en la camisa y el chavetero en el eje deformado.

Trabajos realizados:

- El día 21 se cambia el reductor por uno nuevo con mantenimiento ejecutado
- El día 22 se pone en servicio y funciona en buenas condiciones.

Causa de la avería:

- No se precisa la causa, se reporta que la unión por chaveta falla por diversas y posibles razones.

Recomendación:

- Investigar la causa de esta falla que ya es bastante típica de igual forma con las piezas de repuesto y en conjunto con la universidad.
- Planificar o preparar la tecnología de recuperación y/o Mantenimiento de este reductor.

1.5.3 Avería en el ventilador A-107.

Este reductor se había cambiado por uno nuevo en marzo del 2009. El 10 de mayo de 2009 se detectan dificultades en el giro de la corona en el eje principal estático.

Resultado de inspección y defectación:

- Los remaches de la corona en buen estado
- Corona en buen estado.
- Piñón con dientes partidos.
- Chaveta de la camisa de la corona machucada y el chavetero en el eje aplastado.

Trabajos realizados:

- El día 11 se cambia el reductor por uno nuevo con mantenimiento ejecutado.
- Causa de la avería:
- Pendiente de investigar.

1.5.4. Avería en el ventilador A-106.

Esta avería se produce en mayo del 2009, ya este reductor se había cambiado por uno reparado en la Sección 200 en el mes de abril de 2009.

Resultado de inspección y defectación:

- Los remaches de la corona en buen estado.
- Corona con roce por arriba de los dientes.

- Piñón con dientes maquinados completamente los cuales se introdujeron entre los rodillos del rollete trancándolo.
- Roce por contacto entre los acoplamientos del motor y partidos los tornillos de unión entre ellos.
- Tornillos de unión del carter del árbol motriz partido en el cuerpo del reductor.

Trabajos realizados:

- Se cambió el reductor y se monto el A-111-2 reparado.

Causa de la avería:

- La causa con mayor probabilidad es el continuo trabajo con los tornillos de unión del carter con el reductor flojos.

Recomendación:

- Realizar inspecciones semanales a cada reductor.
- Planificar una intervención pequeña a cada reductor a partir del mes de Junio para revisión y diagnóstico de los reductores.

1.5.5 Avería en el ventilador A-111-2 .mayo-09.

En mayo del 2009 trabajando bien, se saca para una reparación mediana por equivocación por horas de trabajo, ya que al que le tocaba era al A-111-1.

Resultado de inspección y defectación:

- Rodamiento radial inferior careado y con ruido GPZ 224 (son 2 iguales uno inferior y otro superior).
- Rodamientos radial superior y axial GPZ 8324 en perfecto estado.
- Rolletes del eje motriz con algunas caries y oxidada las pistas.
- Camisa de la corona con apriete en el eje pero con juego el cual se debe a fractura o deformación en los remaches que esta flojos.
- Piñón y corona aceptables con buen contacto.

- Chaveta de la camisa de la corona machucada al igual que el chavetero de la camisa no así el chavetero del árbol que está aceptable con buen ajuste de la chaveta.

Trabajos realizados:

Se lleva la camisa y se emite la recomendación No. 200 para:

- Modificar los chaveteros del árbol y de la camisa como sigue:
- Largo del chavetero ampliarlo de 100 hasta 125 mm.
- Ancho del chavetero ampliarlo de 21.7 hasta 24 mm.
- Altura total del chavetero ampliarla desde 12 a 14 mm.
- Fabricar chaveta nueva de acuerdo a las medidas del chavetero y según norma de diseño.

En realidad debido a la falla también en el Reductor A-106 lo que se hizo fue:

- Se monta otra corona que estaba en buen estado y se le amplió el chavetero que tenía ancho de 20mm se llevo a 22mm para usar la misma chaveta del A-111-2 que tenía buen ajuste con el árbol.
- Se monta otro eje motriz con su piñón de la 500 ya que al armarlo tenía dificultades en el giro.

Causa de la avería:

- A pesar de no haber fallado ya tenía los síntomas, en este caso existía juego excesivo entre chavetero de la camisa y chaveta y además juego en el ajuste de los remaches por lo de continuar trabajando en estas condiciones inevitablemente se produciría la falla.

Algunas observaciones:

- Según cálculos teóricos realizados las dimensiones de la chaveta y el chavetero por plano resisten las cargas de aplastamiento y de cizallamiento.
- Las dimensiones reales de la chaveta en algunos casos no coinciden con la de los planos.

- Según plano el ajuste de la camisa es con apriete, el cual en la mayoría de los casos se pierde.

Análisis y recomendación.

- Analizar la variante de sustitución de la unión por remaches por unión por tornillos calibrados con tuercas y arandelas de seguridad.
- Ejecutar las modificaciones de la recomendación No. 200 si procede en cada caso.
- Continuar con las reparaciones medianas según plan y ejecutar las modificaciones propuestas en los casos que proceda.

1.6 Resumen de las averías más importantes observadas e ilustración con las fotos del aspecto externo de las mismas.

1.6.1. Fractura de los Dientes del Piñón.

La fractura de los dientes del piñón no es de las averías más frecuentes, y al parecer las ocurridas han surgido por otras causas relacionadas con otras averías que afectan el trabajo de las ruedas, como lo es por ejemplo la fractura de los remaches o las insuficiencias en el ajuste prensado del manguito de sujeción (camisa) con relación al árbol. También puede haber ocurrido por la presencia del algún elemento metálico entre los dientes como puede ser la cabeza de un remache partido. En la Fig. 1.7 se muestra como ha aparecido esta falla.

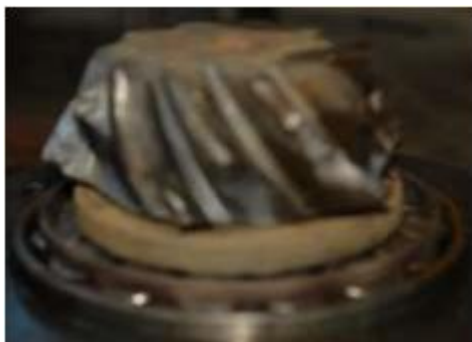


Fig. 1.7 Fracturas del diente del piñón.

1.6.2 Fractura de los Remaches de sujeción de la corona al manguito.

Es una de las averías más frecuentes y puede ser la causa fundamental de las averías del diente del piñón. En la Fig. 1.8 se muestra como aparece esta avería.



Fig. 1.8 Sujeción de la corona en la camisa.

1.6.3 Aplastamiento del chavetero en el árbol en la unión camisa-árbol.

Esta avería ha ocurrido en reiteradas ocasiones y la hipótesis y las propias inspecciones han detectado que ha existido gran holgura entre chaveta y chavetero lo que es inadmisibles en este tipo de uniones. En la Fig. 1.9 se muestra como ha ocurrido la avería, se aprecia como la chaveta se ha encajado en el fondo del chavetero, señal esta que existía gran holgura y se inclinó. También se aprecia que existía evidentemente antes del aplastamiento una gran holgura lateral, que posibilitó la falla.



Fig. 1.9 Colocación de la chaveta en su correspondiente chavetero.

1.6.4 Fractura del cojinete de bolas radial rígido inferior.

El cojinete rígido radial de simple hilera inferior es indudablemente el cojinete de apoyo más cargado pues es el que está más cerca de la corona, por la falla que le ocurrió a este cojinete es extremadamente rara. Se produjo la rotura total del separador y la fractura de los aros. Esta es una falla que indica que ese cojinete está excesivamente sobrecargado posiblemente por el efecto de rigidez al giro, que será analizado en el presente trabajo. En la Fig. 1.10 se muestra la forma en que se manifestó esta avería. Se observa la rotura del separador y la fractura del aro interior.



Fig. 1.10 Fractura de la caja de bola radial de simple hilera inferior.

1.6.5 Fractura del acoplamiento del motor con el árbol del piñón del reductor.

Esta fractura ha ocurrido sólo en una ocasión y al parecer se combinaron varios factores en la misma como pueden haber sido: Una sobrecarga dinámica violenta por causas que hay que analizar, con algún defecto en el material del acoplamiento, unido a la concentración de tensiones propias de los cambios de forma, ya que se cizalló completamente el acoplamiento por la zona de los orificios. En la Fig. 1.11 se muestra como se manifestó esta avería.



Fig. 1.11 Cizallamiento del acoplamiento del motor.

1.7 Causas de fallo:

La causa de fallo del carter del reductor fue que presentó un desgaste en la zona de la cavidad del alojamiento del rodamiento. Esta causa de desgaste tiene varias variantes entre las que figura una incorrecta alineación de los elementos que conforman el conjunto ventilador, demasiada holgura entre el rodamiento y el carter, altas vibraciones producto al régimen de trabajo que está sometido el ventilador.

1.7.1 Propuesta de solución al problema:

Atendiendo a la función que tiene el carter del reductor y la posibilidad de recuperar el mismo, se toma la decisión de rediseñar el elemento en cuestión con la posibilidad de adaptarle un casquillo intercambiable en la zona dañada. El proceso de maquinado del carter del reductor se realizara en torno vertical de control numérico computarizado celosamente las medidas indicadas en el diseño.

1.8 Ciencia de los Materiales:

1.8.1. Estudio del material de construcción de las nuevas piezas:

Acero Grado 45

Posibles sustitutos:

Soviético Acero 50, alemán C45, norteamericano C1045, inglés EN9, francés XC45, sueco 1650, japonés S45C, checoslovaco 12050, húngaro C45X .

Composición química (en %)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
0.42 – 0.49	0.17 – 0.37	0.5 – 0.8	0.04	No más de: 0.04 – 0.25		0.25

Tabla 1.4 Composición química del Acero grado 45

Características y aplicaciones:

Es un noble al carbono que no debe templarse en agua por su tendencia a formar grietas. Se utiliza para piezas sencillas, que deben poseer elevada resistencia mecánica y las cuales trabajen en condiciones de desgaste.

Propiedades tecnológicas:

Tiene soldabilidad limitada, por lo cual se recomienda un calentamiento previo a la soldadura del orden de los 350° C., su templabilidad está limitada a un enfriamiento en aceite o al aire y debe someterse al normalizado para mejorar su maquinabilidad. El régimen de estampado y forjado en caliente se recomienda comenzar a los 1 250° C y concluirlo siempre por encima de los 800° C, a continuación de lo cual debe dejarse enfriar la forjatura al aire. Después de practicada cualquier soldadura es recomendable someter la pieza a un revenido de tipo alto, sobre los 600 - 650° C. Una vez normalizada su resistencia a la tracción es igual o superior a los 61 kg/mm². Su dureza alcanza los 127 HB, la cual se puede aumentar hasta los 285 HB después del temple y el revenido. Estas propiedades lo hacen recomendable, después de tratarlo térmicamente, para la

fabricación de husillos, rodillos, ejes estriados, varillas, ejes, si fines grandes, tornillos de fijación, etc.

Si las piezas mencionadas son delgadas o de diámetro pequeño es mejor sustituir el medio refrigerante del temple por aceite, seguido por un revenido bajo con enfriamiento al aire. Para un éxito mayor se recomiendan los regímenes de tratamiento térmico que se muestran en la Tabla 1.5.

Tabla 1.5. REGIMENES DE TRATAMIENTO TÉRMICO DEL ACERO 45

Procesos del tratamiento térmico	Diámetro o espesor en mm	Temperatura ° C	Medio de enfriamiento	Propiedades mecánicas			Designación
				σb (kg/mm²)	Dureza		
					HB	HRC	
Normalización	Hasta 80	850 – 870	Aire	≥ 61	127	-	Para mejor maquinado
Temple Revenido Temple Revenido	Hasta 80 Hasta 60	820 -840 560 - 600 820 - 840 520 - 550	Agua Aire Agua Aire	≥ 75 ≥ 85	192-241 241-285	-	Piezas que requieran elevada resistencia (árboles, husillos, rodillos estriados, varillas, ejes, sin fines, grandes tornillos de fijación)
Temple Revenido		830 – 850 280 – 320	Aceite Aire	≥ 90	-	35 - 40	Aumenta la dureza de piezas finas de compleja configuración.
Temple Revenido Revenido	Hasta 40	820 -840 300 – 350 180 - 220	Agua Aire Aire	≥ 129	-	30 -35 40 -45	Aumento de la resistencia al desgaste de piezas sencillas que sufra poca carga al choque (bujes topes, fijadores, manguitos)

1.9 Medidas de protección e higiene a cumplimentar.

MEDIDAS DE SEGURIDAD E HIGIENE DURANTE EL TORNEADO:

1. Antes de poner en marcha el Torno cerciorarse de que los niveles de aceite y aire estén correctos.
2. No soplar las pequeñas virutas ni barrerlas con la mano.
3. Atender con disciplina el trabajo que se realiza.
4. Uso y cuidado de los medios de medición y protección.
5. Mantener organizado y limpio el puesto de trabajo.

1.10 Conclusiones parciales del Capítulo I.

1. Se profundizó en los aspectos constructivos y de funcionamiento de los Enfriadores de Productos Ligeros de la Refinería y en particular en lo relacionado con las averías producidas en los elementos de su transmisión de potencia.
2. Se profundizó en las características técnicas de los Reductores Cónicos Helicoidales Modelo 3ABG-610 IYE del accionamiento de los ventiladores.
3. Se identificaron todos los tipos de averías que se han producido en dichos Reductores Cónicos Helicoidales de la Transmisión de los Enfriadores de Productos Ligeros.
4. Se considera que la mayoría de las fallas están vinculadas con el diseño empleado en el reductor en la unión corona árbol a través del manguito de fijación.
5. Se considera posible rediseñar el árbol del Reductor, logrando una unión de la corona con el mismo mucho más rígida y resistente, eliminándose de esta forma fuentes de imprecisiones y errores de fabricación, con una caja de bolas en el apoyo averiado de mayor capacidad de carga y resistencia, conduciendo todos estos cambios a un diseño mucho más confiable y duradero del reductor.

CAPÍTULO II: Modificación de diseño en el carter del reductor averiado Tipo 3ABG-610 IYE (3ABГ-610ИЭ) para su recuperación.

2.1 Esquema de análisis considerando la elasticidad angular de los cojinetes de rodamientos.

Los esquemas de análisis de los apoyos rígidos clásicos utilizados en los sistemas planos en la literatura de Mecánica Teórica se muestran en las Figura 2. En la literatura técnica en general se utilizan otros apoyos articulados que consideran las propiedades elásticas de los apoyos. Estos modelos se muestran en las Fig. 2.1. En la literatura de Mecánica Teórica (Bedford and Fowler, 2002), (Beer and Johnston, 1984) sólo se hace referencia a los apoyos rígidos clásicos, ningún autor hace referencia a ningún otro tipo de apoyo que contemple una rigidez intermedia entre los apoyos articulados y los empotrados.

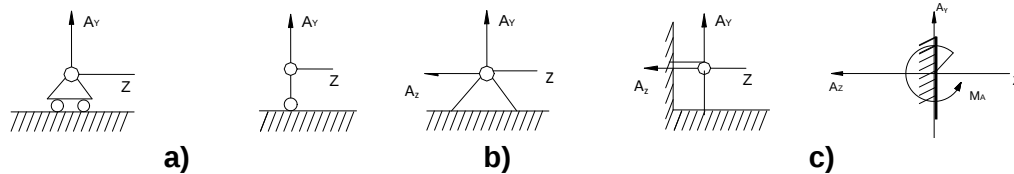


Fig. 2 Esquemas de Análisis Clásicos

a) Apoyo Articulado Rígido Móvil. b) Apoyo Articulado Rígido Fijo. c) Empotramiento Rígido



Fig. 2.1 Esquema de Análisis del Apoyo Articulado

a) Elástico Móvil. b) Elástico Fijo.

En la literatura de Mecánica de Materiales, la mayoría de los autores se refieren también casi exclusivamente a los apoyos rígidos clásicos, sin contemplar en ningún caso la elasticidad de los apoyos: Beer and Johnston, (Fitzgerald, 1996), (Fogiel, 1988).

Mott, Spiegel and Limbrunner. Otro grupo de autores trata de alguna manera los apoyos elásticos mencionados anteriormente: (Feodosiev, 1985), (Pisarenko, 1979) y sólo en (Olsen, 1964) se menciona la posibilidad de que los empotramientos no sean perfectamente rígidos, pero sin profundizar en las cualidades ni en el modelo físico – matemático de este tipo de Esquema de Análisis y mucho menos en los procedimientos de cálculo.

En la literatura de Diseño de Elementos de Máquinas los autores se refieren en mayor medida a los aspectos vinculados con la rigidez de los apoyos y a los diferentes posibles esquemas de análisis al situar las reacciones en los mismos, así por ejemplo: Wilson al referirse a las reacciones en los elementos sometidos a flexión, señala que los soportes son usualmente idealizados con el objetivo de simplificar el análisis y añade que el soporte simple consiste en una fuerza concentrada resultante como reacción.

Este tipo de soporte es utilizado para representar: cajas de bolas, rolletes, cojinetes de deslizamiento y otros soportes que permiten alguna rotación o pendiente en el plano durante la deformación por flexión. Más adelante expresa: “Si el soporte de la viga no permite movimiento relativo a lo largo del eje de la misma, entonces surgirá una restricción adicional que provocara una fuerza axial como resultado de dicha restricción”. Este efecto axial se desprecia siempre en los problemas de Diseño de Máquinas y continua diciendo: “El apoyo empotrado, proporciona como reacciones una fuerza y un momento que no permiten rotación alguna en el plano de la deflexión del elemento. La pendiente de la curva elástica del elemento es cero en el apoyo empotrado, los que son utilizados para representar soportes muy rígidos”. Cuando se refiere a las reacciones en los cojinetes en el diseño de árboles, explica que: “generalmente los mismos están soportados por dos cojinetes, como regla, los cuales son considerados como soportes simples o simple apoyos”. Al construir diagramas de momentos flectores, tanto en elementos sometidos a flexión como en el diseño de árboles, sólo se refiere a los apoyos clásicos y sus reacciones correspondientes.

Los autores que abordan el Método de los Elementos Finitos (MEF) Wilson, Zienkiewics, emplean diferentes tipos de elementos que se diferencian por su forma, a través de las posiciones relativas de sus nodos y por los grados de libertad, es decir por las posibles direcciones del movimiento de cada nodo. Eligiendo adecuadamente estos elementos en las zonas de apoyo es posible modelar apoyos con diferente rigidez y lograr una mayor aproximación a la realidad que en los clásicos apoyos articulados y empotrados. Esta cualidad del Método de los Elementos Finitos puede ser utilizada en la práctica para lograr aproximaciones más exactas.

El colectivo de Mecánica Aplicada de la Universidad de Cienfuegos ha definido dos nuevos tipos de apoyos elásticos: El empotramiento elástico Figura 2.2 a) y el empotramiento parcialmente elástico Figura 2.2 b) y ha determinado experimentalmente (Goytisoló 2006, Hidalgo, 2009) el coeficiente de rigidez de los cojinetes de rodamientos más comunes al ser utilizados como apoyos en árboles. Una caja de bolas radial de doble hilera autoalineante se comporta a la flexión prácticamente como una articulación rígida, sin embargo, una caja de bolas radial rígida de simple hilera se comporta como un empotramiento parcialmente elástico con un coeficiente de rigidez $\varphi = 0,346$.

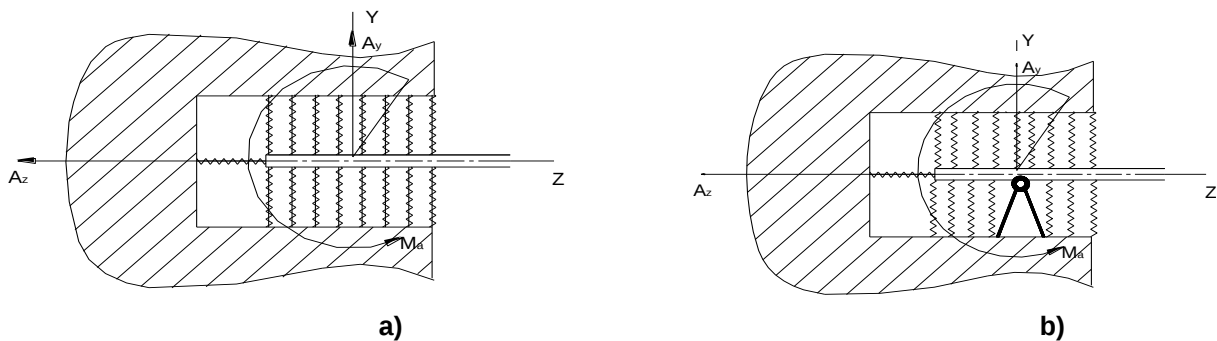


Fig. 2.2 Empotramientos elásticos.

a) Empotramiento elástico b) Empotramiento parcialmente elástico.

Para hallar los términos independientes correspondientes a los desplazamientos provocados por las cargas se aplicó el Principio de la Superposición. Los cálculos de estos coeficientes y los resultados de la solución del sistema de ecuaciones canónicas se obtuvieron apoyados sobre el trabajo de diploma (Ramírez, Junio 2010).

Los valores de las incógnitas obtenidos son: $X_1 = 25.82 \text{ kN-cm}$, $X_2 = 50.398 \text{ kN-cm}$, $M_A = 15.942 \text{ kN-cm}$, $M_B = 17.43 \text{ kN-cm}$ y $M_C = 73.88 \text{ kN-cm}$. El sistema de cargas del árbol es isostático y las reacciones A_y y B_y se hayan del equilibrio cuyos valores obtenidos son: $A_y = 1.31 \text{ kN}$ y $B_y = 2.26 \text{ kN}$.

2.2 Cálculo de las fuerzas sobre la corona cónica en el eje.

El torque máximo en el piñón de la transmisión depende de la potencia nominal del motor y de su velocidad angular y se calcula por la siguiente expresión:

$$M_{tp} = 9550 \frac{N(kW)}{n(r/\min)} \cdot \frac{N \cdot m}{1000 \frac{N}{kN}} \cdot 100 \frac{cm}{m}$$

$$M_{tp} = 955 \frac{N(kW)}{n(r/\min)} \Leftrightarrow kN \cdot cm$$

$$M_{tp} = 955 \frac{30(kW)}{880(r/\min)} = 32.55 kN \cdot cm$$

$$M_{tp} = 32550 N \cdot cm$$

El torque en la corona se halla multiplicando este torque por la relación de transmisión del par de ruedas.

$$M_{tc} = M_{tp} \cdot i$$

$$M_{tc} = 32550 \cdot 2.27$$

$$M_{tc} = 73888.5 N \cdot cm$$

2.3 Selección y cálculo para el ajuste por interferencia entre en rodamiento y el casquillo.

Para el ajuste prensado del cojinete se seleccionó el ajuste **M5/h6**. La interferencia mínima y máxima de este ajuste es calculada por la siguiente ecuación:

$\delta_{\min}$ = Desviación Límite máx. agujero - Desviación Límite mín. eje

$\delta_{\max}$ = Desviación Límite mín. agujero - Desviación Límite máx. eje

Luego entonces para Ø215 tenemos,

Agujero (casquillo): M5 ($^{0.011}_{-0.031}$)

Eje (rodamiento): h6 ($^0_{-0.03}$)

Sustituyendo en la ecuación,

$$\delta_{\min} = \text{DLmáx. agujero} - \text{DLmín. eje} = 214.989 - 214.97 = \mathbf{0.019 \text{ mm}}$$

$$\delta_{\max} = \text{DLmín. agujero} - \text{DLmáx. eje} = 214.969 - 215.0 = \mathbf{0.031 \text{ mm}}$$

El cálculo de la unión por interferencia tiene dos objetivos fundamentales:

- La comprobación de si el apriete mínimo sobre las piezas garantiza que estas no deslicen por la acción del par de fricción.
- El cálculo del apriete máximo que admiten el casquillo y el rodamiento, para que no fallen durante el ensamblaje.

La capacidad portante de la unión depende del apriete que se logre con el ajuste seleccionado. Producto de ese apriete, en las superficies acopladas surge una presión específica (p) debido a la deformación elástica de las piezas unidas la que se puede calcular por la expresión:

$$p = \frac{\delta}{d \cdot \left(\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right)}, \text{MPa}$$

Donde:

δ - Apriete en la unión, mm.

d – Diámetro nominal de las piezas unidas, mm.

C_1 y C_2 – Coeficientes de Lamé.

$$C_1 = \frac{d^2 + d_1^2}{d^2 - d_1^2} - \mu_1 \quad \text{y} \quad C_2 = \frac{d_2^2 + d^2}{d_2^2 - d^2} + \mu_2$$

μ - Coeficiente Poisson.

d – Diámetro nominal

d_1 – Diámetro interior de la pieza interna, mm.

d_2 – Diámetro exterior de la pieza externa, mm.

De la ecuación de Lamé se puede concluir claramente que la capacidad portante es proporcional al apriete alcanzado y se incrementa con el módulo de elasticidad de los materiales de la unión. Es evidente que una vez que se conozca la presión máxima que soportan los elementos de la unión se puede conocer el apriete máximo que soportará la unión. Para el apriete máximo del ajuste seleccionado, se puede calcular la presión máxima sobre el rodamiento.

Datos:

$\mu = 0.3$, $d = 215\text{mm}$, $d_1 = 120\text{mm}$, $d_2 = 230\text{mm}$, $E_1 = E_2 = 2 \times 10^5 \text{MPa}$.

$$C_1 = \frac{(215)^2 + (120)^2}{(215)^2 - (120)^2} - 0.3 = 1.6 \quad \text{y} \quad C_2 = \frac{(230)^2 + (215)^2}{(230)^2 - (215)^2} + 0.3 = 15.15$$

$$p_{\text{máx}} = \frac{0.019}{215 \cdot \left(\frac{1.6}{2 \times 10^5} + \frac{15.15}{2 \times 10^5} \right)} = 1.05 \text{MPa}.$$

La distribución de tensiones en las piezas de una unión por interferencia se obtienen a partir del estudio de los tubos de paredes gruesas ya que la pieza exterior se puede considerar un tubo sometido a presión interior y la interior un tubo sometido a presión exterior. En la Figura 2.3 se muestra la distribución de las tensiones radiales y tangenciales en estas uniones.

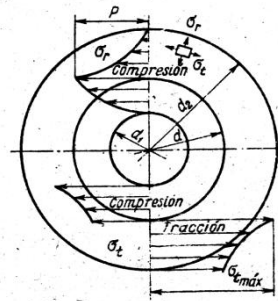


Fig. 2.3 Distribución de tensiones en una unión por interferencia (Dobrovolski, 1991).

De la figura se concluye que las máximas tensiones ocurren en la superficie interna de la pieza que contiene.

$$\sigma_{r1} = -p$$

$$\sigma_{t1} = p \cdot \left[\frac{1 + \left(\frac{d}{d_2} \right)^2}{1 - \left(\frac{d}{d_2} \right)^2} \right] = p \cdot \frac{d_2^2 \left(1 + \left(\frac{d}{d_2} \right)^2 \right)}{d_2^2 \left(1 - \left(\frac{d}{d_2} \right)^2 \right)}$$

Determinado entonces la tensión equivalente por la Teoría de las Tensiones Tangenciales Máximas (3ra Hipótesis) podemos determinar la presión máxima que soporta la pieza exterior.

$$\sigma_{eq} = \sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_{t1} - \sigma_{r1} = p \cdot \left[\frac{1 + \left(\frac{d}{d_2} \right)^2}{1 - \left(\frac{d}{d_2} \right)^2} + 1 \right] < [\sigma]$$

$$\sigma_{eq. \max.} = \frac{2 \cdot p_{\max}}{1 - \left(\frac{d}{d_2} \right)^2} < [\sigma]$$

$$[p_{\max}] = \frac{[\sigma] \cdot \left[1 - \left(\frac{d}{d_2} \right)^2 \right]}{2 \cdot k}$$

k – Es la relación entre el límite de resistencia a compresión y a tracción del material de la pieza exterior. En el caso de materiales dúctiles k = 1.

La tensión admisible del acero utilizado será: $[\sigma] = \sigma_f / 2 = 360 / 2 = 180 \text{ MPa}$.

$$[p_{\max}] = \frac{180 \cdot \left[1 - \left(\frac{215}{230} \right)^2 \right]}{2 \cdot 1} = 11.48 \text{ MPa}$$

Como $p_{\max} < [p_{\max}]$, el ajuste seleccionado es adecuado, el rodamiento soporta la presión del ajuste por interferencia.

2.4 Cálculo del apriete mínimo admisible.

Para determinar el apriete mínimo admisible en la unión y garantizar que soporte las cargas actuantes es necesario analizar el carácter de estas. En el caso, objeto de estudio del presente trabajo, la unión tiene que soportar un par de torsión igual a la reacción en el rodamiento multiplicada por el coeficiente de fricción del rodamiento. El momento de fricción en la zona del cojinete es igual a la reacción X_1 por el coeficiente de fricción por el radio del árbol. El coeficiente de fricción varía en un amplio rango dependiendo del material de este, y de la presencia de agua o líquidos en contacto con el árbol. El cálculo de la unión por interferencia entre casquillo y rodamiento se realiza para evitar el giro del casquillo por la acción del momento de fricción, de aquí que se tomará un coeficiente de fricción seco grande: $f = 0,4$

$$M_{tr} = X_1 \cdot f \cdot \frac{d}{2}$$

$$M_{tr} = 25.82 \cdot 0.4 \cdot \frac{21.5}{2}$$

$$M_{tr} = 25.82 \cdot 0.4 \cdot \frac{21.5}{2}$$

$$M_{tr} = 111.026 \cdot 1000$$

$$M_{tr} = 111026 \text{ N} \cdot \text{cm}$$

Y el apriete mínimo necesario será:

$$\delta_{\min} = \frac{M_{tr} \cdot 2}{f \cdot \pi \cdot d \cdot l} \cdot \left(\frac{C_1}{E_1} + \frac{C_2}{E_2} \right), \text{mm.}$$

$$\delta_{\min} = \frac{111026 \cdot 2}{0.4 \cdot 3.14 \cdot 215 \cdot 50} \cdot \left(\frac{1.6}{2 \times 10^5} + \frac{15.15}{2 \times 10^5} \right)$$

$$\delta_{\min} = 137.7 \times 10^{-5} \text{ mm.}$$

$$\delta_{\min} = 0.00137 \text{ mm.}$$

La interferencia mínima del ajuste seleccionado es $\delta_{\min} = 0.031$ siendo mayor que la necesaria por lo que el rodamiento **no se desliza** sobre el casquillo.

Si analizamos el momento calculado en el cojinete de rodamiento nos daremos cuenta que sin duda alguna es mayor que el entregado por el motor eléctrico, concluyendo que soportará las cargas de trabajo para el cual fue diseñado.

2.5 Cálculos de intercambiabilidad.

La producción industrial contemporánea se basa en la normalización de los productos fabricados, medios de producción y hasta de los mismos procesos tecnológicos y se realiza bajo el principio de la intercambiabilidad. En la mecánica, la intercambiabilidad, consiste en fabricar piezas de un mecanismo, de manera uniforme en tamaño y contorno, que acopladas entre sí y elaboradas de forma independiente se ajusten y desempeñen adecuadamente su función en cualquiera de los mecanismos del mismo tipo, sin que ello afecte su ensamble y el fin para el cual fue construido.

2.6 Cálculo y selección del tipo de ajuste entre el diámetro interior en el carter del reductor y el casquillo intercambiable.

Se desea realizar un ajuste deslizante entre el maquinado interior del carter y el casquillo intercambiable conociéndose a través de los planos de ensamble las siguientes medidas:

Datos:

- Diámetro del casquillo (eje) = **230mm**
- Diámetro del alojamiento en el carter (agujero) = **230mm**
- Ajuste del eje = **230 (^{-0.005}/_{-0.015})**
- Ajuste del agujero = **230 H5 (^{+0.02}/₀)**

2.6.1 Cálculo de las desviaciones.

- Agujero: **230 H5 (^{+0.02}/₀)**

$$es = 0.02mm$$

$$ei = 0mm$$

- Eje: **230 (^{-0.005}/_{-0.015})**

$$es = -0.005$$

$$ei = -0.015mm$$

Donde:

es --- desviación superior

ei --- desviación inferior

2.6.2 Cálculo de las dimensiones límites.

- Agujero:

$$DL_{max} = Dn + es$$

⌈.1

Dn --- dimensión nominal

$$DL_{max} = 230 + 0.02$$

DL_{max} desviación límite máxima

$$\underline{DL_{max} = 230.02 mm}$$

$$DL_{min} = Dn + ei$$

⌈.2

Dn --- dimensión nominal

$$DL_{min} = 230 + 0$$

DL_{min} desviación límite mínima

$$\underline{DL_{min} = 230mm}$$

$$T = DL_{max} - DL_{min}$$

◀.3

T --- Tolerancia

$$T = 230.02 - 230$$

$$\underline{T = 0.02mm}$$

- Eje:

$$DL_{max} = Dn + es$$

◀.4

$$DL_{max} = 230 + (-0.005)$$

$$\underline{DL_{max} = 229.995mm}$$

$$DL_{min} = Dn + ei$$

◀.5

$$DL_{min} = 230 + (-0.015)$$

$$\underline{DL_{min} = 229.985mm}$$

$$T = DL_{max} - DL_{min}$$

◀.6

$$T = 229.995 - 229.985$$

$$\underline{T = 0.01mm}$$

2.6.3 Juegos máximo y mínimo.

Donde:

$$J_{max} = DL_{max \text{ agujero}} - DL_{min \text{ eje}}$$

◀.7

J_{max} --- Juego máximo

$$J_{max} = 230.02 - 229.985$$

$$\underline{J_{max} = 0.035mm}$$

$$J_{min} = DL_{min \text{ agujero}} - DL_{max \text{ eje}}$$

◀.8

J_{min} --- Juego mínimo

$$J_{min} = 230.0 - 229.995$$

$$\underline{J_{min} = 0.005mm}$$

2.6.4 Cálculo de la rugosidad superficial.

- Agujero:** $230\ H5\ (^{+0.02}/_0)$ **Eje:** $230\ (^{-0.005}/_{-0.015})$

$0.02 - 0 = 0.02\text{mm} = \underline{20\ \mu\text{mm}}$ $0.005 - 0.015 = 0.01\text{mm} = \underline{10\ \mu\text{mm}}$

Rugosidad: Ra 1,25 **Rugosidad: Ra 0,63**

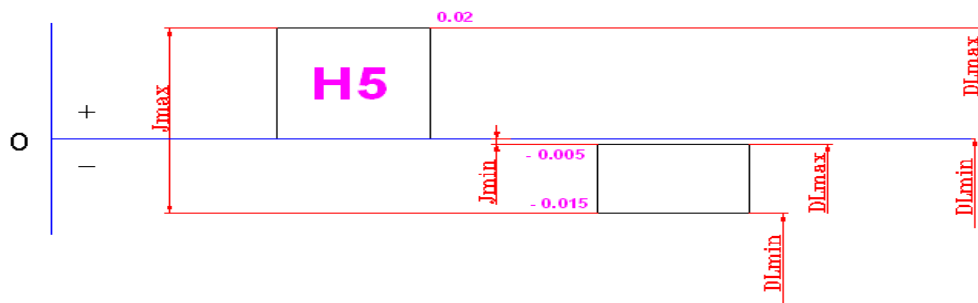


Fig.2.4 Esquema de ajuste

2.7 Selección del equipamiento, accesorios y herramientas para realizar el trabajo.

En el proceso de elaboración de esta pieza la máquina herramientas que se utilizó fue un torno vertical monomontante equipado con tecnología CNC para el maquinado del carter, taladradora Radial, un torno universal 16K20 para la preparación de dispositivos y accesorios, además, torno y taladro CNC para la realización del casquillo. Se escoge para tal proceso de maquinado estas máquinas herramientas pues los mismo cumplen con los requisitos de potencia y dimensiones que exigía esta producción. Los accesorios empleados en el proceso tecnológico provienen de la firma SANDVIK, estos fueron: cuchilla DCLNL 2525 M12 de 95° para cilindrar y refrentar, cuchilla DSSNL 2525 M12 de 45° para biselar, además, dos dispositivos claves. El primero tiene la función de alinear el carter según exigencias del plano de diseño (ver Figura 2.7) y el segundo para sujetar el casquillo para su rectificado interior donde va colocado el rodamiento de simple hilera Ø215 h6.

2.8 Proyección de las tecnologías mecánicas.

El mecanizado es una ciencia que se desarrolló junto a la revolución industrial de los siglos XVIII y XIX, y que continúa su desarrollo en el siglo XXI. Esta ha jugado un papel importante en el desarrollo de la civilización a lo largo de la historia. En el siglo XVIII se trabajaba preferentemente la madera y el trabajo con el metal en máquinas era muy limitado y rudimentario. La tarea del herrero en el siglo XIX era muy lenta, pero esto cambió hasta que se dispuso de las máquinas de vapor y más tarde de la electricidad. Estos ingeniosos inventos marcaron un camino ascendente en el desarrollo en las máquinas y herramientas a tal punto que ya la fabricación de piezas mediante mecanizado es una decisiva rama de la industria mecánica que da una cierta medida del desarrollo económico alcanzado por un país. Por eso es importante para cualquier operación en estas máquinas la necesidad de concebir secuencias tecnológicas racionales y una buena selección el régimen de corte de las herramientas de corte para obtener una mayor producción, cuidarla de un mal uso es la actitud que debemos optar ya que al dañarlas nos pueden imposibilitar de una mayor producción. También hay que tener en cuenta a la hora de operar estas importantes máquinas las medidas que hay que tomar para evitar accidentes.

A continuación se presentan los cálculos de los regímenes de corte para la construcción del alojamiento en la zona dañada del carter para el casquillo intercambiable.

2.9 Cálculo de los regímenes de corte en el maquinado del carter.

Estos cálculos se basaron en el cilindrado interior. Como ya se planteó anteriormente para las distintas operaciones realizadas se empleó el torno vertical CNC.

Cilindrado interior:

Datos:

- Material a trabajar: hierro fundido
- Diámetro Interior: 215 mm.
- Diámetro final: 230 H5 ($^{+0.02}/_0$).
- Longitud: 60 mm.

Metodología de cálculo:

2.9.1 Decidir la aplicación de mecanizado (AD).

AD = M

2.9.2 Escoger la elaboración interior o exterior (ela).

Elaboración interior.

2.9.3 Tiempo de vida útil de la herramienta:

$T = 60 \text{ min}$

2.9.4 Escoger la forma de la plaquita (f_p) y el ángulo de posición ($kr = \varphi$).

$f_p = C$

$kr = 95^\circ$

2.9.5 Longitud de bordes cortante de la plaquita (l_p).

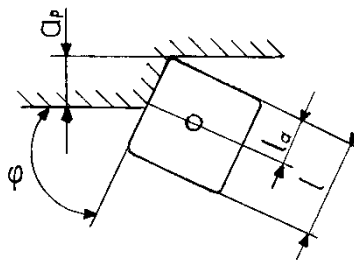


Fig. 2.5 Longitud del borde del cortante.

l_a - Longitud de corte efectiva

l - Longitud de la arista.

a_p - Profundidad de corte máxima admisible.

$$la = \frac{2}{3} l \quad l = 12 \quad \text{E.1}$$

$$la = \frac{2}{3} \cdot 12 \quad la = 8$$

$$Sm = \frac{D - d}{2} \quad \text{E.2}$$

$$Sm = \frac{230 - 215}{2} \quad Sm = 7,5mm$$

$$ap = la \cdot \sin 95^\circ \quad \text{E.3}$$

$$ap = 8 \cdot 0,99 \quad ap = 7,92mm$$

(Trabajar con profundidad $ap = 3mm$ recomendada por el fabricante para una mayor vida útil de la plaquita siendo 7.5mm su máximo valor).

2.9.6 Selección del código del vástago (d_v).

- DCLNL 3232 M12

2.9.7 Obtención del régimen de corte.

- Calidad (Q) $\rightarrow$ 4015
- Geometría (G) $\rightarrow$ WM
- Códigos de placas recomendadas (CP) $\rightarrow$ CNMG
- $Kc = 2450 \frac{N}{mm^2}$
- $fn = 0,2 \frac{mm}{rev}$
- $Vc = 33 \frac{m}{min}$

2.9.8 Determinación del radio de la punta (r_e).

$$r_e = \frac{3}{2} fn \quad \text{E.4}$$

$$r_e = \frac{3}{2} 0,4$$

$$r_e = 0,6 \text{ Se normaliza } r_e = 0,8$$

$$fn = \frac{2}{3} r_e \quad \text{E.5}$$

$$fn = \frac{2}{3} 0,8$$

$$fn = 0,53$$

$$S = 0,22 \text{ mm/rev}$$

2.9.9 Cálculo del número de pasadas (i) y la profundidad de corte (t).

$$i = \frac{Sm}{Ap} \quad \text{E.6}$$

$$i = \frac{7,5}{3} = 2,5 \quad i = 3$$

$$t = \frac{Sm}{i} \quad \text{Donde } i \rightarrow \text{número de pasadas} \quad \text{E.7}$$

$$t = \frac{7,5}{3} \quad t \rightarrow \text{profundidad}$$

$$t = 2,5 \text{ mm} \approx 3 \text{ mm} \quad (\text{profundidad recomendada por el fabricante } 3 \text{ mm})$$

2.9.10 Cálculo de la velocidad de corte.

$$Vc = Vt \cdot Kd \cdot Kt \quad Kd = 1 \quad \text{E.8}$$

$$Vc = 35 \cdot 1 \cdot 0,75 \quad Kt = 0,75$$

$$Vc = 26,25 \text{ m/min} \quad Vt = 35 \text{ m/min}$$

Luego de calcular la Vc se calcula n_c que es el número de r/min. que teóricamente debe girar el husillo.

$$n_c = \frac{1000 \cdot Vc}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 26,25}{\pi \cdot 230} = 36,32 \quad \text{E.9}$$

$$n_r = 36 \text{ rpm}$$

2.9.11 Se recalcula la Vc con n del torno:

$$Vcr = \frac{\pi \cdot d \cdot n_r}{1000} = \frac{\pi \cdot 230 \cdot 36}{1000} \quad \text{E.10}$$

$$V_{cr} = 26 \frac{m}{\min}$$

2.9.12 Potencia de corte.

$$P_c = \frac{V_c \cdot t \cdot S \cdot K_c}{60000} \cdot \left(\frac{0,4}{S \cdot \sin \phi} \right)^{0,29} \quad \text{E.11}$$

$$P_c = \frac{26 \cdot 3 \cdot 0,35 \cdot 2450}{60000} \cdot \left[\frac{0,4}{0,21} \right]^{0,29}$$

$$P_c = 0,84 \text{ kW}$$

Se calcula la potencia disponible (Pd)

$$P_d = N_{motor} \cdot \eta \quad \text{E.12}$$

$$P_d = 25 \cdot 0,75$$

$$P_d = 18,75 \text{ kW} \quad \underline{P_c \leq P_d}$$

2.9.13 Cálculo del tiempo principal:

$$t_p = \frac{l_T \cdot i}{n \cdot S} \quad \Delta : \text{Separación a la entrada de la cuchilla. } \Delta = 1-5 \quad \text{E.13}$$

$$t_p = \frac{15 \cdot 3}{36 \cdot 0,22} \quad l_t = l + \Delta \quad \text{E.14}$$

$$t_p = 5,68 \text{ min} \quad l_t = 12 + 3 \quad l_t = 15$$

$$t_p = 5,68 \text{ min} = 6,08 \text{ min}$$

Regímenes de corte del biselado y del refrentado.

El régimen de corte de estas operaciones no se calcula ya que se emplea la misma herramienta de corte debido a su versatilidad.

Resultados obtenidos:

- Código de la placa (CP) $\Leftrightarrow$ **CNMG**
- Código del vástago (CV). $\Leftrightarrow$ **DCLNL**
- Velocidad de corte (Vc): $\Leftrightarrow 26 \frac{m}{min}$
- Velocidad en rpm (n): $\Leftrightarrow n_r = 36rpm.$
- Avance (S): $\Leftrightarrow S = 0,22 \frac{mm}{rev}$
- Pasadas (i): $\Leftrightarrow i = 3$
- profundidad de corte (t): $\Leftrightarrow t = 2,8mm \approx 3mm$
- Tiempo principal (tp): $\Leftrightarrow tp = 6,08min$
- Geometría $\Leftrightarrow WM$
- Calidad $\Leftrightarrow GC4015$

2.10 Manufactura. Procesos tecnológicos.

En los últimos años, el área de utilización de los dispositivos auxiliares se ha ampliado en tal modo que el desarrollo de la tecnología en la rama de la construcción de la maquinaria está directamente relacionado con dichos dispositivos, los cuales, atendiendo a sus características pueden clasificarse de universales, ensamblables y especiales. Centrar una pieza en un dispositivo significa determinar su ubicación con respecto al mismo en direcciones que coincidan con el resultado que debe lograrse, una vez realizada la operación de maquinado. Los elementos de centrado en cuanto a su forma, dimensiones y situación en el cuerpo del dispositivo dependen de la dureza del material de la pieza a elaborar, rugosidad de las superficies de centrado de la pieza a trabajar, precisión de maquinado requerida y la durabilidad del dispositivo. En general existen tres grupos de elementos de centrado, o sea, los elementos fijos, ajustables y móviles.

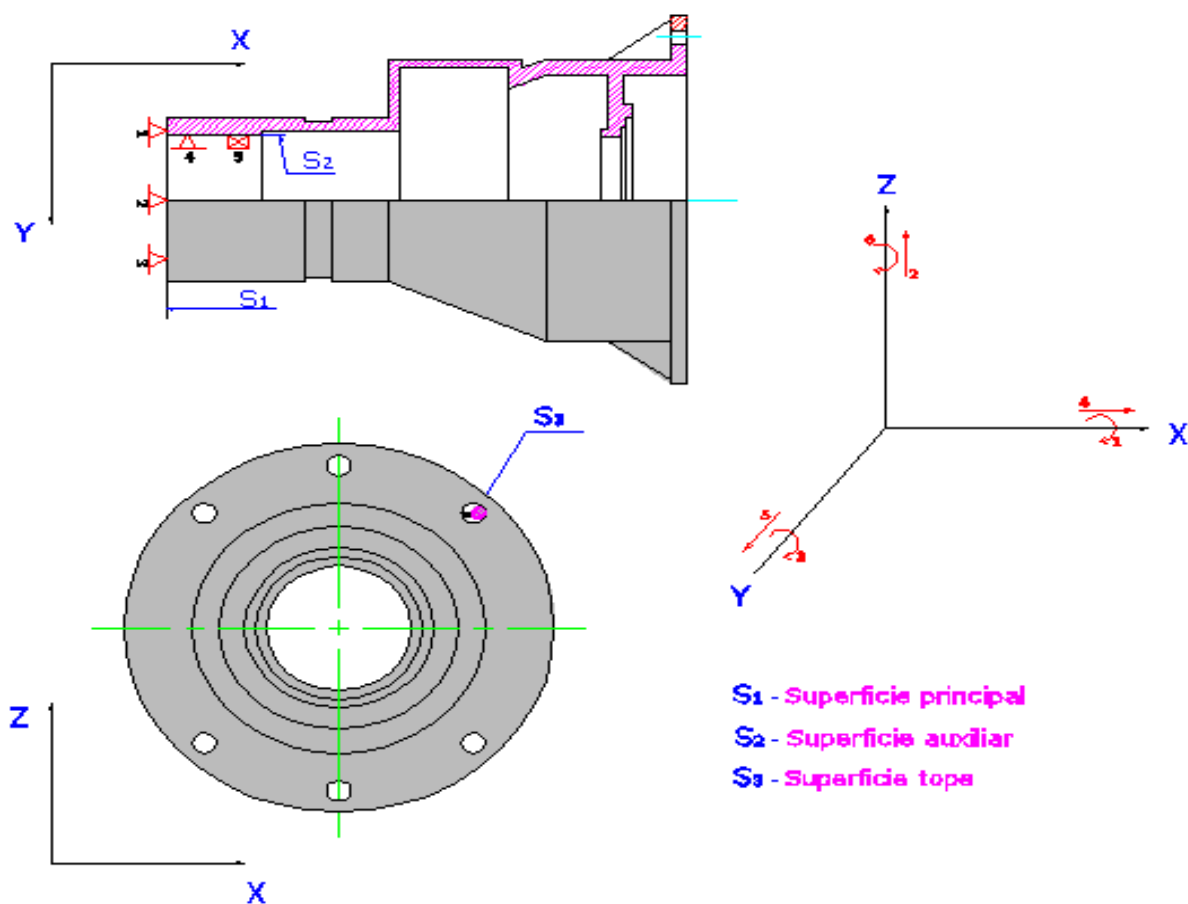
En los esquemas de centrado, de la documentación tecnológica suelen emplearse distintos símbolos convencionales para designar los elementos de centrado y de tope. En la tabla 2 se proponen los símbolos de este tipo, que posteriormente se utilizarán para analizar el centrado.

PUNTO	DE CENTRADO		DE TOPE	
	VISTA SUPER.	VISTA LATERAL	VISTA SUPER.	VISTA LATERAL
VISIBLE				
INVISIBLE				

2.10.1 Diseño del dispositivo especial de centrado para carter del reductor.

Para lograr una correcta alineación en el maquinado del carter del reductor, fue indispensable la construcción de un dispositivo que garantizara la correcta alineación entre ambos rodamientos y las exigencias por diseño propuestas a consideración. Una vez concluido el dispositivo quedaría listo para realizar el respectivo maquinado interior para alojar en él, a través de un ajuste deslizante, el casquillo intercambiable. Para el traslado, montaje y desmontaje del carter se empleó una grúa viajera pues las dimensiones del elemento a maquinar es de gran tamaño.

El dispositivo fue elaborado a partir de una plancha CT-3, figura 2.7, cuya longitud es de 42mm y de Ø420. Cuenta con dos escalones guías, 4 agujeros de Ø21mm para su anclaje y de 4 agujeros M12 que servirán para la extracción del mismo. El escalón de Ø150 ($^{0.015}_{-0.025}$) se coloca en el agujero central en el plato del torno y su fijación se realiza con la ayuda de 4 pernos M20 en forma de T. Una vez realizada esta operación se maquina el lado contrario hasta lograr la medida deslizante de Ø240 ($^{0.01}_{-0.02}$). Por la gran altura del carter del reductor fue necesario construir 4 tensores, intercalados a 90° para evitar, debido a los esfuerzos de corte que la pieza quede desalineada.



2.11 Determinación de la altura en el dispositivo especial de centrado.

El cálculo de la altura en el dispositivo se basa en el mismo principio que se aplica en los tapones de centrado, o sea, cuando la pieza tiene el agujero elaborado cuya superficie es la superficie auxiliar de centrado y la superficie principal es plana y también se encuentra elaborada.

La altura (H) del dispositivo puede determinarse según la fórmula:

$$\bullet \quad H \leq \frac{L + 0.5D}{D} \sqrt{2 \cdot D \cdot J} \text{ min}$$

Donde:

- L** Distancia entre el eje del agujero y el borde de la pieza.
- D** Diámetro nominal del agujero y del tapón.

J_{min} Juego mínimo entre el agujero y el tapón.

Luego entonces se tienen los siguientes datos:

$$L = 150 \text{ mm}$$

$$\text{Tapón } \varnothing 240 \text{ } (^{+0.01}/_{-0.02}) = 239.98$$

$$\text{Agujero } \varnothing 240 \text{ H5 } (^{+0.02}/_0) = 240.02$$

Solución:

a) Juego mínimo:

J_{min} = Desviación del agujero – Desviación del tapón

$$J_{\min} = 240.02 - 239.98$$

$$J_{\min} = 0.04 \text{ mm}$$

b) Altura del tapón:

$$H \leq \frac{L + 0.5D}{D} \sqrt{2 \cdot D \cdot J_{\min}}$$

$$H \leq \frac{150 + 0.5(240)}{240} \sqrt{2 \cdot 240 \cdot 0.04}$$

$$H \leq \frac{150 + 0.5(240)}{240} \sqrt{2 \cdot 240 \cdot 0.04}$$

$$H \leq 12.25 \text{ mm}$$

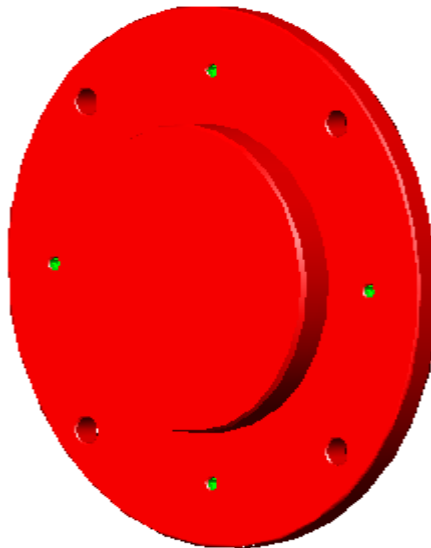


Fig. 2.7 Vista isométrica del Dispositivo especial.



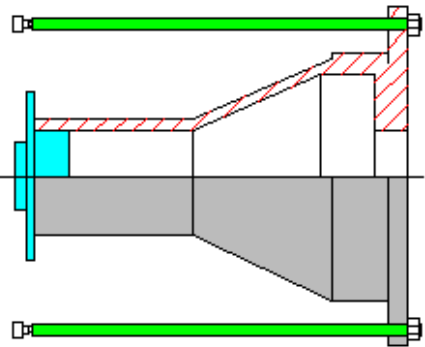
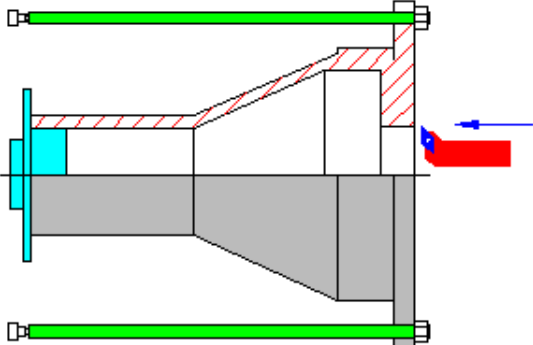
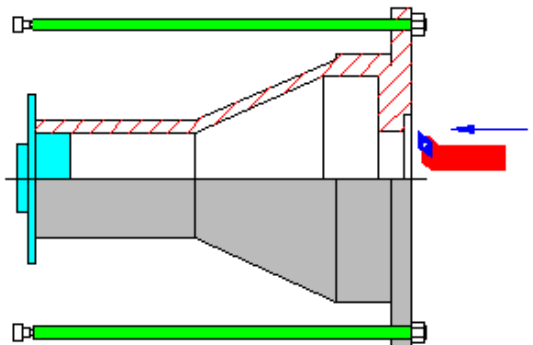
Fig. 2.8 Montaje y sujeción del carter del reductor en el torno vertical CNC.



Fig. 2.9 Vista superior del carter. Posición de los tensores.

2.12 Secuencia tecnológica del proceso de maquinado en el carter del reductor.

Debemos aclarar que aunque la posición del carter del reductor en el torno CNC es sujeta en forma vertical los esquemas de transiciones se realizarán de forma horizontal para lograr una mejor idea de la operación que se realiza. La representación del dispositivo especial y la de los tensores se muestran en el esquema.(Ivatsevich, et. al., 1988).

Colocación	Transiciones	Contenido de la colocaciones y las transiciones	Esquema de las transiciones
A		Colocar y quitar carter en el dispositivo especial y sujetar con los tensores.	
	01	Cilindrar interior en desbaste hasta $\varnothing 229.7$ en toda su longitud.	
	02	Cilindrar interior en desbaste el escalón hasta lograr $\varnothing 265.7$ y longitud de 8mm.	

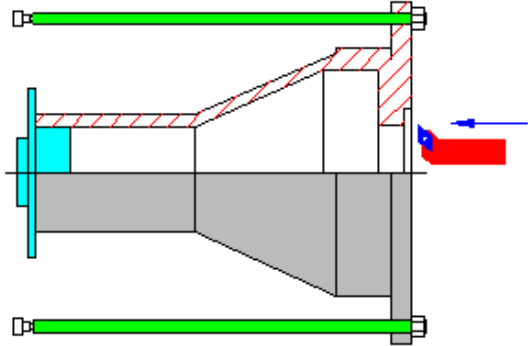
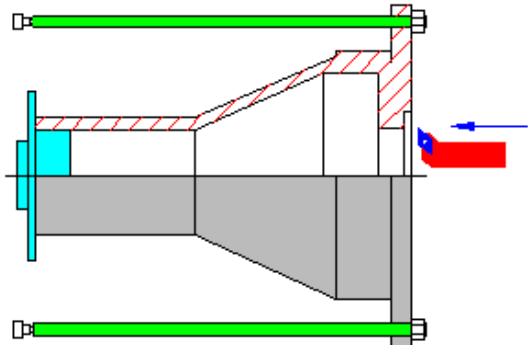
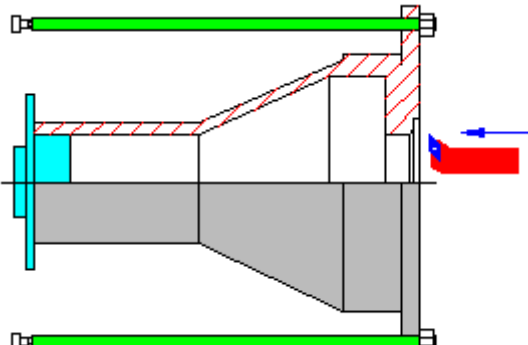
	03	Cilindrar interior en acabado hasta lograr $\varnothing 266$ y longitud de 8mm	
	04	Cilindrar interior en acabado hasta lograr $\varnothing 230$ H5 $(+0.02/0)$ en toda su longitud.	
	05	Elaborar bisel 2.5x15° en $\varnothing 230$	
	06	Control del $\varnothing 230$ H5 con el comparador de carátula y el resto de sus dimensiones con el pie de rey digital.	

Tabla.2.1 Secuencia tecnológica del maquinado de la pieza.

Los programas CNC asociados al maquinado del carter y del casquillo intercambiables se encuentran en los Anexos.



Fig. 2.10 Maquinado en el interior del carter.



Fig. 2.11 Verificación del $\varnothing 230 \text{ H5}(+0.02/0)$ donde queda instalado el casquillo intercambiable.



Fig. 2.12 Producto terminado a la salida del torno vertical.

2.13 Cálculo de los regímenes de corte en la fabricación del casquillo intercambiable.

Los cálculos fueron hallados sobre el cilindrado exterior, pues se emplea la misma placa para el maquinado interior del casquillo, solo que cambia el diseño de la herramienta, también los regímenes de corte sobre el taladrado de 6 agujeros Ø9.5 y 3 agujeros roscados M10. En las distintas operaciones realizadas se utilizó un torno y taladradora CNC y para el rectificado interior del casquillo un torno universal con ayuda de un dispositivo especial para su colocación.

Cilindrado exterior:

Datos:

- Material a trabajar: Ac-45
- Diámetro Exterior: 273mm
- Diámetro Interior: 203mm.

- Diámetro final: 230 ($^{-0.005}/_{-0.015}$).
- Longitud: 60mm.

Metodología de cálculo:

2.13.1 Decidir la aplicación de mecanizado (AD).

AD = M

2.13.2 Escoger la elaboración interior o exterior (ela).

Elaboración exterior.

2.13.3 Tiempo de vida útil de la herramienta:

$T = 60 \text{ min}$

2.13.4 Escoger la forma de la plaquita (f_p) y el ángulo de posición ($kr = \phi$).

$f_p = C$

$kr = 95^\circ$

2.13.5 Longitud de bordes cortante de la plaquita (l_p). Ver Fig. 2.2

Sustituyendo en la ecuación 2.1 $l = 12$

Sustituyendo en la ecuación 2.2 $Sm = 20$

Sustituyendo en la ecuación 2.3 $Ap = 3,96$

2.13.6 Selección del código del vástago (d_v).

- DCLNL 3232 M12

2.13.7 Obtención del régimen de corte.

Calidad (Q) $\rightarrow 4015$

Geometría (G) $\rightarrow WM$

Códigos de placas recomendadas (CP) $\rightarrow CNMG$

$$Kc = 2450 \frac{N}{mm^2}$$

$$fn = 0,35 \frac{mm}{rev}$$

$$Vc = 325 \frac{m}{min}$$

2.13.8 Determinación del radio de la punta (r_e).

Sustituyendo en la ecuación 2.4 $r_e = 0,6 \quad r_e = 0,8$

Sustituyendo en la ecuación 2.5 $fn = 0,35 \quad S = 0,35 \text{ mm/rev}$

2.13.9 Cálculo del número de pasadas (i) y la profundidad de corte (t).

Sustituyendo en la ecuación 2.6 $i = 7$

Sustituyendo en la ecuación 2.7 $t = 3$

2.13.10 Cálculo de la velocidad de corte.

Sustituyendo en la ecuación 2.8 $V_c = 243,75 \text{ m/min}$

Sustituyendo en la ecuación 2.9 $n_r = 288 \text{ r/min}$

2.13.11 Se recalcula la Vc con n del torno:

Sustituyendo en la ecuación 2.10 $V_{rc} = 244 \text{ m/min}$

2.13.12 Potencia de corte.

Sustituyendo en la ecuación 2.11 $P_c = 12,55 \text{ kW}$

Se calcula la potencia disponible (Pd)

$$Pd = N_{motor} \cdot \eta$$

$$Pd = 25 \cdot 0,75$$

$$Pd = 18,75 \text{ kW} \quad \underline{P_c \leq Pd}$$

2.13.13 Cálculo del tiempo principal:

Sustituyendo en la ecuación 2.13 $t_p = 4,26 \text{ min}$

Sustituyendo en la ecuación 2.14 $l_t = 15$

Regímenes de corte del biselado y del refrentado.

El régimen de corte de estas operaciones no se calcula ya que se emplea la misma herramienta de corte debido a su versatilidad.

Resultados obtenidos:

- Código de la placa (CP) $\Leftrightarrow$ **CNMG**
- Código del vástago (CV). $\Leftrightarrow$ **DCLNL**
- Velocidad de corte (V_c): $\Leftrightarrow 243,75 \text{ m/min}$
- Velocidad en rpm (n): $\Leftrightarrow n_r = 288 \text{ rpm}$.
- Avance (S): $\Leftrightarrow S = 0,35 \text{ mm/rev}$
- Pasadas (i): $\Leftrightarrow i = 7$
- profundidad de corte (t): $\Leftrightarrow t = 2,85 \text{ mm} \approx 3 \text{ mm}$
- Tiempo principal (t_p): $\Leftrightarrow t_p = 4,26 \text{ min}$
- Geometría $\Leftrightarrow WM$
- Calidad $\Leftrightarrow GC4015$

2.14 Metodología del cálculo del taladrado.

2.14.1 Selección del tipo de broca.

La broca que se utilizará es de Ø9.5 de calidad HSS.

2.14.2 Obtención de la velocidad de corte (V_c) y el avance (S).

Según la broca seleccionada y su respectivo diámetro (d) se obtienen la velocidad de corte (V_c) y avance (S).

$$V_c = 22 \text{ m/min}$$

$$S = 0,25 \text{ mm/rev}$$

2.14.3 Cálculo de n (r/min.).

$$n = \frac{1000 \cdot V_c}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 25}{\pi \cdot 9,5} = 838 \text{ r/min.}$$

◀.15▶

2.14.4 Selección de n y S según la máquina de herramienta a utilizar.

Utilizaremos como ya se citó antes un taladro CNC

$$n_r = 838 \text{ r/min}$$

$$S_r = 0,25 \text{ mm/rev}$$

2.14.5 Cálculo de la velocidad de corte real.

$$V_{cr} = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} = \frac{\pi \cdot 9,5 \cdot 838}{1000} \quad \text{E.16}$$

$$V_{cr} = 25 \text{ m/min}$$

2.14.6 Cálculo de la potencia de corte y comprobación.

Kc. se obtiene de datos $Kc = 2450 \text{ N/mm}^2$

$$P_c = \frac{Kc \cdot S \cdot V_c \cdot d}{240000} = \frac{2450 \cdot 0,25 \cdot 25 \cdot 9,5}{240000} \quad \text{E.17}$$

$$P_c = 0,606 \text{ kW}$$

Cálculo de la potencia disponible:

No es necesario hallarlo porque el taladro dispone según el fabricante de una potencia disponible de 7,2 kW. Por tanto:

$$\underline{P_d \geq P_c}$$

2.14.7 Cálculo del tiempo principal:

$$t_p = \frac{l}{n \cdot S} \quad \text{E.18}$$

$$t_p = \frac{8}{838 \cdot 0,25}$$

$$t_p = 0,04 \text{ min}$$

$$l = \Delta_1 + \Delta_2 + l_r + \Delta_3 \quad \Delta_2 = 3 \text{ mm} \quad \Delta_3 = 5 \text{ mm} \quad \text{E.19}$$

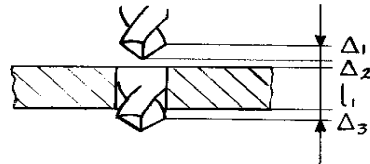
$$l = 7,5 + 3 + 8 + 5$$

$$l = 23,5mm$$

$$\Delta_1 = \frac{\tan \varphi \cdot d}{2}$$

$$\varphi = 20^\circ$$

$$\Delta_1 = \frac{\tan 58^\circ \cdot 9,5}{2}$$



$$\Delta_1 = 7,50 \text{ mm.}$$

Fig. 2.13 Esquema de entrada y salida de la broca.

Resultados obtenidos.

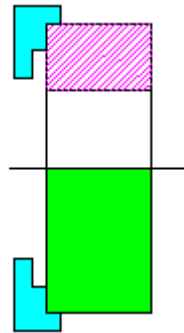
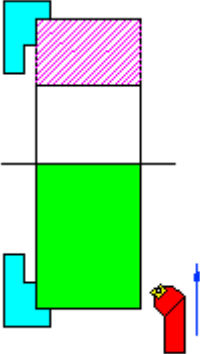
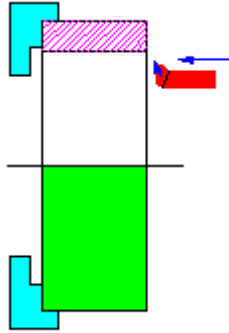
- Tipos de broca. $\Leftrightarrow \varnothing 9,5$ HSS.
- Velocidad de corte (V_c , $m/min.$). $\Leftrightarrow 25 \frac{m}{min}$
- Frecuencia de rotación (n , r/min) $\Leftrightarrow 838r/min$
- Avance (S , mm/rev) $\Leftrightarrow 0,25 \frac{mm}{rev}$.

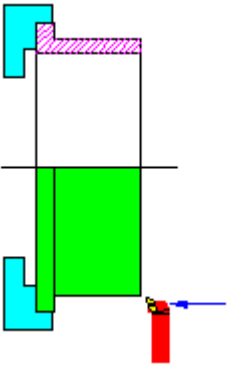
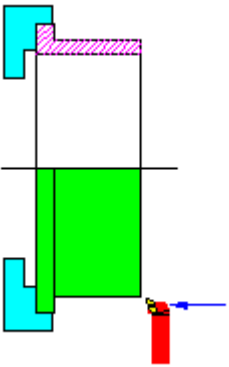
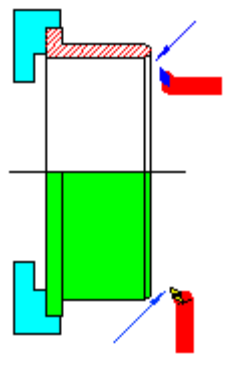
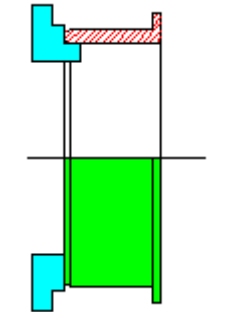
2.15 Diseño y construcción del casquillo intercambiable.

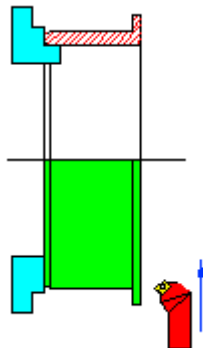
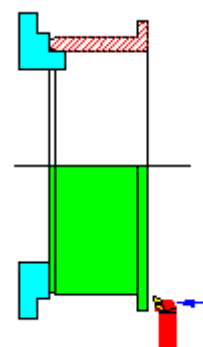
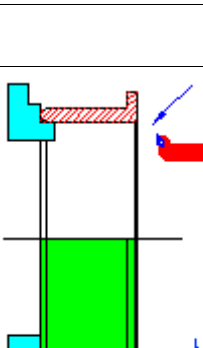
Para alargar aún más la vida útil en el carter del reductor, se diseñó el casquillo intercambiable que evitaría, en caso de existir futuras averías, que los cojinetes patinen sobre el carter dañándolo nuevamente. Una vez analizado su ajuste bajo el principio de la intercambiabilidad, permitirá su fácil recambio pues este se realizaría a pie de obra evitando contratiempos como la espera de medios de transportes para su traslado hacia el taller, además, otra función práctica es la posibilidad de adaptarse a cualquier variación de diseño en su diámetro interior según el rodamiento seleccionado.

Para tal efecto, en la fabricación del casquillo intercambiable se utilizó un semiproducto de $\varnothing 273$ en su exterior, $\varnothing 203$ en el interior y una longitud de 60mm.

2.16 Secuencia tecnológica del proceso de fabricación del casquillo intercambiable.

Colocación	Transiciones	Contenido de la colocaciones y las transiciones	Esquema de las transiciones
A		Colocar y quitar semi-producto en plato autocentrante con muelas invertidas.	
	01	Refrentar cara a limpiar.	
	02	Cilindrar interior en desbaste hasta obtener Ø214.7 a toda su longitud.	

	03	Cilindrar exterior en desbaste hasta lograr $\varnothing 231$ a longitud 48.5mm.	
	04	Cilindrar exterior en acabado hasta lograr $\varnothing 230$ ($^{+0.005}_{-0.015}$) y longitud de 48.5mm	
	05	Control del diámetro $\varnothing 230$ ($^{+0.005}_{-0.015}$) con el micrómetro 225 – 250, el resto de las cotas con el pie de rey digital.	
	06	Elaborar bisel interior y exterior de $2.5 \times 30^\circ$	
B	Invertir	Sujetar pieza por el diámetro interior con muelas normales.	

	07	Refrentar a obtener largo final 56.5mm	
	08	Cilindrar exterior a obtener Ø265.	
	09	Control con pie de rey digital.	
	10	Elaborar bisel interior y exterior 1x45°.	

Con la conclusión del maquinado en el torno y apreciándose que el elemento fabricado no presenta todavía su diámetro interior final de $\varnothing 215 \text{ M5 } (^{-0.11}/_{-0.035})$, es trasladado hacia la rectificadora universal equipado de un dispositivo para el rectificado interior.

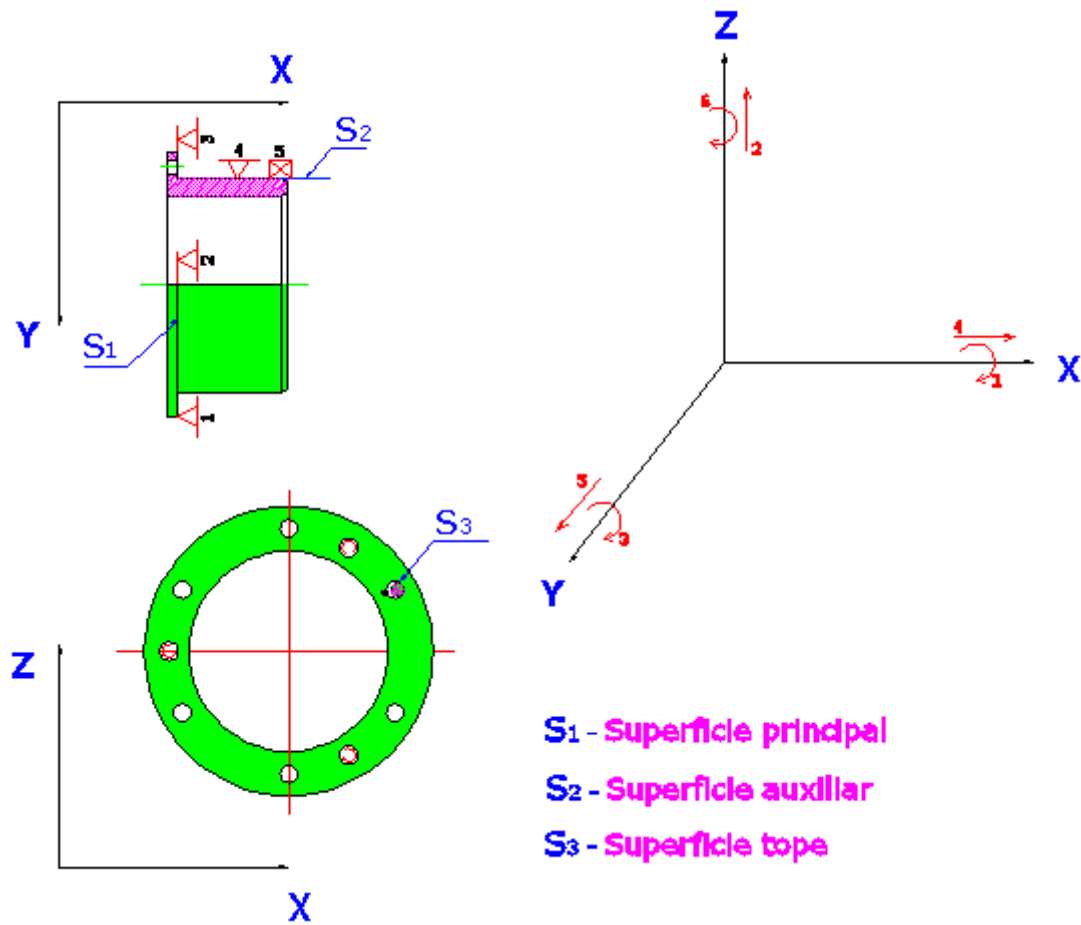


Fig. 2.14 Esquema de grados de libertad en el casquillo.



Fig. 2.15 Dispositivo para la sujeción del casquillo intercambiable para su rectificado interior.



Fig. 2.16 Obtención del casquillo intercambiable después del rectificado interior.



Fig. 2.11 Taladrado del casquillo intercambiable.

Finalizado el maquinado interior en el carter y verificado por parte del departamento de control de la calidad del área, corroborado según las exigencias del diseño, se coloca el casquillo intercambiable. Una vez realizada esta tarea se traslada hacia el taladro Radial para realizar los agujeros roscados aprovechando los agujeros del casquillo intercambiable como guías para el taladrado.

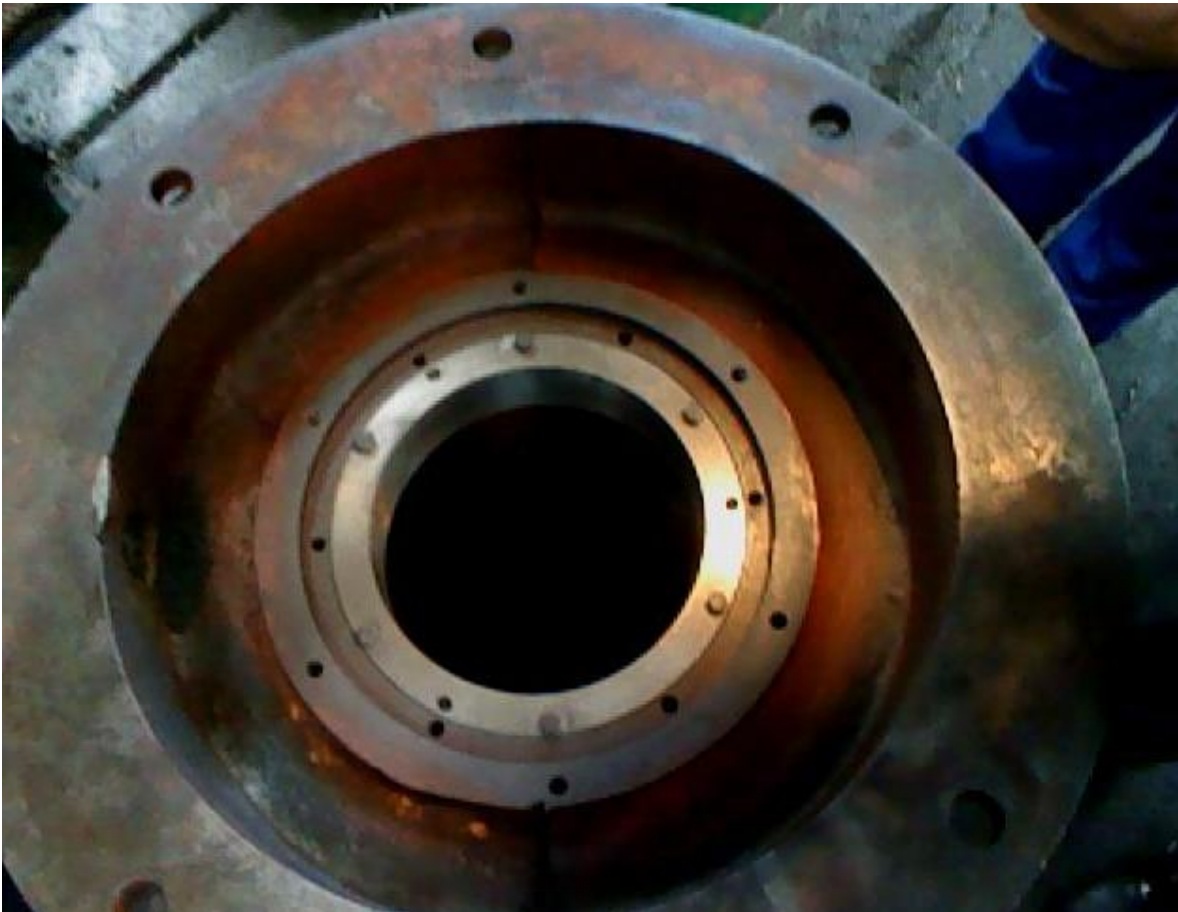


Fig. 2.17 Vista superior del casquillo intercambiable en el carter.

El proceso de maquinado en el carter del reductor y fabricación del casquillo intercambiable, se elaboró la documentación de la carta tecnológica (ver Anexo), documento elemental y guía de carácter necesario para los operarios que intervienen en el proceso de obtención de ambas piezas.

2.17 Conclusiones Parciales del Capítulo II.

1. Se realizaron los cálculos adecuados sobre la base de la intercambiabilidad entre el carter del reductor y el casquillo intercambiable.
2. Se elaboraron los procesos tecnológicos en el maquinado del carter como en el proceso de fabricación del casquillo intercambiable.
3. Se elaboraron los esquemas de eliminación de los grados de libertad en ambas piezas manteniendo el principio de constancia de las bases.
4. Los aspectos constructivos y de funcionamiento así como los planos de ensamble entre los elementos analizados.
5. Se considera posible modificar el diseño en el carter del reductor, logrando un ajuste deslizante entre ellos y fijándolos mediante seis pernos M8.
6. Se proyectaron distintas imágenes del taller de maquinado en las que se aprecian las distintas máquinas herramientas que fueron utilizadas en los diferentes procesos tecnológico.
7. Se utilizó un esquema de análisis en el cual se consideró los cojinetes de rodamientos como empotramientos parcialmente elásticos. El empleo de este esquema permitió por un lado calcular la fuerza que ejerce el rodamiento sobre el casquillo y evaluar en el mismo la posibilidad de que el cojinete gire o no.
8. El casquillo empleado para solucionar el desgaste del carter en la zona dañada se ajustó por interferencia al rodamiento, se eligió el ajuste adecuado y se comprobó que su resistencia a la presión máxima provocada por la interferencia es adecuada.
9. La interferencia mínima del ajuste garantiza que el rodamiento no se desliza en el interior del casquillo.
10. Del análisis se aprecia que el encasquillado del carter no afecta la resistencia de esa zona, la tensión de trabajo es menor que la permisible lo que permite afirmar que la resistencia a la flexión del mismo es adecuada.

Análisis Económico

3.1 Determinación del costo de fabricación.

El costo de fabricación está compuesto por los costos directos o gastos en los que se incurre en el proceso de producción y los costos indirectos o gastos en los que se incurre en la dirección, organización y servicios colaterales al proceso productivo.

Los gastos directos están a su vez compuestos por:

1. **Materiales:** Incluye todos aquellos materiales que se consumen en el proceso productivo exceptuando los combustibles.
2. **Salario:** Es la suma de todos los salarios de los operarios que intervienen en el proceso al cual se le adiciona las vacaciones (**Salario x 0,090905**) y la seguridad social (**Salario x 0,14**).
3. **Amortización:** Amortización de las máquinas y equipos que intervienen en el proceso productivo. Esta amortización se calcula habitualmente multiplicando la depreciación horaria por el tiempo que interviene la máquina en el proceso productivo y la depreciación horaria se calcula como el cociente del precio de la máquina entre su vida útil en horas. Este procedimiento se conoce como método de los rendimientos.
4. **Energía:** Gastos en energía ya sea eléctrica o de otro tipo. En los cálculos realizados los gastos en energía se calcularon multiplicando la mitad de la potencia de cada máquina en kW por el tiempo en horas en que se utilizó la misma y este producto a su vez por la tarifa eléctrica correspondiente.

Los gastos indirectos se estimaron como el 30% de los gastos directos.

3.2 Costo de fabricación por recuperación en el carter del reductor.

En la tabla 1 que a continuación se muestra, se reflejan los datos y los resultados de los cálculos, de acuerdo a la metodología expuesta, del costo de fabricación en el maquinado del carter a recuperar, el cual como se aprecia asciende a un total de 485.05 CUC. Nuestra unidad opera exclusivamente en una sola moneda.

3.3 Costo de fabricación del casquillo intercambiable.

En la tabla 2 se muestran los datos y los resultados de los cálculos, del costo de fabricación del casquillo intercambiable lo cual arrojó un total de 78.75 CUC. Para precios de las herramientas se empleó el libro (UNCETA, Catálogo industrial, 2012).

Después de realizado el análisis económico correspondiente al proceso de maquinado en el carter del reductor y la fabricación del casquillo intercambiable, proyecta un resultado final de **563.80 CUC** por concepto de recuperación. Vale destacar que un enfriador por aire en nuestra empresa está equipado por una batería de reductores entre 4 y 6 ventiladores. La recuperación del carter averiado fue ejecutada por el taller de mantenimiento en el mes de noviembre y hasta la fecha mantiene su correcto funcionamiento. Con cuatro meses de explotación, los especialistas que atienden esta área, exhortaron a la dirección del taller a seguir recuperando cuantos reductores averiados hallan en las plantas de procesos.

En un levantamiento realizado en el propio mes de noviembre se encontraron 18 reductores con problemas muy similares al analizado en este trabajo, por lo que se preparó un plan emergente para su recuperación.

Actualmente, en el taller de mantenimiento, y después de un ritmo de trabajo acelerado se encuentran totalmente recuperados todos los reductores, ascendiendo la suma a **10 148.40 CUC**, evitando la fuga de capitales al extranjero, máxime cuando la nación libra una batalla contra la sustitución de importaciones.

Tabla 1. Costo de fabricación por recuperación en el carter del reductor.

MATERIALES						
PRODUCTOS		CANT./u	PRECIO CUC/u		IMPORTE	
Tela de esmeril G - 60		5	0.372		1.875	
Tela de esmeril G - 100		5	0.266		1.33	
Tela de esmeril G - 180		5	0.266		1.33	
Tela de esmeril G - 80		2	0.259		0.518	
Tela de esmeril G - 150		6	0.267		1.602	
Tornillo zincado M8x50		10	0.038		0.38	
Tornillo zincado M8x100		8	0.556		4.448	
Tuerca zincada M8		18	0.008		0.144	
Arandela de presión zincada M8		18	0.0085		0.153	
Tornillo zincado M6x30		10	0.0135		0.135	
Tuerca zincada M6		10	0.0043		0.043	
Arandela plana zincada M6		10	0.002		0.02	
Portaplacas DCLNL 3232		1	98.45		98.45	
Plaquita CNMG 12 04 08		1	9.05		9.05	
GASTO TOTAL EN MATERIALES			109.56		119.48	
SALARIO						
OPERARIO	TARIF. HOR. (pesos/hr)	TIEMPO (hr)	SALARIO (pesos)	VACAC. (pesos)	S. SOC. (pesos)	GASTO SALAR. (pesos)
MEC. TALLER A	3.4277	60	205.662	18.6947	31.4099	255.7666
OPERARIO B	3.2162	12	38.5946	3.5082	5.8944	47.9972
GASTO TOTAL EN SALARIOS						303.76
AMORTIZACIÓN DE LAS MÁQUINAS HERRAMIENTAS						
MAQUINA HERRAMIENT.	PRECIO ACTUAL (pesos)	DEPRECIACION ACUMULADA	DEPRECIACION HORARIA	TIEMPO (hr)	GASTO (CUC)	
Torno Vertical CNC	113 531.83	16 489.53	6.88	60	412.8	
Taladrad. Radial	26 129.25	26 129.25	1	1	1	
GASTO TOTAL DE AMORTIZACIÓN						413.8
ENERGÍA ELÉCTRICA: VALOR = 0.204 kw-hr						
MAQUINA	POTENCIA (kW)	TIEMPO (hr)	ENERGIA (Kw-hr)	GASTOS (CUC)		
Torno Vertical CNC	53.75	60	1612.5	328.95		
Taladrad. Radial	7.52	1	3.76	0.78		
GASTO TOTAL EN ENERGIA ELECTRICA			1616.26	329.73		
SUB TOTAL DE LOS GASTOS DIRECTOS						119.48
SUB TOTAL DE LOS GASTOS INDIRECTOS						35.844
COSTO TOTAL DE FABRICACIÓN						485.05

Tabla 2. Costo de fabricación del casquillo intercambiable.

MATERIALES						
PRODUCTOS		CANT./u	PRECIO CUC/u		IMPORTE	
Tela de esmeril G – 60		5	0.372		1.875	
Tela de esmeril G – 100		5	0.266		1.33	
Tela de esmeril G – 180		5	0.266		1.33	
Tela de esmeril G – 80		2	0.259		0.518	
Tela de esmeril G – 150		6	0.267		1.602	
Laminado de acero		36 kg.	0.551		19.836	
Broca Ø 8.5		1	6.53		6.53	
Broca Ø 9.5		1	8.20		8.20	
Juego de Machos M10		1	19.36		19.36	
GASTO TOTAL EN MATERIALES			36.07		60.58	
SALARIO						
OPERARIO	TARIF. HOR. (pesos/hr)	TIEMPO (hr)	SALARIO (pesos)	VACAC. (pesos)	S. SOC. (pesos)	GASTO SALAR. (pesos)
MEC. TALLER A	3.4277	12	41.1324	3.7389	6.2820	51.1533
MEC. TALLER A	3.4277	54	185.0958	16.8252	28.2689	230.1899
MEC. TALLER A	3.4277	12	41.1324	3.7389	6.2820	51.1533
OPERARIO B	3.2162	6	38.5946	3.5082	5.8944	47.9972
GASTO TOTAL EN SALARIOS						380.49
AMORTIZACIÓN DE LAS MÁQUINAS HERRAMIENTAS						
MAQUINA HERRAMIENT.	PRECIO ACTUAL (pesos)	DEPRECIACION ACUMULADA	DEPRECIACION HORARIA	TIEMPO (hr)	GASTO (CUC)	
Torno CNC Pinacho	145 834.69	13 125.06	11.11	0.35	3.89	
Taladrad. CNC	14 286.49	2 500.05	5.715	0.12	0.69	
Rectific. Cilíndrica	7 934.69	3 018.35	2.628	1.2	3.15	
GASTO TOTAL DE AMORTIZACIÓN						7.73
ENERGÍA ELÉCTRICA: VALOR = 0.204 kw-hr						
MAQUINA	POTENCIA (kW)	TIEMPO (hr)	ENERGIA (Kw-hr)	GASTOS (CUC)		
Torno CNC Pinacho	30.2	0.35	5.29	1.08		
Taladrad. CNC	7.52	0.12	0.45	0.09		
Rectific. Cilíndrica	13.17	1.2	7.90	1.61		
GASTO TOTAL EN ENERGIA ELECTRICA			13.64	2.78		
SUB TOTAL DE LOS GASTOS DIRECTOS						60.58
SUB TOTAL DE LOS GASTOS INDIRECTOS						18.17
COSTO TOTAL DE FABRICACIÓN						78.75

3.4 Conclusiones parciales del capítulo III.

1. Después de analizar el costo económico de la fabricación del casquillo intercambiable y la recuperación del carter del reductor averiado se puede observar que el método de fabricación de piezas es una excelente vía para la solución de muchos problemas en piezas de configuraciones únicas, es un modo en el cual estamos siendo partícipes de alguna medida en la batalla de sustituciones de importaciones, o sea, se evita una fuga de capital al extranjero, batalla que llama nuestra nación para de esta manera elevar nuestro producto interno bruto.
2. De no haber realizado este trabajo de recuperación al carter del reductor, se vería afectada la batería de ventiladores que intervienen en el proceso de enfriamiento de productos derivados del petróleo pudiendo ocasionar daños indeseados.

CONCLUSIONES GENERALES

1. Se cumplieron los objetivos propuestos en este trabajo.
2. Se profundizó en los aspectos constructivos y de funcionamiento de los Enfriadores por aire de la Refinería y en particular con lo relacionado en las averías producidas en el elemento de la carcasa o carter de los Reductores Modelo 3ABG-610IYE.
3. La solución planteada para la modificación de diseño del carter del reductor empleando ahora un casquillo intercambiable en el alojamiento del cojinete dañado es correcta, causa fundamental de la avería del reductor.
4. Se elaboró un estudio correspondiente a la intercambiabilidad entre el carter y el casquillo intercambiable.
5. Se recomienda emplear un nuevo diseño del árbol con un aumento del diámetro y la modificación de la serie del cojinete del lado de la corona a Ø 100mm y la serie de ligera a mediana, sin variar el diámetro exterior del cojinete, lo que permite colocar el nuevo cojinete en la misma carcasa y elevar su resistencia a la fractura, pues el nuevo cojinete colocado es mucho más robusto que el original. Esta modificación contribuye a evitar la avería por fractura del aro interior de esta caja de bolas.
6. Se realizaron las secuencias tecnológicas de los procesos de maquinado del carter del reductor y el casquillo intercambiable.
7. Se diseñaron dispositivos y accesorios para la elaboración de manera más exitosa de los distintos procesos de maquinado, garantizando por este medio los requisitos de diseño planteados, así como los esquemas de los grados de libertad eliminados en ambas piezas.
8. Se acortan los tiempos de reparación y durabilidad del carter pues no hay que maquinar nuevamente el lugar dañado, así como la reducción en el gasto por concepto de energía eléctrica consumida y transporte del equipo al taller.
9. El trabajo obtuvo Mención en el evento de base de la ANIR en el centro.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda fabricar en el Taller Central de la Refinería de Petróleo “Camilo Cienfuegos” los dispositivos y accesorios necesarios para la ejecución del maquinado realizado en la práctica.
2. Se recomienda ensamblar un reductor con las modificaciones propuestas con vistas a evaluar su efectividad en la práctica.
3. Emplear rodamientos de simple hilera de iguales dimensiones pero cambiando a serie mediana.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Mechanical Desktop. (2002).
- al., M. I. (1990). *Problemas de Resistencia de Materiales*. Moscú: MIR.
- Bedford A., F. W. (2002). *Engineering Mechanics*. New Jersey: Third Edition. .
- Beer F.P., J. E. (1984). *Mecánica Vectorial para Ingenieros* (Vol. 2). México: Mc Graw-Hill.
- et.al., I. (1988). *Guía metodológica. Métodos de cálculo de las normas de tiempo de los procesos tecnológicos*. Holguín.
- Feodosiev, V. (1985). *Resistencia de Materiales*. Moscú: MIR.
- Fitzgerald, F. (1996). *Mecánica de Materiales*. Máxico: Alfaomega S.A.
- Fogiel, M. (1988). *Problem solver in Strength of Materials and Mechanics of Solids*. New Jerse: REA.
- G.S., P. (1979). *Manual de Resistencia de Materiales*. Moscú: MIR.
- Goytisolo. (2005). *Una formulación más exacta de la condición de resistencia según la Teoría de los Estados Tensionales Límites de Mohr*. Cuba.
- Reshetov, D. (1985). *Elementos de Máquinas*. La Habana: Pueblo y Educación.
- Shigley, J. E., & Mischke, C. D. (2001). *Diseño de ingeniería Mecánica*. España: Mc Graw Hill.
- UNCETA. (2012). Catálogo Industrial.
- V., D. (1970). *Elementos de Máquinas*. Moscú: MIR.

BIBLIOGRAFÍA

- Aleksandrov A. V., P. V. (1990). Fundamentos de las Teorías de la Elasticidad y de la Plasticidad . Moscú: MIR.
- Atlas de Diseño de Elementos de Máquinas. (1976). Habana: Pueblo y Educación.
- Avilés., R. (1995). Fatiga de Materiales en el Diseño Mecánico. Bilbao.
- Bedford A., Fower W. (2002). Engineering Mechanics. New Jersey: prentice Hall: Third Edition.
- Beer F.P. , Jonhston E.R. . (1984). Mecánica Vectorial para Ingenieros. 2T. México: Mc Graw-Hill.
- Birger I.A.. Cálculo de Resistencia de Piezas de Máquinas. Moscú: Editorial Mashinostroenie, 1966.-- 616 p.
- Carlos, M. H. (2008). Estudio teórico y experimental del coeficiente de rigidez de los apoyos en árboles con diferentes tipos de cojinetes de rodamiento. Tesis de maestría, Universidad de Cienfuegos, CEDON, Cienfuegos.
- Dobrovolski V. Elementos de Máquinas. Moscú: Editorial MIR, 1970.-- 692 p.
- Dobrovolski, V. (1985). Elementos de máquinas. Moscú: MIR.
- Faires, V. (1996). Diseño de Elementos de Máquinas. México: UTEHA.
- Feodosiev, V.I. Resistencia de Materiales. Moscú: Editorial MIR, 1985.—583p.
- Fitzgerald, F. (1996). Mecánica de Materiales. Máxico: Alfaomega S.A.
- Fogiel, M. (1988). Problem solver in Strength of Materials and Mechanics of Solids. New Jersey: REA.
- Gilda, L. F. (1983). Resistencia de materiales Tomo II. Ciudad de la Habana:Pueblo y Educación.
- Goytisolo R. ; Hidalgo C. ; Nodal F. ; Noa J.G. (2006). Estudio teórico y experimental del coeficiente de rigidez de los apoyos en árboles con diferentes cojinetes de rodamiento. Bogotá, Colombia: Memorias del tercer Congreso Internacional de Ingeniería Mecánica y primero de Mecatrónica.

- Goytisoló, R. (1989). Algunas consideraciones acerca del planteamiento de la condición de Resistencia según la Teoría de los Estados Tensionales Límite de Mohr. Cuba.
- Goytisoló, R. (2005). Una formulación más exacta de la condición de resistencia según la Teoría de los Estados Tensionales Límites de Mohr. Cuba.
- Ivanov M.N. Elementos de Máquinas. Moscú: Editorial Vischaya Schkola, 1991.— 383 p.
- Ivatsevich, Yuri; Quesada, Ana M.; Gutiérrez, Jorge C. (Holguín 1988). Guía metodológica. Métodos de cálculo de las normas de tiempo de los procesos tecnológicos.
- Miroliubov I. et. al. Problemas de Resistencia de Materiales. Moscú: Editorial MIR, 1990.—500 p.
- Pisarenko G.S. Manual de Resistencia de Materiales. Moscú: Editorial MIR, 1979.- 694 p.
- Promsyrioimport. Rusia. Metallurgist's Handbook. Part I. (Catálogo Industrial).
- Reshetov, D. Elementos de Máquina. La Habana: Editorial Pueblo y Educación, 1985.—830p.
- Shigley J.E., Mischke Ch. R. Diseño en Ingeniería Mecánica. Quinta Edición. España: Editorial Mc Graw Hill, 2001.—883 p.

ANEXOS

Programa pieza del maquinado del Carter del reductor en TORNO VERTICAL CNC.

;(Programa: << *Carter del reductor* >>)

***** MANDRINADO *****

G54
T1 D7 M6
S36 M3
G0 X215 Z3
G1 Z1 F0.22

G68 X268 Z0 C3 D0.2 L0.3 M0.1 H0.15 S10 E20
(GOTO N30)
N10 G1 G39 R1 X266
Z-8
X231.3
Q15 X230
X230 Z-64
N20 G0 X215
N30 G0 Z10
X450
M30

Programa pieza de la fabricación del casquillo intercambiable TORNO CNC**PINACHO.**

La pieza fue previamente elaborada en torno 16K20. Sus dimensiones a la salida son:

Ø Exterior: 273mm.; Ø Interior: 203mm.; longitud: 60mm.

;(Programa: << Casquillo intercambiable >>)

***** REFRENTADO *****

T1 D1 S288 M3
G0 X280 Z3 M8
G1 Z0 F0.35
X95
G0 Z250

***** MANDRINADO *****

T8 D8 S288 M3
G0 X203 Z3
G1 Z1 F0.35

G68 X217.88 Z0 C3 D0.2 L0.3 M0.1 H0.25 S60 E70
(GOTO N80)
N60 G1 Q30 X214.7
X214.7 Z-60
N70 G0 X203

N80 G0 Z50

***** CILINDRADO *****

T6 D12 S288 M3

G0 X273 Z3

G1 Z1 F0.35

G68 X227.12 Z0 C3 D0.2 L0.3 M0.1 H0.15 S30 E40

(GOTO N10)

N30 G1 Q-30 X230

X230 Z-48.5

G36 R0.5 X265

Z-50

N40 G0 X273

N10 G0 Z250

M30

Programa pieza de taladrado del casquillo intercambiable en TALADRADORA CNC.

;(Programa: << Casquillo intercambiable >>)

***** CENTRO *****

G54

F60 S900 M3

G0 X0 Y0 Z10

G81 G99 X0 Y125 Z2 I-8 K50 M8

G91 Q60 N5

G90

G81 G99 R125 Q60 Z2 I-8 K50

G91 Q120 N3

G90 G0 Z50 M5 M9

M30

***** TALADRADO BROCA Ø9.5 *****

G55

F60 S750 M3

G83 G98 X0 Y125 Z2 I-12 J1 M8

G91 Q60 N5

G90 G0 Z50 M5 M9

M30

***** TALADRADO BROCA Ø8.5 *****

G56

F60 S850 M3

G83 G99 R125 Q60 Z2 I-12 M8

G91 Q120 N3

G90 G0 Z50 M5 M9
M30

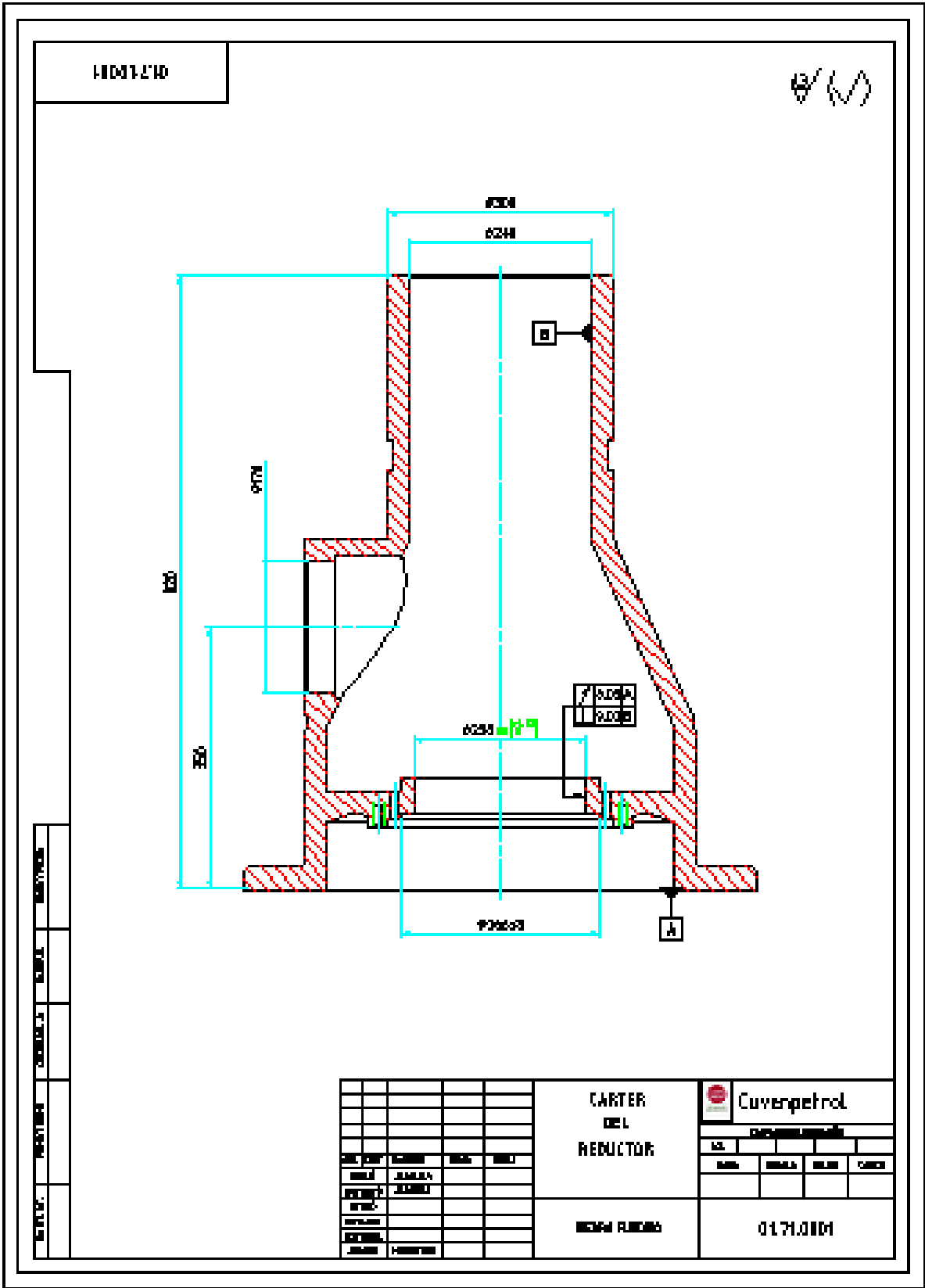
;*** **AVELLANADO** ***

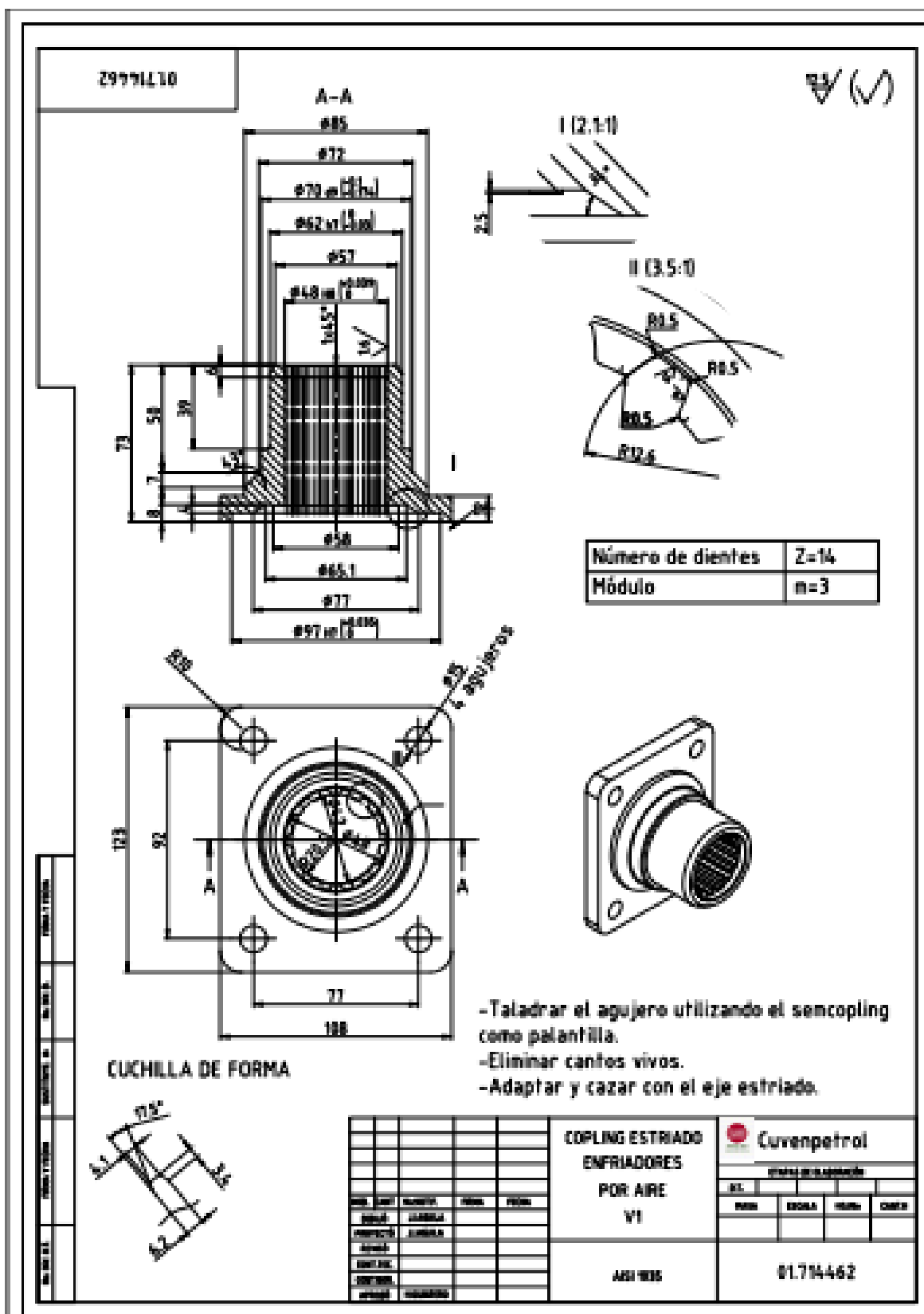
G57
F60 S100 M3
G0 X0 Y0 Z10

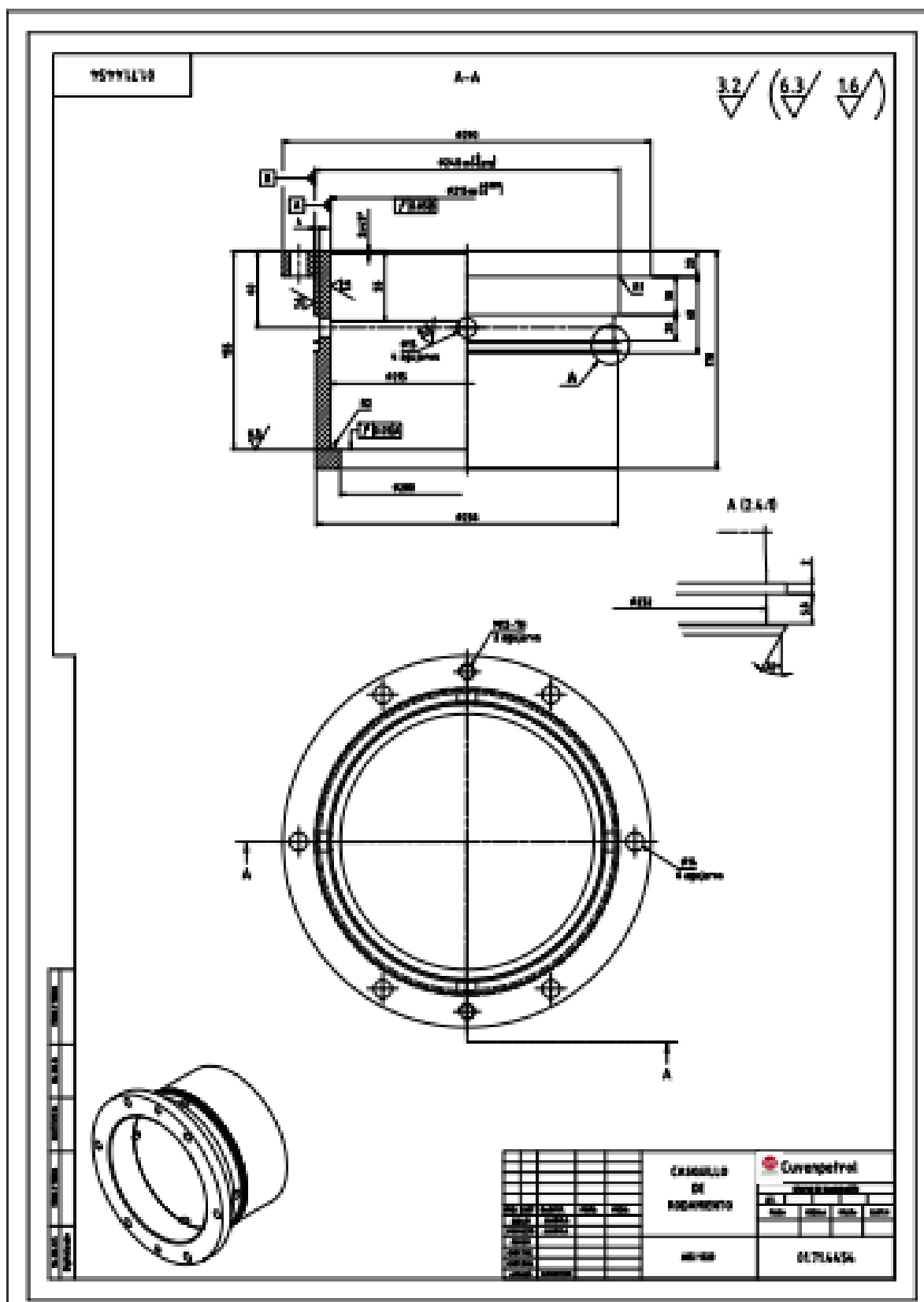
G81 G99 X0 Y125 Z2 I-6 K50 M8
G91 Q60 N5
G90
G81 G99 R125 Q60 Z2 I-6 K50
G91 Q120 N3

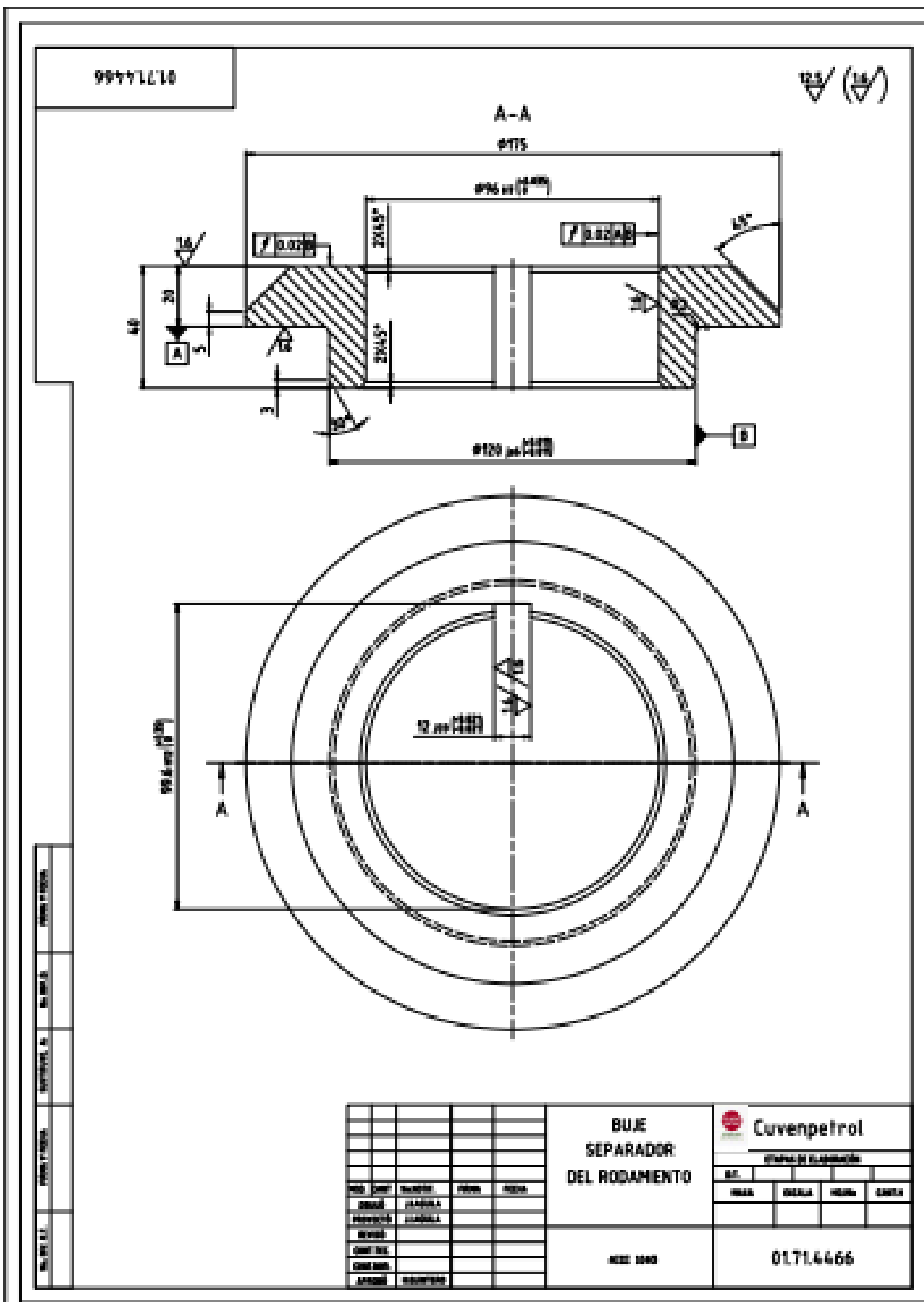
G90 G0 Z50 M5 M9
M30

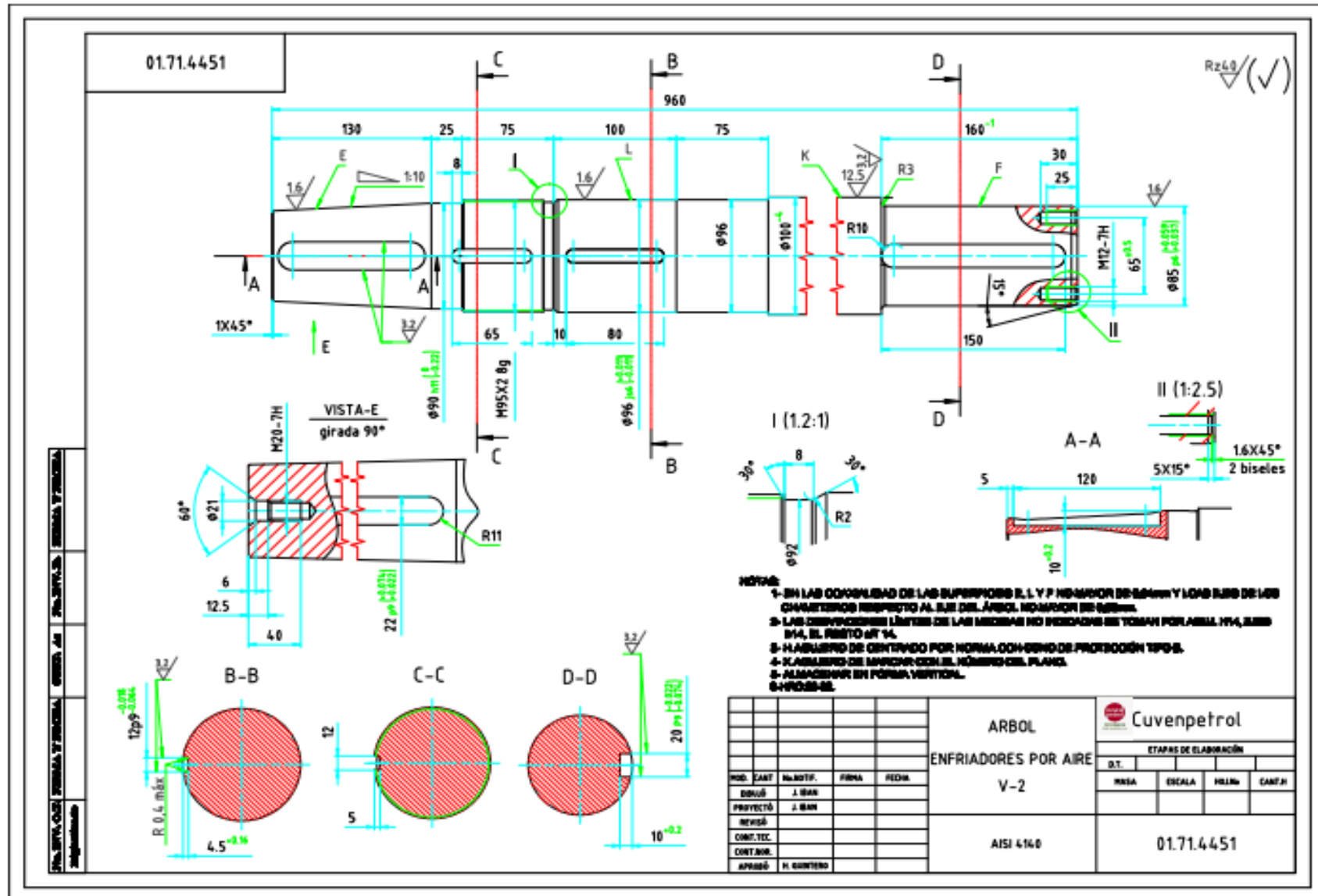
ELABORAR ROSCA M10x1.5 DE FORMA MANUAL.











ANEXOS

