

**“DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DE PARTES Y PIEZAS METÁLICAS  
PERTENECIENTES A LA SUPERINTENDENCIA DE MARES, EL CENTRO  
ECOPETROL S.A.”**

**MILTON JAVIER ORTEGA BARBOSA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA  
Bucaramanga  
2006**

**“DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DE PARTES Y PIEZAS METÁLICAS  
PERTENECIENTES A LA SUPERINTENDENCIA DE MARES, EL CENTRO  
ECOPETROL S.A.”**

**MILTON JAVIER ORTEGA BARBOSA**

**Proyecto de grado modalidad práctica empresarial realizada en la  
Superintendencia de Mares el Centro ECOPETROL S.A. con el fin de optar  
al título de Ingeniero Metalúrgico**

**Tutores:**

**Ing.Gerardo Gomez Silva**

**Ing.Alirio peñaloza parada**

**Cotutor:**

**PhD. Darío Yesid Peña Ballesteros**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA**

**Bucaramanga**

**2006**

## **DEDICADO**

**A Dios por darme fortaleza para seguir soñando.**

**A mi madre, mi padre, mi hermano y el nene por ser siempre  
mi apoyo, mi voz de aliento, y mis consejeros.**

**A mis amigos, espero no se me pase ninguno: Aguila 2,  
Chapultepec, mosco, marron, Ivan G, Catalina J, Clauchis,  
María Claudia, Carolina L, Anita, Mayris, Zaida, Diana M,  
Martha, Johan y Carolina G , José Andrés, Monica J, Paulis,  
Alecito, Pedro M, Linney, Eliana, Richard, Jorge E, Yesid,  
Carlos E, Edwin V, Ana M, Maria E, Denyse Solianis**

**Y a una personita muy especial que le encantan las piñitas.**

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales por contribuir a mi formación como persona y como profesional.

A la Superintendencia de Mares, el centro ECOPELROL S.A por darme la oportunidad de realizar esta práctica.

A la Compañía General de Aceros por la colaboración en el proyecto.

Al Ingeniero Gerardo Gómez por ser el guía en el desarrollo de este proyecto

Al profesor Darío Yesid Peña por su desinteresada colaboración y apoyo.

A todos los profesores de la escuela por aportar su granito de arena en mi formación.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>INTRODUCCION</b>	<b>16</b>
<b>1. OBJETIVOS</b>	<b>17</b>
<b>1.1. Objetivo general</b>	<b>17</b>
<b>1.2. Objetivos específicos</b>	<b>17</b>
<b>2. MARCO TEORICO</b>	<b>18</b>
<b>2.1. Procesos de mecanizado</b>	<b>18</b>
2.1.1 Fresado	18
2.1.1.1. Fresadora de tipo de bancada fija	19
2.1.1.2. Clasificación de los cepillos de codo	19
2.1.1.3. Fresadora simple	20
2.1.1.4 Fresadora universal	20
2.1.1.5. Fresadora vertical	21
2.1.1.6. Fresadoras de tipo cepillo	22
2.1.2. Torno	22
2.1.3. Perfiladora	22
2.1.4. Cepilladura	23
2.1.5. Taladradoras y perforadoras	23
2.1.6. Pulidora	24
2.1.7. Sierras	24
2.1.8. Prensas	24
2.1.9. Electro erosión	25
<b>2.2. Materiales y sus propiedades</b>	<b>27</b>
2.2.1. Aceros de fácil mecanizado	27

2.2.2. Fundiciones de hierro	28
2.2.2.1 Micro constituyente de las fundiciones	28
2.2.2.2. Propiedades	29
2.2.2.3. Aspecto	30
2.2.2.4. Peso específico	30
2.2.2.5. Temperatura de fusión	30
2.2.2.6. Resistencia a la tracción	30
2.2.2.7. Dureza	31
2.2.3. Fundición gris	31
2.2.4. Fundición maleable	35
2.2.5. Fundición blanca	36
2.2.6. Fundición atruchada	37
2.2.7. Fundición aleada	37
2.2.8. Acero AISI-SAE 4340	37
2.2.8.1 Características de empleo y aplicaciones	37
2.2.8.2. Grupo: Aceros Aleados	38
2.2.8.3. Equivalencias aproximadas en otras marcas	38
2.2.8.4. Análisis químico	38
2.2.9. Acero AISI-SAE 4140	40
2.2.9.1. Características de empleo y aplicaciones.	40
2.2.9.2. Grupo: Aceros Aleados	40
2.2.9.3. Equivalencias aproximadas en otras marcas	40
2.2.9.4. Análisis químico	41
2.2.10. Materiales para herramientas de corte	41
2.2.11. Aceros al carbono	41
2.2.12. Aceros de alta velocidad	41
2.2.13. Carburos cementados	43
2.2.14. Carburos revestidos	44
2.2.15. Cerámicas o de óxido	44
2.2.16. Diamantes	44
2.2.17. Nomenclatura de herramientas de corte	45

<b>2.3 Estado del arte</b>	<b>49</b>
<b>3. UNIDADES SELECCIONADAS</b>	<b>52</b>
<b>3.1. Unidades de bombeo</b>	<b>52</b>
3.1.1. Pines	52
3.1.2. Tuercas para pines	58
3.1.3. Ejes para chumacera	59
3.1.4. Varilla compresores bicicleta	63
3.1.5. Tuerca compresores bicicleta	64
<b>3.2. Mantenimiento eléctrico de campo</b>	<b>65</b>
3.2.1. Poleas	65
3.2.2. Bujes	74
<b>3.3. Equipo estacionario</b>	<b>77</b>
3.3.1. Ejes	77
3.3.2. Cuñas (chavetas)	83
3.3.2.1. Cuñas de Woodruff	83
3.3.2.2. Roscado	83
3.3.2.3. Definiciones de la terminología de roscas	84
3.3.2.4. Normas y estándares	86
3.3.2.5. Designación de roscas	87
3.3.2.6. Rosca en V Aguda	89
3.3.2.7. Rosca Nacional Americana Unificada	90
3.3.2.8. Rosca Acme	91
3.3.2.9. Rosca Whitworth	91
3.3.2.10. Rosca Trapezoidal	91
3.3.3. Pistones	92
3.3.4. Mangas	94
<b>3.4. Equipo móvil</b>	<b>95</b>

3.4.1. Tornillos	95
3.4.1.1. Tipos de Tornillos	97
3.4.2. Sellos	98
3.4.3. Acople tipo Detroit	99
3.4.4. Espaciadores	101
3.4.5. Eje principal llave hidráulica de tubería foster	102
3.4.6. Rodajas de apoyo al freno malacate	104
3.4.7. Polea guía del freno de malacate	104
3.4.8. Tuercas de empaques cilíndricos	105
<b>3.5. Planta de procesos</b>	<b>106</b>
3.5.1. Extractores	106
3.5.2. Punzones	108
3.5.3. Abre bridas	109
<b>3.6. Cañoneo</b>	<b>111</b>
3.6.1. Adaptadores (adapter wire line)	111
3.6.2. Brazos de levante	112
3.6.3. Camisa de cilindro	112
3.6.4. Eje	113
3.6.5. Espaciadores	114
3.6.6. Pasadores	115
3.6.7. Pistón	115
3.6.8. Seguros	116
3.6.9. Brazos de soporte	116
<b>4. CONCLUSIONES</b>	<b>118</b>
<b>5. RECOMENDACIONES</b>	<b>120</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>121</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>122</b>

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1*</b> Clasificación de las fundiciones grises según la norma ASTM A48-41	33
<b>Tabla 2 *</b> Clasificación de la fundición nodular teniendo en cuenta sus características mecánicas de acuerdo con la norma ASTM A-536	34
<b>Tabla 3*</b> propiedades del acero AISI-SAE 4340.	39
<b>Tabla 4*</b> tratamientos térmicos del acero AISI-SAE 4340.	39
<b>Tabla 5*</b> Listado de pines realizados.	57
<b>Tabla 6*</b> Listado de ejes para chumacera.	61
<b>Tabla 7*</b> muestras a analizar.	67
<b>Tabla 8*</b> Caracterización Química de los elementos para el material de las poleas. Especificaciones ECOPETROL, ASM y resultados de las diferentes muestras.	69
<b>Tabla 9*</b> Composición de las fundiciones grises dependiendo de su clase.	70
<b>Tabla 10*</b> Cuadro de resultados Especificaciones ECOPETROL.	70
<b>Tabla 11*</b> Cuadro de resultados Normas Nacionales e Internacionales	71
<b>Tabla 12*</b> Tolerancias de ranuras convencionales.	73
<b>Tabla 13*</b> listado de poleas más utilizadas.	73

<b>Tabla 14*</b> tabla para fabricación de bujes.	75
<b>Tabla 15*</b> tipos de bujes utilizados.	77
<b>Tabla 16</b> Organismos de normalización.	82
<b>Tabla 17</b> Simbolización de roscado.	86
<b>Tabla 18</b> Designaciones de ejes.	88
<b>Tabla 19</b> Mangas más utilizadas.	95

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Micro estructura del hierro gris (ferrita y perlita).	32
Figura 2 Micro estructura de la fundición nodular ferrítico perlítica.	34
Figura 3 Micro estructura de la fundición maleable ferrítica.	35
Figura 4 Micro estructura de la fundición blanca.	36
Figura 5 Pastillas de carburos de tungsteno y titanio.	43
Figura 6 Partes de un buril.	45
Figura 7 Buril evacuando viruta de una pieza.	48
Figura 8 Pin Unidad Lufkin TC 322-C.	55
Figura 9 Vista lateral Pin Unidad Lufkin TC 322-C.	56
Figura 10 Vista superior Pin Unidad Lufkin TC 322-C.	56
Figura 11 Vista isométrica Pin Unidad Lufkin TC 322-C.	58
Figura 12 Tuerca para pin.	59
Figura 13 Plano de una tuerca para pin .	59
Figura 14 Eje para chumacera de centro 322B y C.	61
Figura 15 Plano eje chumacera centro unidad 4-11.	62
Figura 16 Plano varillas compresores bicicleta.	63
Figura 17 Tuerca compresores bicicleta.	64
Figura 18 Plano tuerca compresores bicicleta.	65
Figura 19 Polea.	66
Figura 20 Dimensiones de ranuras convencionales.	72
Figura 21 Esquemas de bujes.	74
Figura 22 Esquema de rosca y sus características.	80
Figura 23 Esquema de roscas con diferentes entradas.	83
Figura 24 Rosca en V con sus características.	84
Figura 25 Rosca americana unificada.	85
Figura 26 Rosca acme.	89
Figura 27 Rosca trapezoidal.	90
Figura 28 Eje bomba GM-10-2.	91
Figura 29 Plano eje bomba GM-10.	92

Figura 30 Pistones.	93
Figura 31 Plano de pistón.	93
Figura 32 Mangas.	94
Figura 33 Plano de mangas.	94
Figura 34 Esquema de un tornillo.	96
Figura 35 Tornillos.	98
Figura 36 Sellos	98
Figura 37 Acople Detroit tipo macho	100
Figura 38 Acople Detroit Tipo Hembra	101
Figura 39 Espaciador	102
Figura 40 Eje llave hidráulica	103
Figura 41 Rodajas y malacate	104
Figura 42 Polea	105
Figura 43 Tuercas de empaques cilíndricos	106
Figura 44 Conjunto extractor, extensión y brazo	107
Figura 45 Punzón	109
Figura 46 Conjunto brida	110
Figura 47 Adapter wire line	111
Figura 48 Brazos de levante	112
Figura 49 Camisa del cilindro	113
Figura 50 Ejes	114
Figura 51 Espaciador	114
Figura 52 Pistón	115
Figura 53 Seguro	116
Figura 54 Brazos de soporte	117

TÍTULO: ``DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DE PARTES Y PIEZAS METÁLICAS PERTENECIENTES A LA SUPERINTENDENCIA DE MARES, EL CENTRO ECOPETROL S.A. `` \*1

AUTOR: ORTEGA BARBOSA MILTON JAVIER \*\*2

PALABRAS CLAVES: Dureza, tratamientos térmicos, mecanizado, resistencia a la tracción.

#### RESÚMEN:

Para este trabajo se realizó un inventario de piezas, se anotaron tanto las piezas nuevas como las usadas, y también la solicitud de estas para las diferentes unidades, se evaluó el funcionamiento de estas, así como el tipo de material que se utiliza en cada una. El objetivo general es aportar la documentación necesaria, que fue realizada mediante el levantamiento del plano de cada una de las partes o piezas seleccionadas previamente, como también el análisis de procesos, y los materiales que están usando en la actualidad, todo esto con el fin de tener una amplia y organizada información de las piezas pertenecientes a los equipos de la (SMA) Superintendencia de Mares.

La metodología utilizada para realizar el trabajo fue evaluar en campo el funcionamiento de las piezas de interés, realizar una evaluación de funcionamiento, hacer la toma de medidas y realizar apuntes de mejora.

---

\*1 Modalidad: Práctica empresarial

\*\*2 Facultad de Ingenierías Físicoquímicas- Escuela de ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales. Tutor: Ing Gerardo Gómez Silva Cotutor: Ing. Darío Yesid Peña

TITLE: `` TECHNICAL DOCUMENTATION OF PARTS AND METALLIC  
PIECES BELONGING TO THE SUPERINTENDENCE OF SEAS, THE  
CENTER ECOPETROL S.A.<sup>2</sup>.\* ``

AUTHOR: ORTEGA BARBOSA MILTON JAVIER\*\*

KEY WORDS; Hardness, thermal treatment, tensile test, machining of metals

SUMMARY:

For this work was carried out an inventory of pieces, as much the new pieces as those were written down used, and also the application of these for the different units, the operation of these was evaluated, as well as the material type that is used in each one. The general objective is to contribute the necessary documentation that was carried out by means of the rising of the plane of each one of the parts or pieces selected previously, as well as the analysis of processes, and the materials that are using at the present time, all this with the purpose of having a wide and organized information of the pieces belonging to the teams of the (SMA) Superintendence of Seas.

The methodology used to carry out the work was to evaluate in field the operation of the pieces of interest to carry out an operation evaluation, to make the taking of measures and to carry out notes of improvement.

\*<sup>1</sup>Modality: Managerial practice.

\*\*<sup>2</sup>Facultad de Ingenierías Físicoquímicas- Escuela de ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales. Tutor: Ing Gerardo Gómez Silva Cotutor: Ing. Darío Yesid Peña

## INTRODUCCION

Los procesos de mecanizado en general se han convertido en la principal herramienta en la fabricación de partes y piezas metálicas que presentan cierto grado de complejidad debido a sus diversas formas y que requieren cierta exactitud en sus dimensiones, así como un acabado superficial y un buen aspecto, que no pueden obtenerse por otros procesos metalúrgicos como la fundición, la forja etc.

Algunos de los parámetros a tener en cuenta en el momento de realizar cualquier proceso de mecanizado, son, la dureza del material, la herramienta a utilizar, la velocidad con la que se realizará el proceso y se debe tener un especial cuidado con la refrigeración de la pieza para evitar cambios no deseados en la micro estructura del material.

Inicialmente se indagó acerca de la función que cumple cada pieza, esto con el fin de tener una idea de cual material sería apto para cumplir la función para la cual fue diseñada.

Seguido de esto se procedió a realizar el levantamiento del plano utilizando los aparatos de medición adecuados para tener una confiabilidad aceptable en las piezas como son transportadores de grados, pie de rey, micrómetros de diferentes calibres, reglillas, flexo metros etc.

Con el fin de realizar cualquier modificación futura a cualquier pieza se utilizó un software (Solid Edge) en el cual quedo almacenada toda la información relacionada con los planos y algunas características técnicas de las piezas.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1 Objetivo general**

- Proporcionar la documentación técnica necesaria de cada una de las partes anotando sus principales características.

### **1.2 Objetivos específicos**

- Identificar las necesidades y servicios que tienen la empresa en la parte de fabricación de piezas.
- Llevar a cabo el inventario de las piezas de los diferentes equipos pertenecientes a la Superintendencia de Mares que se puedan fabricar por el proceso de mecanizado.
- Conocer los métodos de fabricación por mecanizado.
- Investigar sobre los materiales utilizados en la fabricación de las piezas, con el fin de optimizar su uso, o mejorarlos.
- Detectar posibles errores de las piezas, y dar las respectivas recomendaciones.
- Llevar a cabo el levantamiento del plano de cada una de las piezas.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Procesos de mecanizado

#### 2.1.1 Fresado

El fresado es un proceso para generar superficies maquinadas arrancando progresivamente pequeñas cantidades del material de la pieza a trabajar haciéndola avanzar lentamente hacia una herramienta cortante, que gira a una velocidad relativamente alta, en casi todos los casos se utiliza una herramienta de corte múltiple (formada por varios dientes ), de tal modo que la remoción del metal sea rápida. Con frecuencia se obtiene la superficie que se desea con una sola pasada.

La herramienta cortante es conocida con el nombre de fresa. Esta montada usualmente en un cuerpo cilíndrico que gira sobre su eje y tiene dientes periféricos igualmente espaciados que intermitentemente engranan y cortan la pieza. En algunos casos los dientes se prolongan hacia abajo, en uno o ambos lados de los bordes del cilindro.

Debido a que con el principio del fresado se obtiene una rápida remoción del metal y se puede producir una superficie con buen terminado, se han desarrollado fresadoras excelentes y muy versátiles.

Como resultado es uno de los procesos de maquinado más importantes .Como consecuencia de la alta productividad que puede obtenerse, el fresado es particularmente adecuado para la producción masiva.

Sin embargo, debido a la precisión y versatilidad de algunos tipos de fresadoras, también pueden ser usadas intensivamente en trabajos de taller, y matriceria; un taller que este equipado con una fresadora y un torno, puede maquinar casi cualquier producto de tamaño adecuado a las posibilidades.

#### 2.1.1.1. Fresadora de tipo de bancada fija

Las máquinas de este tipo son de producción y de construcción robusta, la bancada es una pieza fundida, rígida y de gran peso que soporta la mesa de trabajo la cual tiene solamente movimiento longitudinal; el ajuste vertical es suministrado por el cabezal del árbol y el transversal está interconstruido en el árbol. Las denominaciones de simplex, duplex y triplex indican que la máquina está equipada con uno, dos o tres cabezales. Estas máquinas son capaces de efectuar cortes profundos en trabajos de larga duración y frecuentemente son equipadas con ciclos de mecanizado de control automático.

#### 2.1.1.2. Clasificación de los cepillos de codo

De acuerdo al diseño general los cepillos de codo se pueden clasificar como sigue;

A.-Horizontal-corte en el avance y.

1. Simple (trabajo de producción)
2. Universal (trabajo de herramientas)

B.- Horizontal-corte en le retroceso

C.- Vertical

1. Ranuradora
2. Mortajadora

D.- De uso especial como para el corte de engranajes.

Se puede aplicar potencia a la máquina por medio de un motor individual, por

medio de engranajes o bandas, o empleando un sistema hidráulico. El mecanismo alternativo de la herramienta se puede disponer de diferentes maneras. Algunos de los cepillos de codo antiguos se impulsaban por medio de engranajes o por tornillos de avance, pero en la actualidad la mayoría de cepillos de codo se impulsan por un brazo oscilante y un mecanismo de manivela.

#### 2.1.1.3. Fresadora simple

La Fresadora simple es similar a la Fresadora manual, excepto que es de construcción más robusta y esta provista de un mecanismo de avance automático para controlar los movimientos de la mesa. Las fresadoras simples del tipo de columna y ménsula tienen tres movimientos longitudinal, vertical y transversal. Las de tipo de bancada fija la mesa tiene movimiento longitudinal, pero el árbol que soporta el cortador tiene ajuste vertical y transversal.

También se usa para trabajos de producción. Otros modelos disponen de un cabezal fresador universal o vertical; la máquina emplea topes para controlar los desplazamientos de la mesa que también pueden estar provista de un ciclo automático, por medio de volantes se puede controlar el movimiento longitudinalmente mientras el otro se controla a mano, los cortadores se montan un árbol horizontal que se encuentra rígido por el soporte.

#### 2.1.1.4 Fresadora universal

La Fresadora universal es esencialmente una máquina para la manufactura de herramientas construidas para piezas muy precisas. En apariencia es similar al tipo de Fresadora simple, pero diferente en que la mesa de trabajos está provista de un cuarto movimiento que le permite girar horizontalmente y esta equipada con un divisor o cabezal divisor localizado en el extremo de la mesa. La característica de giro en las máquinas universales permite el corte de

helicoidales como las encontradas en las brocas, fresas, levas y algunos engranes.

Las fresadoras universales puede también estar equipadas con un aditamento para fresado vertical y un dispositivo de mesa giratoria, prensa y cabezal mortajador así como otros accesorios todos los cuales añaden utilidad como maquina para hacer herramientas.

La disposición de ciclos automáticos puede ser suministrada a las máquinas universales, estos controlan automáticamente los desplazamientos de la mesa desde la puesta en marcha hasta la parada.

#### 2.1.1.5. Fresadora vertical

Los movimientos de la mesa son los mismos que los de la Fresadora simple. Ordinariamente no se le da la herramienta a otro movimiento que no sea el usual de rotación. Sin embargo el cabezal del árbol puede girar lo cual permite colocar el árbol que se encuentra en un plano vertical en cualquier posición desde la vertical hasta la horizontal. En esta máquina el árbol tiene un pequeño desplazamiento axial para facilitar el fresado escalando. Algunas fresadoras verticales están provistas de aditamentos giratorios o mesas de trabajo giratorias para permitir el fresado de ranuras circulares o el fresado continuo de piezas en trabajo de baja producción. Todos los cortadores son el tipo cilíndricos frontales.

Los usos de la máquina incluyen: taladro, rimado, mandrilado y espacio preciso de agujeros debido al ajuste micrométrico de la mesa, refrentado y desahogados. Las máquinas perfiladoras y vaciadoras son similares en operación a las fresadoras verticales.

#### 2.1.1.6. Fresadoras de tipo cepillo

Este tipo de fresadoras recibe su nombre debido a la semejanza que tiene con un cepillo. La pieza a trabajar se monta sobre una mesa larga que tiene solamente movimiento longitudinal, y avanza a la velocidad apropiada contra el cortador giratorio. El movimiento de avance variable de la mesa y el giro del cortador son las principales características que distinguen esta máquina de un cepillo. El árbol del cortador tiene los movimientos vertical y transversal. Estas máquinas han sido diseñadas para el fresado de piezas largas que requieren gran eliminación de material así como para el duplicado preciso de contornos y perfiles.

#### 2.1.2. Torno

El torno, la máquina giratoria más común y más antigua, sujeta una pieza de metal o de madera y la hace girar mientras un útil de corte da forma al objeto. El útil puede moverse paralela o perpendicularmente a la dirección de giro, para obtener piezas con partes cilíndricas o cónicas, o para cortar acanaladuras. Empleando útiles especiales, un torno se puede utilizar también para obtener superficies lisas, como las producidas por una fresadora, o para taladrar orificios en la pieza.

#### 2.1.3. Perfiladora

La perfiladora se utiliza para obtener superficies lisas. El útil se desliza sobre una pieza fija y efectúa un primer recorrido para cortar salientes, volviendo a la posición original para realizar el mismo recorrido tras un breve desplazamiento lateral. Esta máquina utiliza un útil de una sola punta y es lenta, porque depende de los recorridos que se efectúen hacia adelante y hacia atrás. Por esta razón no se suele utilizar en las líneas de producción,

pero sí en fábricas de herramientas y troqueles o en talleres que fabrican series pequeñas y que requieren mayor flexibilidad.

#### 2.1.4. Cepilladora

Esta es la mayor de las máquinas herramientas de vaivén. Al contrario que en las perfiladoras, donde el útil se mueve sobre una pieza fija, la cepilladora mueve la pieza sobre un útil fijo. Después de cada vaivén, la pieza se mueve lateralmente para utilizar otra parte de la herramienta. Al igual que la perfiladora, la cepilladora permite hacer cortes verticales, horizontales o diagonales. También puede utilizar varios útiles a la vez para hacer varios cortes simultáneos.

#### 2.1.5. Taladradoras y perforadoras

Las máquinas taladradoras y perforadoras se utilizan para abrir orificios, para modificarlos o para adaptarlos a una medida o para rectificar o esmerilar un orificio a fin de conseguir una medida precisa o una superficie lisa.

Hay taladradoras de distintos tamaños y funciones, desde taladradoras portátiles a radiales, pasando por taladradoras de varios cabezales, máquinas automáticas o máquinas de perforación de gran longitud.

La perforación implica el aumento de la anchura de un orificio ya taladrado. Esto se hace con un útil de corte giratorio con una sola punta, colocado en una barra y dirigido contra una pieza fija. Entre las máquinas perforadoras se encuentran las perforadoras de calibre y las fresas de perforación horizontal y vertical.

#### 2.1.6. Pulidora

El pulido es la eliminación de metal con un disco abrasivo giratorio que trabaja como una fresadora de corte. El disco está compuesto por un gran número de granos de material abrasivo conglomerado, en que cada grano actúa como un útil de corte minúsculo. Con este proceso se consiguen superficies muy suaves y precisas. Dado que sólo se elimina una parte pequeña del material con cada pasada del disco, las pulidoras requieren una regulación muy precisa. La presión del disco sobre la pieza se selecciona con mucha exactitud, por lo que pueden tratarse de esta forma materiales frágiles que no se pueden procesar con otros dispositivos convencionales.

#### 2.1.7. Sierras

Las sierras mecánicas más utilizadas se pueden clasificar en tres categorías, según el tipo de movimiento que se emplea para realizar el corte: de vaivén, circulares o de banda. Las sierras suelen tener un banco o marco, un tornillo para sujetar la pieza, un mecanismo de avance y una hoja de corte.

#### 2.1.8. Prensas

Las prensas dan forma a las piezas sin eliminar material, o sea, sin producir viruta. Una prensa consta de un marco que sostiene una bancada fija, un pistón, una fuente de energía y un mecanismo que mueve el pistón en paralelo o en ángulo recto con respecto a la bancada. Las prensas cuentan con troqueles y punzones que permiten deformar, perforar y cizallar las piezas. Estas máquinas pueden producir piezas a gran velocidad porque el

tiempo que requiere cada proceso es sólo el tiempo de desplazamiento del pistón.

#### 2.1.9. Electro erosión

Los equipos para la electro erosión son taladradoras que funcionan según el procedimiento de arco voltaico que permiten el desgaste de todos los materiales conductores eléctricos, independientemente de su dureza.

Los equipos ER se utilizan principalmente para extraer herramientas rotas (machos de roscar, brocas espirales, escariadores, etc.), así como también para efectuar orificios en piezas templadas. Al efectuar perforaciones pueden obtenerse superficies y tolerancias, desde fino hasta basto según el ajuste de trabajo seleccionado.

El arco voltaico se logra mediante una corriente continua suministrada por el generador y aplicada entre el electrodo y la pieza. El electrodo es siempre el polo negativo y la pieza el polo positivo.

Una rápida sucesión de arcos voltaicos entre el electrodo y la pieza produce, según la polaridad, la erosión del material de la pieza y, en menor medida, también del electrodo. Esta variable relación del desgaste oscila, según el material del electrodo y de la pieza, entre 1:2 y 1:5, siendo independiente de la dureza de la pieza. Las posibilidades de mecanización dependen, no obstante, en gran medida del punto de fusión del material a desgastar.

La velocidad de trabajo y el volumen de desgaste están en función de la densidad de corriente (la calidad de la superficie obtenida). Una densidad de corriente elevada, no obstante, produce correspondientemente una superficie rugosa.

La sucesión de arcos voltaicos se obtiene mediante el cabezal de erosión (denominado cabezal oscilante). El electrodo hueco sujeto en el cabezal oscilante mediante una pinza, realiza oscilaciones en sentido longitudinal produciendo así el encendido y la interrupción del arco voltaico. El encendido del arco voltaico se indica mediante la extinción del piloto luminoso instalado en el cabezal oscilante. Un centelleo rápido, uniforme, de esta lámpara piloto, casi en el punto de extinción, indica el desgaste de material máximo posible. La intensidad del arco voltaico está determinada por el ajuste de trabajo.

A través del electrodo hueco se transporta mediante una bomba líquido refrigerante (taladrina) hasta el material a desgastar. El líquido refrigerante se utiliza para la refrigeración de la pieza y simultáneamente para la extracción del material erosionado. Impide en el caso de taladrado de perfiles un recalentamiento inadmisible de la pieza y del electrodo y de esta forma la deformación de su estructura. No obstante, en algunos materiales (alto contenido de carbono) no puede evitarse un endurecimiento superficial moderado.

Los equipos de los tipos ER contienen todos los dispositivos y posibilidades de regulación necesarios para el trabajo según el principio descrito anteriormente. La cabezada oscilante es el mismo en todos los equipos ER.

Los trabajos pueden realizarse desde el sentido horizontal hasta el vertical. Debido a que el electrodo no gira durante el procedimiento de trabajo, pueden efectuarse también perforaciones de cualquier forma. También se pueden realizar cortes de separación.

## **2.2. Materiales y sus propiedades**

### **2.2.1. Aceros de fácil mecanizado**

SAE 1111, 1112,1113. Esta clase de aceros se destinan a aquellos usos en que el mecanizado fácil es el requisito principal, se caracterizan por un mayor contenido de azufre que los aceros al carbono normales. Esta adición de azufre disminuye las propiedades de embutición en frío, soldabilidad y características de forja.

Estos aceros se llaman comúnmente barra bessemer para tornillería, y se consideran los mejores aceros para el mecanizado, mejorándose la maquinabilidad dentro del grupo cuando se incrementa el azufre. Aunque de excelente resistencia para el estirado en frío, tienen una propiedad desfavorable para la reducción en frío y no se usan comúnmente como piezas vitales. Estos aceros pueden cementarse, pero cuando es necesario el tratamiento térmico, se recomiendan los aceros siemens.

SAE 1109, 1114, 1115, 1116, 1117, 1118, 1119, 1120,1126. Los aceros de este grupo se utilizan cuando interesa un fácil mecanizado como una mejor adaptabilidad al tratamiento térmico. Los de menos carbono se emplean para piezas pequeñas que han carbonitrurarse. Los SAE 1116, 1117,1118 y 1119 llevan más manganeso para mejor templabilidad permitiendo el temple en aceite después de la cementación. Los de más carbono, SAE 1120 y 1126 proporcionan mayor dureza del núcleo cuando esto es necesario.

SAE 1132, 1137, 1138, 1140, 1144, 1145,1146 y 1151. Este grupo de aceros tiene características comparables a las de los aceros del mismo contenido de

carbono, con la excepción de los cambios provocados por el mayor contenido de azufre, como se ha indicado anteriormente.

Son ampliamente usados para las piezas que se han de fabricar en gran cantidad, o en donde las roscas, el nervado u otras operaciones originan el problema de herramental especial. El SAE 1137, por ejemplo, se usa mucho para tuercas, pernos y espárragos roscados con máquina. Los de más manganeso, SAE 1132, 1137, 1141, 1144, ofrecen mayor templabilidad, siendo los tipos de más carbono convenientes para el temple al aceite para muchas piezas. Todos estos aceros pueden templarse por calentamiento por inducción o con la llama si se desea.

#### 2.2.2. Fundiciones de hierro

Las fundiciones de hierro son aleaciones de hierro carbono del 2 al 5%, cantidades de silicio del 2 al 4%, de manganeso hasta 1%, bajo azufre y bajo fósforo. Se caracterizan por que se pueden vaciar del horno cubilote para obtener piezas de muy diferente tamaño y complejidad pero no pueden ser sometidas a deformación plástica, no son dúctiles ni maleables y poco soldables pero sí maquinables, relativamente duras y resistentes a la corrosión y al desgaste.

Las fundiciones tienen innumerables usos y sus ventajas más importantes son:

- Son más fáciles de maquinar que los aceros.
  
- Se pueden fabricar piezas de diferente tamaño y complejidad.
  
- En su fabricación no se necesitan equipos ni hornos muy costosos.
  
- Absorben las vibraciones mecánicas y actúan como autolubricantes.

- Son resistentes al choque térmico, a la corrosión y de buena resistencia al desgaste.

De acuerdo con la apariencia de su fractura, las fundiciones pueden ser grises, blancas, atruchadas, aunque también existen las fundiciones maleables, nodulares y especiales o aleadas.

#### 2.2.2.1 Micro constituyente de las fundiciones

Las fundiciones de hierro pueden presentar los mismos constituyentes de los aceros, más el eutéctico ledeburita compuesto de austenita y cementita, el eutéctico ternario de cementita, ferrita y fósforo de hierro (esteadita) y el carbono en forma de láminas, nódulos o esferitas de grafito, su microestructura se basa en el diagrama hierro carbono estable.

Ledeburita: Es el constituyente eutéctico que se forma al enfriar la fundición líquida de 4.3% C desde 1145°C. Está formada por 52% de cementita y 48% de austenita de 2% C. La ledeburita no existe a temperatura ambiente en las fundiciones ordinarias debido a que en el enfriamiento se transforma en cementita y perlita; sin embargo, en las fundiciones se pueden conocer la zonas donde existió la ledeburita por el aspecto eutéctico con que quedan las agrupaciones de perlita y cementita.

Esteadita: Es un constituyente de naturaleza eutéctica duro, frágil (300 a 350 Vickers) y de bajo punto de fusión (960°C), que aparece en las fundiciones de alto contenido en fósforo (más de 0.15 % P).

#### 2.2.2.2. Propiedades

Es muy frágil, dureza baja de unos 80 a 100 HB, resistente al choque térmico, a la corrosión, absorbe las vibraciones, bajo costo y poco soldable comparado con el acero.

#### 2.2.2.3. Aspecto

La superficie exterior en la fundición es de color gris oscuro, mientras que la fractura es oscura (fundición negra) o gris (fundición gris) o atruchada (puntos claros sobre fondo oscuro, o viceversa) o clara (fundición blanca); al aire libre, la superficie externa se cubre de herrumbe (óxido hidratado de hierro) de color rojo pardo que penetra lentamente en el interior.

#### 2.2.2.4. Peso específico

El peso específico varía con la composición y por consiguiente con el aspecto de la fundición; se puede admitir, por término medio:

Fundición gris = 7 a 7.2 gr/cm<sup>3</sup>

Fundición atruchada = 7.3 a 7.4 gr/cm<sup>3</sup>

Fundición blanca = 7.4 a 7.6 gr/cm<sup>3</sup>

#### 2.2.2.5. Temperatura de fusión

Varía con la composición y el aspecto de la fundición. En promedio es:

Fundición negra gris 1200° C

Fundición blanca 1100° C

#### 2.2.2.6. Resistencia a la tracción

La fundición gris tiene una carga de rotura a la tracción que, de cerca de 15 Kg/mm<sup>2</sup>, llega a los 30, 40 y 45 Kg/ mm<sup>2</sup>. Las fundiciones aleadas y las esferoidales sobrepasan este límite llegando a cargas que se pueden comparar a las de los aceros de calidad (70 y hasta 80 Kg/ mm<sup>2</sup>.) en las fundiciones

maleables las cargas de rotura son de por lo menos 32 Kg/ mm<sup>2</sup>, generalmente en torno a 40 Kg/ mm<sup>2</sup>.

La resistencia a la comprensión es mayor, y para las fundiciones grises normales resulta cerca de tres veces la de la tracción: por eso, es aconsejable someter las piezas de fundición a esfuerzos de compresión, más bien que a los de tracción.

#### 2.2.2.7. Dureza

La dureza de la función es relativamente elevada. La fundición gris tiene una dureza de 140 a 250 Brinell, se puede mecanizar fácilmente, porque la viruta se desprende mejor y por la presencia de grafito liberado, que lubrica el paso de la viruta sobre el corte de la herramienta, la viruta es siempre escamosa, excepto en las fundiciones maleables y en las de grafito nodular. Las fundiciones blancas tienen una dureza superior a 350 a 400 Brinell. Hasta cerca de 550 Brinell se pueden mecanizar con herramientas de carburo; más allá, requieren la muela de esmeril.

#### 2.2.3. Fundición gris

La fundición gris puede ser fácilmente moldeada y mecanizada. Normalmente contiene de 1.7 a 4.5% de carbono, y de 1 a 3% de silicio. El exceso de carbono esta en forma de laminillas que producen en el material una fractura de color oscuro, de la que recibe el nombre la fundición gris se usa ampliamente en aplicaciones tales como herramientas de máquinas, bloques de automóviles, tuberías y herramientas agrícolas.

Las normas relativas a las fundiciones grises se dan en el American National Standard G25. Estas normas, agrupan las fundiciones en dos categorías. Las fundiciones grises de las clases 20A, 20B, 20C, 25A, 25B, 25C, 30A, 30B, 30C, 35A, 35B y 35C se caracterizan por su excelente maquinabilidad, alta capacidad de amortiguamiento, bajo modulo de elasticidad y comparativamente fácil elaboración. las fundiciones de las clases 40B, 40C, 45B, 45C, 50B, 50C, 60B y 60C son generalmente mas difíciles de mecanizar, tienen mejor capacidad de amortiguamiento mejor modulo de elasticidad y son más difíciles de elaborar el prefijo numeral indica la resistencia a la tracción mínima en libras por pulgada cuadrada.

Las fundiciones de alta resistencia elaboradas por el proceso Meehanite pueden tener varias combinaciones de propiedades físicas que satisfagan diferentes requisitos. Además de los tipos de aplicación general del proceso Meehanite incluye fundiciones resistentes a la temperatura, al desgaste y a la corrosión.

Clasificación de las láminas de grafito según la forma, tamaño y distribución

El hierro gris es fácil de maquinar, tiene alta capacidad de templado y buena fluidez para el colado, pero es quebradizo y de baja resistencia a la tracción.

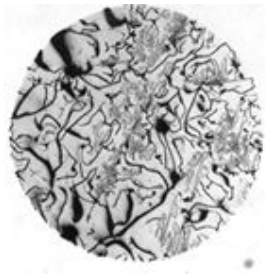


Figura 1<sup>3</sup> **Micro estructura del hierro gris (ferrita y perlita)**

El hierro gris se utiliza bastante en aplicaciones como bases o pedestales para máquinas, herramientas, bastidores para maquinaria pesada, y bloques de cilindros para motores de vehículos, discos de frenos, herramientas agrícolas entre otras.

<sup>3</sup>METAL HANDBOOK , vol 4 tools Materials 1991

**Tabla 1<sup>4</sup>** Clasificación de las fundiciones grises según la norma ASTM A48-41.

Clase	Resistencia a la tracción-psi	Dureza brinell	Estructura
20	24000	130-180	F,P
30	34000	170-210	F,P,G
40	44000	210-260	P,G
50	54000	240-280	P,G
60	64000	260-300	B,G

Clasificación de las fundiciones grises según la norma ASTM A48-41. F: ferrita; P: perlita; G: grafito; B: bainita. La fundición nodular, dúctil o esferoidal se produce en hornos cubilotes, con la fusión de arrabio y chatarra mezclados con coque y piedra caliza.

La mayor parte del contenido de carbono en el hierro nodular, tiene forma de esferoides.

Para producir la estructura nodular el hierro fundido que sale del horno se inocula con una pequeña cantidad de materiales como magnesio, cerio, o ambos. Esta microestructura produce propiedades deseables como alta ductilidad, resistencia, buen maquinado, buena fluidez para la colada, buena endurecibilidad y tenacidad. No puede ser tan dura como la fundición blanca, salvo que la sometan a un tratamiento térmico, superficial, especial.

Este tipo de fundición se caracteriza por que en ella el grafito aparece en forma de esferas minúsculas y así la continuidad de la matriz se interrumpe mucho menos que cuando se encuentra en forma laminar, esto da lugar a una resistencia a la tracción y tenacidad mayores que en la fundición gris ordinaria. La fundición nodular se diferencia de la fundición maleable en que normalmente se obtiene directamente en bruto de colada sin necesidad de tratamiento térmico posterior.

<sup>4</sup> Tomada de ASTM A48-41.

El contenido total de carbono de la fundición nodular es igual al de la fundición gris. Las partículas esferoidales de grafito se forman durante la solidificación debido a la presencia de pequeñas cantidades de magnesio o cerio, las cuales se adicionan al caldero antes de colar el metal a los moldes, la cantidad de ferrita presente en la matriz depende de la composición y de la velocidad de enfriamiento.

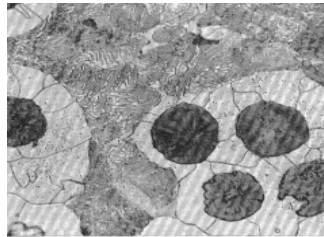


Figura 2<sup>5</sup> **Microestructura de la fundición nodular ferrítico perlítica**

Las fundiciones nodulares perlíticas presentan mayor resistencia pero menor ductilidad y maquinabilidad que las fundiciones nodulares ferríticas.

**Tabla 2<sup>6</sup>** Clasificación de la fundición nodular teniendo en cuenta sus características mecánicas de acuerdo con la norma ASTM A-536.

<b>Clase</b>	<b>Resistencia a la tracción</b>	<b>Lím. fluencia</b>	<b>Dureza brinell</b>	<b>alargamiento (%)</b>
60-40-18	42000	28000	149-187	18
65-45-12	45000	32000	170-207	12
80-55-06	56000	38000	187-255	6
100-70-03	70000	47000	217-267	3
120-70-02	84000	63000	240-300	2

<sup>5-6</sup> Tomadas de ASTM A-536.

Cada día se están sustituyendo muchos elementos de máquinas que tradicionalmente eran de fundición gris o acero por fundición nodular.

#### 2.2.4. Fundición maleable

Los hierros maleables son tipos especiales de hierros producidos por el tratamiento térmico de la fundición blanca. Estas fundiciones se someten a rígidos controles y dan por resultado una micro estructura en la cual la mayoría del carbono está en la forma combinada de cementita, debido a su estructura la fundición blanca es dura, quebradiza y muy difícil de maquinar.

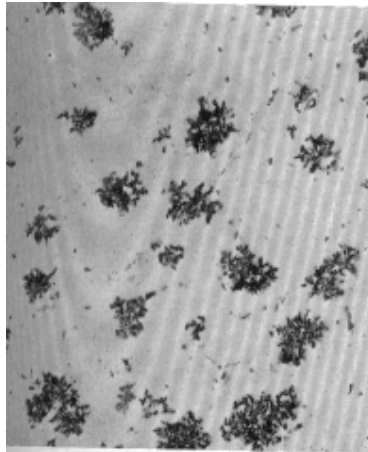


Figura 3<sup>7</sup> **Micro estructura de la fundición maleable ferrítica**

La fundición blanca se produce en el horno de cubilote, su composición y rapidez de solidificación separa coladas que se transformarán con tratamiento térmico en hierro maleable. La fundición blanca también se utiliza en aplicaciones donde se necesita buena resistencia al desgaste tal como en las trituradoras y en los molinos de rodillos.

<sup>7</sup>Tomadas de ASTM A-536.

### 2.2.5. Fundición blanca

Se forma al enfriar rápidamente la fundición de hierro desde el estado líquido, siguiendo el diagrama hierro-cementita meta estable; durante el enfriamiento, la austenita solidifica a partir de la aleación fundida en forma de dendritas. A los 1130°C el líquido alcanza la composición eutéctica (4.3%C) y se solidifica como un eutéctico de austenita y cementita llamado ledeburita. Este eutéctico aparece en su mayor parte como cementita blanca que rodea las dendritas de forma de helecho.

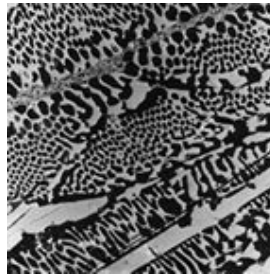


Figura 4<sup>8</sup> **Micro estructura de la fundición blanca**

La fundición blanca se utiliza en cuerpos molidores por su gran resistencia al desgaste, el enfriamiento rápido evita la grafitización de la cementita, pero si se calienta de nuevo, la pieza colada a una temperatura de 870°C, el grafito se forma lentamente adoptando una forma característica conocida como carbono de revenido, resultando la fundición maleable. La matriz de la fundición puede ser ferrítica o perlítica si la aleación se enfría más rápidamente a partir de los 723°C al final del tratamiento de maleabilización.

<sup>8</sup>Tomadas de ASTM A-536.

Las fundiciones maleables se utilizan en la fabricación de partes de maquinaria agrícola, industrial y de transporte.

#### 2.2.6. Fundición atruchada

Se caracteriza por tener una matriz de fundición blanca combinada parcialmente con fundición gris. El carbono se encuentra libre y combinado, siendo difícilmente maquinable.

#### 2.2.7. Fundición aleada

Las fundiciones aleadas son aquellas que contienen uno o más elementos de aleación en cantidades suficientes para mejorar las propiedades físicas o mecánicas de las fundiciones ordinarias. Los elementos que normalmente se encuentran en las primeras materias, como el silicio, manganeso, fósforo y azufre no se consideran como elementos de aleación.

Los elementos de aleación se adicionan a las fundiciones ordinarias para proporcionarles alguna propiedad especial, tal como resistencia a la corrosión, al desgaste o al calor, o para mejorar sus propiedades mecánicas. La mayoría de los elementos de aleación adicionados a las fundiciones aceleran o retardan la grafitización, y ésta es una de las principales razones de su empleo. Los elementos de aleación más utilizados son el cromo, cobre, molibdeno, níquel y vanadio.

#### 2.2.8. Acero AISI-SAE 4340

2.2.8.1 Características de empleo y aplicaciones. Este acero se caracteriza por su gran templabilidad, tenacidad y resistencia a la fatiga, porque es capaz de dar buenas propiedades en piezas de gran sección. No presenta fragilidad de revenido y posee maquinabilidad a dureza relativamente alta (400Brinell).

Es utilizado generalmente en la industria automotriz para la fabricación de piezas muy solicitadas que requieren una dureza y tenacidad elevada. Tortillería de alta resistencia templada y revenida de gran sección, levas de mando, engranajes para máquinas templados por inducción, ejes para carros y camiones, discos para frenos, cardanes, bielas para motores, árboles para carros y ejes de transmisión de grandes dimensiones, etc.

#### 2.2.8.2. Grupo: Aceros Aleados

#### 2.2.8.3. Equivalencias aproximadas en otras marcas:

DIN:40CrNiMo7

ASSAB:705

AFNOR:38NCD6

CENIM:F-1272

SAE/AISI: 4340

#### 2.2.8.4. Análisis químico

C:0.38-0.43

Mn:0.60-0.80

P<sub>máx</sub>:0.035

S<sub>máx</sub>:0.040

Si:0.15-0.35

Cr:0.70-0.90

Mo:0.20-0.30

Ni: 1.65-2.00

**Tabla 3<sup>9</sup>** Propiedades del acero AISI-SAE 4340

Estado de Suministro	Resistencia Tracción Kg/mm <sup>2</sup>	Límite Elástico Kg/mm <sup>2</sup>	Alargamiento %	Reducción de Area %	Dureza Brinell
Laminado en Caliente	65/75	45	20	50	210/240
Calibrado	75/85	65	10	30	240/260
Bonificado	90/110	80	16	45	260/320

**Tabla 4<sup>10</sup>** Tratamientos térmicos del acero AISI-SAE 4340.

Tratamiento	Temperatura °C	Medio de Enfriamiento
Forja	850/1100	Ceniza o Cal
Temple	820/860	Aceite
Normalizado	850/870	Aire
Recocido	690/720	Horno
Revenido	540/660	Aire

<sup>9-10</sup> Tomado de catalogo de aceros CGA

### 2.2.9. Acero AISI-SAE 4140

2.2.9.1. Características de empleo y aplicaciones. Es un acero aleado al Cromo-Molibdeno de buena penetración de temple y con buenas características de estabilidad en caliente hasta 400°C, sin fragilidad de revenido, muy versátil y apto para esfuerzos de fatiga y torsión. Puede ser endurecido superficialmente por temple directo (a la llama o por inducción) obteniendo durezas de 57-62 RockwellC.

Se utiliza generalmente en estado bonificado a una resistencia a la tracción de 88-100 Kg/mm<sup>2</sup> para: ejes, engranajes, cigüeñales, cilindros de motores, bielas, rotores, árboles de turbinas a vapor, ejes traseros, etc. Muy utilizado en piezas forjadas como herramientas, llaves de mano, destornilladores. En la industria petrolera para taladros, brocas, barrenos, tubulares, partes de bombas, vástagos de pistón, espárragos, etc.

### 2.2.9.2. Grupo: Aceros Aleados

### 2.2.9.3. Equivalencias aproximadas en otras marcas

DIN:42CrMo4

ASSAB:709

AFNOR:42CD4

B.S.:EN-19

UNI:40CD4

CENIM:F-1252

SAE/AISI: 4140

#### 2.2.9.4. Análisis químico

C:0.38-0.43

Mn:0.75-1.00

Pmáx:0.035

Smáx:0.040

Si:0.15-0.35

Cr:0.80-1.10

Mo: 0.15-0.25

#### 2.2.10. Materiales para herramientas de corte

Los materiales para las herramientas de corte incluyen aceros al carbono, aceros de mediana aleación, aceros de alta velocidad, aleaciones fundidas, carburos cementados, cerámicas u óxidos y diamantes.

El carbono forma un carburo con el hierro, lo que hace que responda al temple y, de esta manera aumentar la dureza, la resistencia mecánica y la resistencia al desgaste. El contenido de carbono de los aceros para herramientas está entre 0.6% y 1.4%.

El cromo se adiciona para aumentar la resistencia al desgaste y la tenacidad; el contenido esta entre 0.25% y 4.5%.

El cobalto se suele emplear en aceros de alta velocidad para aumentar la dureza en caliente, a fin de poder emplear las herramientas con velocidades de corte y temperaturas más altas y aún así mantener la dureza y los filos. El contenido esta entre 5% y 12%.

El molibdeno es un elemento fuerte para formar carburos y aumentar la resistencia mecánica, la resistencia al desgaste y la dureza en caliente.

Siempre se utiliza junto con otros elementos de aleación. El contenido es hasta de 10%.

El tungsteno mejora la dureza en caliente y la resistencia mecánica; el contenido esta entre 1.25% y 20%.

El vanadio aumenta la dureza en caliente y la resistencia a la abrasión, el contenido en los aceros al carbono para herramientas es de 0.20% a 0.50%, en los aceros de altas velocidades esta entre 1% y 5%.

#### 2.2.11. Aceros al carbono

Son el tipo más antiguo de acero empleado en herramientas de corte. Este acero es poco costoso, tiene resistencia a los choques, se puede someter a tratamiento térmico para obtener un amplio rango de durezas, se forma y rectifica con facilidad y mantiene su borde filoso cuando no está sometido a abrasión excesiva y utilizado para brocas que trabajan a velocidades más o menos bajas, para machuelos, brochas y escariadores, aunque y a los han sustituido otros materiales para herramientas.

#### 2.2.12. Aceros de alta velocidad

Mantiene su elevada dureza a altas temperaturas y tienen buena resistencia al desgaste. Las herramientas de este tipo de aleaciones que se funden y se rectifican a la forma deseada, se componen de cobalto 38% a 53%, cromo 30% a 33% y tungsteno 10% a 20%. Estas aleaciones se recomiendan para operaciones de desbaste profundo con velocidades y avances más o menos altos. Sólo se emplean para obtener un buen acabado superficial especial.

### 2.2.13. Carburos cementados

Tienen carburos metálicos como ingredientes básicos y se fabrican con técnicas de metalurgia de polvos. Las puntas afiladas con sujetadores mecánicas se llaman insertos ajustables, se encuentran en diferentes formas, como cuadrados, triángulos, circulares y diversas formas especiales.

Hay tres grupos:

1. Carburo de tungsteno aglutinado con cobalto, que se emplea para maquinar hierros fundidos y Metales abrasivos ferrosos
2. Carburo de tungsteno con aglutinante de cobalto más una solución sólida, para maquinar en aceros.
3. Carburos de titanio con aglutinante de níquel y molibdeno, para cortar en donde hay altas temperaturas debido a las altas velocidades de corte o a la alta resistencia mecánica del material de la pieza de trabajo.



Figura 5<sup>11</sup> **Pastillas de carburos de tungsteno y titanio**

<sup>11</sup>Tomadas de ASTM A-536.

#### 2.2.14. Carburos revestidos

Con insertos normales de carburo revestidos con una capa delgada de carburo de titanio, nitruro de titanio u óxido de aluminio. Con el revestimiento se obtiene resistencia adicional al desgaste a la vez que se mantienen la resistencia mecánica y la tenacidad de la herramienta de carburo.

#### 2.2.15. Cerámicas o de óxido

Contienen principalmente granos finos de óxido de aluminio ligados entre sí. Con pequeñas adiciones de otros elementos se ayuda a obtener propiedades óptimas. Las herramientas de cerámica tienen una resistencia muy alta a la abrasión, con más dureza que los carburos cementados y tienen menor tendencia a soldarse con los metales durante el corte. Sin embargo, carecen de resistencia al impacto y puede ocurrir su falla prematura por desportilladura o rotura. Se ha encontrado que las herramientas de cerámica son eficaces para operaciones de torneado ininterrumpido a alta velocidad.

#### 2.2.16. Diamantes

Policristalino se emplea cuando se desean buen acabado superficial y exactitud dimensional, en particular en materiales no ferrosos, blandos, que son difíciles de maquinar. Las propiedades generales de los diamantes son dureza extrema, baja expansión térmica, alta conductividad térmica y un coeficiente de fricción muy bajo.

WS. Acero de herramientas no aleado. 0.5 a 1.5% de contenido de carbono. Soportan sin deformación o pérdida de filo hasta 250°C. También se les conoce como acero al carbono.

SS. Aceros de herramienta aleados con wolframio, cromo, vanadio, molibdeno y otros. Soportan hasta 600°C. También se les conoce como aceros rápidos.

HS. Metales duros aleados con cobalto, tungsteno, wolframio y molibdeno. Son pequeñas plaquitas que se unen a metales corrientes para que los soporten. Pueden trabajar hasta 900°C.

Estudio comparativo: Para el arranque de virutas se utilizan herramientas de corte y las cuchillas o cinceles de torneado. La eficiencia de las herramientas depende del material de que están hechas, y de la forma del filo.

Las herramientas de acero no aleado son buenas para trabajos que no requieran de mucha precisión ya que pierden su filo a temperaturas mayores a los 250°C, y como se sabe el filo de la herramienta es muy importante para la calidad superficial de la pieza. En el caso que se quiera trabajar con altas velocidades, altas temperaturas se recomienda utilizar herramientas de aceros aleados o (SS), ya que mantienen su dureza y filo a estas condiciones tan extremas, para trabajos donde se desea trabajar a altas velocidades y materiales muy duros se recomienda trabajar con carburos cementados, que poseen una dureza elevada, reducen el tiempo de trabajo de una pieza, pero no son baratos son muy caros, se obtienen superficies muy lisas.

Las herramientas de diamante se utilizan para trabajos muy finos, son muy costosas no se desgastan tan fácilmente, y se usan para el corte de otras herramientas de corte.

Las herramientas cerámicas son útiles para trabajos de acabado, se rompen con mucha facilidad por su gran dureza, y no son muy eficientes para trabajos

de torneado a altas velocidades, su desventaja primordial es que no se pueden golpear en el momento de realizar el torneado ya que perderán su filo.

#### 2.2.17. Nomenclatura de herramientas de corte

Existen diversos tipos de herramientas de corte, entre las que se destacan los monofilos, las multifilo y las abrasivas. Las herramientas monofilo se usan en las operaciones principales de torneado, las multifilo se usan en operaciones de fresado y taladrado, y las abrasivas en procesos de rectificado.

Las herramientas de corte monofilo (un filo) estructuralmente constan de dos partes, una cortante (o elemento productor de viruta) y otro denominado cuerpo. Se encuentran normalmente en tornos, tornos revólver, cepillos, limadoras, mandrinadoras y máquinas herramientas semejantes.

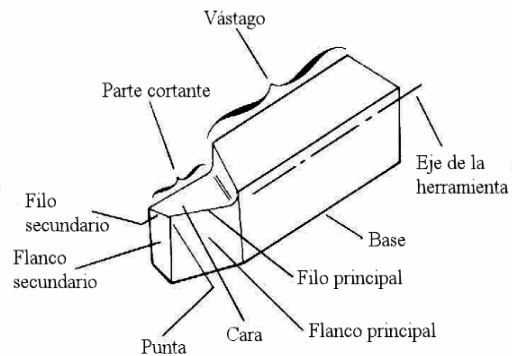


Figura 6<sup>12</sup> Partes de un buril

<sup>12</sup>Tomadas de ASTM A-536.

En la figura 6 se observan las partes más importantes de una herramienta monofilo donde se pueden destacar:

- La cara, que es la superficie o superficies sobre las cuales fluye la viruta (superficie de desprendimiento).
- El flanco, que es la superficie de la herramienta frente a la cual pasa la superficie generada en la pieza (superficie de incidencia).
- El filo es la parte que realiza el corte, siendo el filo principal la parte que ataca directamente a la pieza y el filo secundario la parte restante.
- La punta de la herramienta es el lugar donde se interceptan el filo principal y secundario.

En general, la herramienta tiene dos componentes de movimiento. La primera corresponde al movimiento derivado del movimiento principal de la máquina, y la segunda está relacionada con el avance de la herramienta. El movimiento resultante corresponde al *movimiento resultante de corte*, y el corte, como tal, se produce por un movimiento relativo entre la herramienta y la pieza. El movimiento principal es el que consume una mayor cantidad de energía, y corresponde normalmente al que mueve al husillo. El movimiento de avance ocupa menos energía y puede ser un movimiento continuo o alternado.

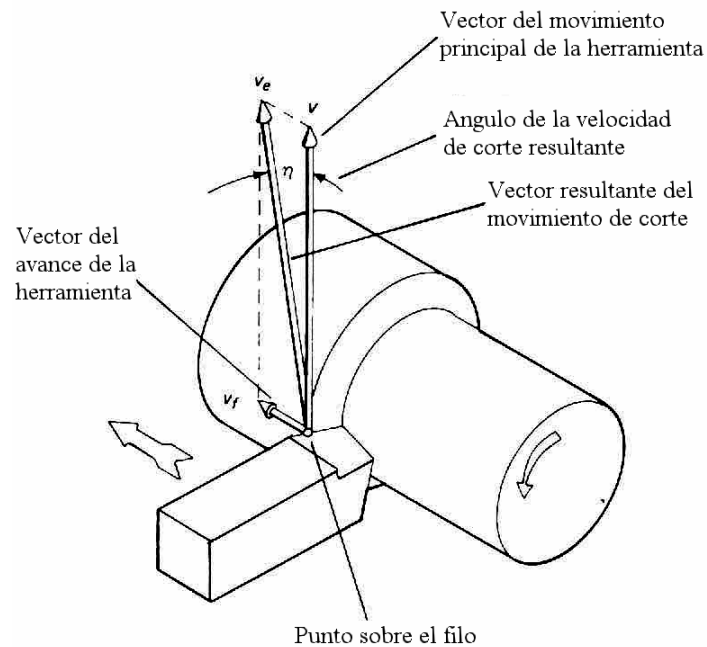


Figura 7<sup>13</sup> **Buril evacuando viruta de una pieza**

El ángulo entre la dirección del movimiento de corte principal y el movimiento resultante se llama ángulo de la velocidad de corte resultante ( $\eta$ ). Debe destacarse que, como habitualmente el avance es relativamente pequeño en comparación con el movimiento principal, el ángulo de corte resultante se considera cero.

Otro punto importante de tener presente es que no en todas las operaciones de mecanizado la velocidad de corte es constante, por ejemplo, en el refrendado, la velocidad de corte es función del radio de la pieza.

La velocidad de corte resultante  $v_e$ , que es la velocidad instantánea relativa entre el filo de la herramienta y la pieza, está dada por:

$$v_e = v \cdot \cos(\eta) \quad 1.1$$

<sup>13</sup>Tomadas de ASTM A-536.

Pero como para la mayoría de los procesos de mecanizado  $\eta$  es muy pequeño, generalmente se considera

$$v_e = v \quad 1.2.$$

Finalmente, otro de los ángulos importantes cuando se considera la geometría de una operación de mecanizado es el llamado ángulo del filo principal de la herramienta,  $k_r$ . El espesor de la capa de material que está siendo removido por un filo en un punto seleccionado, conocido como *espesor de la viruta no deformada*  $a_c$ , afecta significativamente la potencia requerida para realizar la operación. Esta dimensión debe ser medida en un plano normal a la dirección de corte resultante pasando por el filo. Adicionalmente, como  $\eta$  es pequeño,  $a_c$  puede medirse normal a la dirección del movimiento principal. Analizando la figura anterior se tiene:

$$a_c = a_f \cdot \text{sen}(k_r) \quad 1.3.$$

Donde  $a_f$  es el encaje de avance, es decir, el encaje instantáneo de la herramienta en la pieza.

Los datos anteriormente explicados, si bien se remiten al caso particular de las herramientas monofilo, se amplían a los otros casos.

### **2.3. Estado del arte**

Con los adelantos tecnológicos actuales y la urgente necesidad de disminución de costos así como de obtener cada vez piezas mas complejas y de mejor calidad, esta rama de la metalurgia adaptiva, como es el mecanizado, en todas sus formas también ha avanzado, actualmente se usan equipos de alta tecnología como los de control numérico, en los cuales se pueden obtener piezas en un mayor número, y con una exactitud dimensional alta, y

comparados con las máquinas antiguas representan para las empresas de alta producción una disminución de costos.

Las herramientas que se utilizan para este tipo de máquinas, también han evolucionado, las primeras herramientas de trabajo, eran simples aceros al carbono tratados térmicamente, que presentaban unas buenas propiedades, pero para determinados trabajos no presentaban una buena durabilidad, una de las propiedades relevantes que deben tener estas herramientas es la dureza, para los aceros al carbono tratados térmicamente se obtienen durezas desde 45-64 HRC.

Después aparecieron los aceros rápidos, o de alta velocidad, que su principal característica es la de mantener su dureza a altas temperaturas, y tienen una buena resistencia al desgaste, para la fabricación de estos aceros era necesario agregarle elementos aleantes tales como el cobalto, cromo, tungsteno, vanadio, wolframio, entre otros, estos aceros se emplean especialmente para operaciones de desbaste profundo con velocidades y avances mas o menos altos, solo se emplean para obtener un buen acabado superficial especial.

Posteriormente nacieron los carburos cementados, que eran fabricados con técnicas de metalurgia de polvos y se fabrican 3 tipos; carburo de tungsteno aglutinado con cobalto, carburo de tungsteno aglutinado con cobalto más una solución sodica, carburo de titanio aglutinado con níquel y molibdeno, cada uno de estos carburos presenta propiedades particulares, se emplean mayormente en cortes donde existe elevada temperatura, debido a las altas velocidades de corte, o a la resistencia mecánica del material de trabajo.

Los diamantes policristalinos se utilizan principalmente cuando se desea obtener un buen acabado superficial y exactitud dimensional, para materiales no ferrosos, blandos que son difíciles de maquinar.

El último material que actualmente se utiliza en los procesos de maquinado es el CBN (Nitruro cúbico de Boro cúbico) es el material más duro que hay en la actualidad, entre sus características se encuentra, que la capa de CBN produce gran resistencia al desgaste, gran resistencia mecánica de los bordes, es químicamente inerte al hierro y al níquel a altas temperaturas, es adecuado para trabajar aleaciones de altas temperaturas, y diversas aleaciones ferrosas y se emplea como abrasivo en operaciones de rectificado.

### 3. UNIDADES SELECCIONADAS

#### 3.1. Unidades de bombeo

Las piezas observadas fueron diferentes clases de pines, (tabla 1) para diferentes unidades de bombeo con sus respectivas tuercas, ejes para chumaceras de cola, cilindro y de centro, (tabla2) de diferentes referencias, se conoció el funcionamiento de estas piezas, así como el tipo de material que se utiliza en cada una de éstas, al concluir este inventario se tuvo una charla con el jefe de la unidad, quien anotó las posibles causas de daño de estas piezas, las cuales fueron:

- Falla por fatiga
- Cierta grado de desgaste
- Cierta grado de corrosión

##### 3.1.1. Pines

Son los encargados de conectar el movimiento rotativo de la manivela de la caja reductora en movimiento alternativo en el balancín por medio de los brazos o las bielas, su función es la de soporte. Estas piezas están sometidas a corte puro, por lo tanto deben tener una buena dureza superficial, resistencia a la fatiga y tenacidad.

Una posible fuente de los continuos daños en los pines, es el uso excesivo que se les da, pues algunos sufren un significativo desgaste en determinadas zonas y la reparación a la cual están sujetos es el metalizado, que consiste en rellenar con polvos metálicos la zona afectada utilizando temperatura para su posterior

rectificado, con el fin de mantener sus medidas estándares. Al no ser este polvo metálico de la misma composición química del material original, no se obtendrá un rendimiento de diseño óptimo.

Otra medida a tener en cuenta para la mayor duración de estas piezas, es el cuidado en el almacenamiento, ya que el medio corrosivo los puede afectar, se recomienda tenerlos en un lugar seco, y si es posible cubiertos por algún plástico.

En cuanto al material a utilizar, y teniendo en cuenta las propiedades, el costo, y la duración de éste, el material seleccionado es el correcto, ACERO AISI-SAE 4140-4340, entre sus principales características está: buena tenacidad, resistencia a la fatiga, buena maquinabilidad, se usa principalmente para fabricación de ejes, engranajes, cigüeñales, cilindros de rotores, árboles de turbinas a vapor etc.

En la industria petrolera lo utilizan, para taladros, brocas, barrenos, partes de bombas, vástagos de pistones, espárragos etc.

El siguiente paso fue la búsqueda de documentación (planos), Así como información técnica de estas piezas, en esta unidad no tenían ninguna clase de planos, se procedió a realizar las respectivas mediciones empezando por todas las clases de pines que son alrededor de 22 con sus tuercas, para realizar el levantamiento del plano, el trabajo se realizó conjuntamente con el jefe de esta unidad, bajo la supervisión del tutor, y del jefe de unidad de metalmecánica.

En la fabricación de los pines los cuidados y detalles a tener en cuenta son los siguientes:

- Todos los pines serán fabricados en acero AISI-SAE 4140-4340.

- La mayoría de los pines presentan conicidad que tiene que ser realizada según se especifican en el respectivo plano, esta conicidad es de  $\frac{3}{4}$  de pulgada por pie en la mayoría de los casos, la función de ésta es la de dar un ajuste forzado al entrar al crank pin para garantizar su alineamiento adecuado, este tipo de pieza es estacionaria, es decir, no gira sobre su propio eje; Para realizar este tipo de geometría en estas piezas se utilizan tornos y la herramienta de corte principal es la pastilla de carburo, ya que no ocasionaría un desgaste significativo en la herramienta, para así obtener una mayor exactitud en las dimensiones de esta pieza.
  
- Las roscas no están estandarizadas bajo norma así que se debe tener en cuenta las especificadas en el plano, la designación que se utiliza es en hilos por pulgada, que quiere decir que en 1 pulgada caben un determinado número de terminales de la rosca. Una rosca es una superficie helicoidal que se obtiene por la combinación de un movimiento de avance y un movimiento de rotación, se caracterizan por su diámetro nominal, la forma, el paso, y el sentido, se pueden realizar con aceros rápidos o buriles de carburo.
  
- A los pines se les debe hacer un redondeo en las puntas, para que en el momento de la instalación, ésta sea más rápida y fácil.
  
- La mayoría de estas piezas presentan cuñeros, los cuales son orificios de enganche que se realizan para impedir el movimiento de dos partes, o para transmitir este a otro dispositivo mediante la cuña, en este tipo de piezas los cuñeros son rectangulares, y en la mayoría de los casos, su profundidad es la mitad del ancho. Este tipo de geometría se puede realizar por dos métodos de mecanizado, el más conocido es mediante una fresa, y la otra opción sería mediante cepillado.

- El otro detalle a tratar en estas piezas es un orificio que atraviesa al pin en la parte donde se ubica la rosca, su función es la de alojar un pasador que sostenga la tuerca al pin, este orificio se realiza con una broca.
- La mayoría de estos detalles se ilustran en las figuras 9-10-11.
- En la tabla numero 5 se referencia la lista de los principales pines

En la figura 8 se observa un ejemplo de un pin con su plano

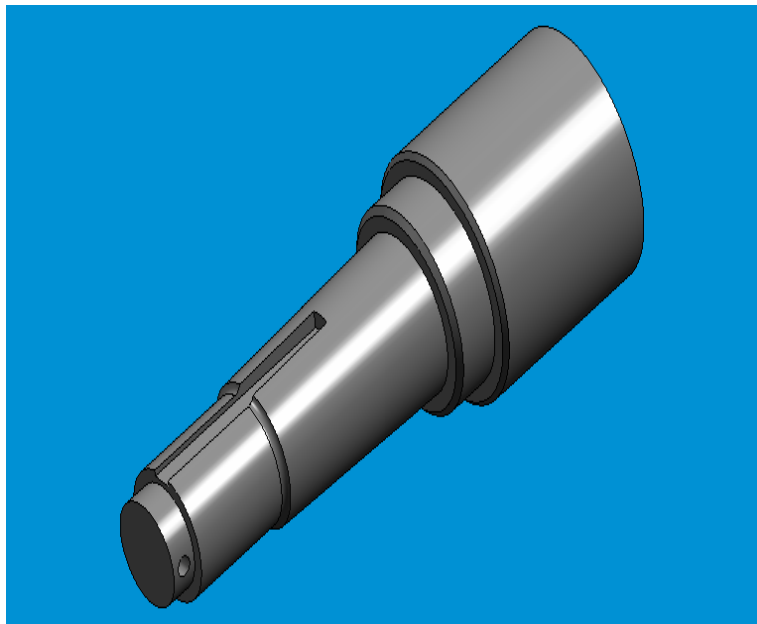


Figura 8<sup>14</sup> . Pin Unidad Lufkin TC 322-C

<sup>14</sup> Suministrada por el autor

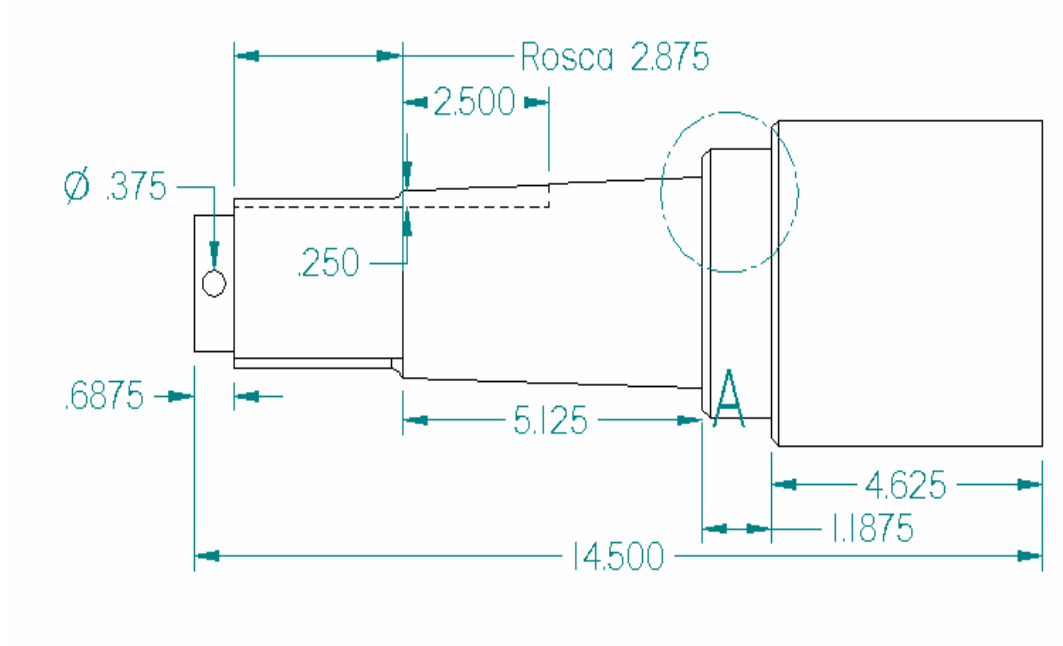


Figura 9<sup>15</sup> Vista lateral Pin Unidad Lufkin TC 322-C

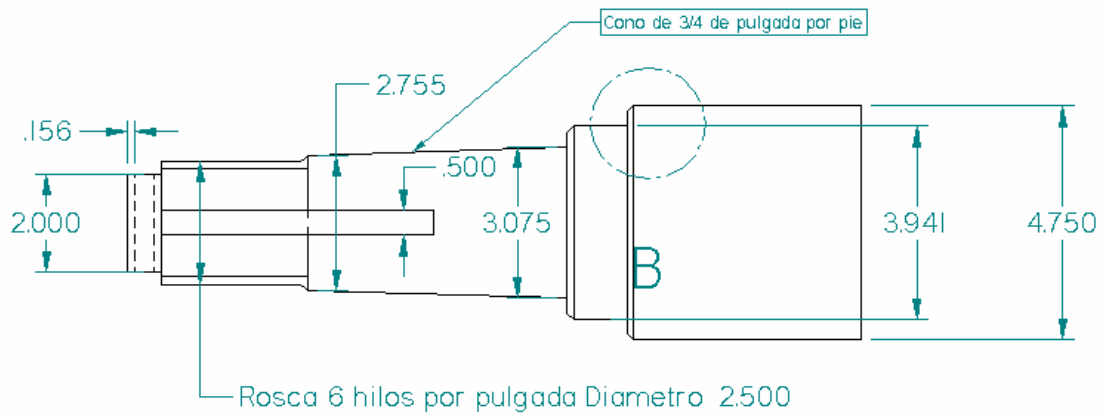


Figura 10<sup>16</sup> Vista superior Pin Unidad Lufkin TC 322-C

15-16 Suministrada por el autor

**Tabla 5<sup>17</sup>** Listado de pines realizados

<b>PIN</b>	<b>ÁREA DE UTILIZACIÓN</b>
LUFKIN TC-322 B	Taller de unidades de bombeo
LUFKIN TC-322C	Taller de unidades de bombeo
LUFKIN TC-5-7	Taller de unidades de bombeo
LUFKIN TC-6D-9B	Taller de unidades de bombeo
4-11 B	Taller de unidades de bombeo
LUFKIN T8B-16D	Taller de unidades de bombeo
OIL-WELL-D25	Taller de unidades de bombeo
LUFKIN TC-4-11A	Taller de unidades de bombeo
LUFKIN TC 5-7A	Taller de unidades de bombeo
BABY LUFKIN	Taller de unidades de bombeo
C-80	Taller de unidades de bombeo
OIL-WELL228	Taller de unidades de bombeo
CONTINENTAL 228 Y D-57	Taller de unidades de bombeo
AMERICAN 640D	Taller de unidades de bombeo
LUFKIN TC-6-9	Taller de unidades de bombeo
LUFKIN 228-M160	Taller de unidades de bombeo
CONTINENTAL D-40	Taller de unidades de bombeo
LUFKIN C-320 Y M-456	Taller de unidades de bombeo
HB	Taller de unidades de bombeo
LUFKIN A-456 Y A-640	Taller de unidades de bombeo
LUFKIN AB 912	Taller de unidades de bombeo
IDECO	Taller de unidades de bombeo

<sup>17</sup>Tabla realizada por el autor

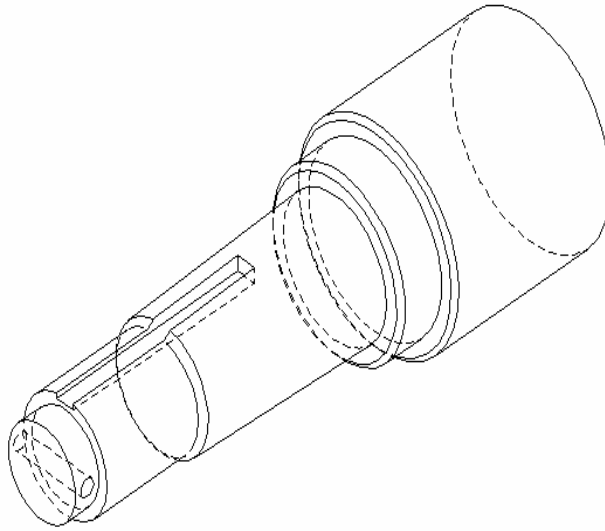


Figura 11<sup>18</sup> **Vista isométrica Pin Unidad Lufkin TC 322-C**

### 3.1.2. Tuercas para pines

Otra de las piezas a fabricar son las tuercas que aseguran los pines. Para la fabricación de estas tuercas se sugiere trabajar en el mismo acero de los pines para mayor seguridad.

Los cuidados que se deben tener en el momento de la fabricación son:

- Una de las medidas más importantes en estas tuercas, es la de la llave, que es señalada en la figura 12, ya que la cuadrilla encargada de realizar los cambios de pines tienen llaves determinadas para cada tuerca, según esta corresponda al pin.
- Las ranuras que presentan estas tuercas están hechas con el fin de colocar un pasador que impida el movimiento de ésta, una vez esta instalada, este tipo de ranuras se realizan mediante un fresado o un cepillado.

<sup>18</sup> Suministrada por el autor

- La rosca de la tuerca necesariamente debe ser de las mismas características de las del pin.

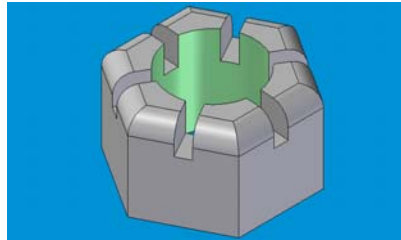


Figura 12<sup>19</sup> Tuerca para pin

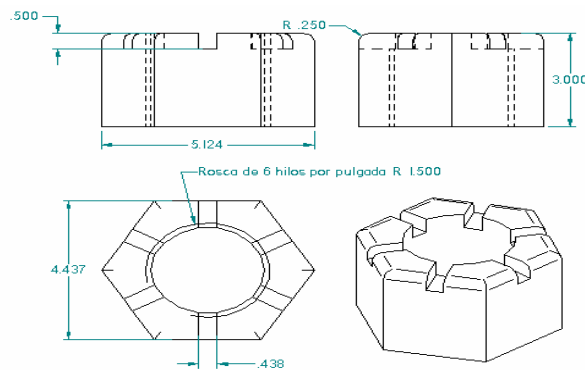


Figura 13<sup>20</sup> Plano de una tuerca para pin

### 3.1.3. Ejes para chumacera

Su función es de gran importancia, ya que son las encargadas del soporte de peso de gran parte de la unidad, deben estar en buenas condiciones, ya que si presentan alguna anomalía esta se vería reflejada en el buen funcionamiento de la unidad.

<sup>19-20</sup> Suministrada por el autor

En el caso de este tipo de piezas las formas de estos ejes no son muy similares, pues cada uno cumple su función en determinada área, existen 3 clases:

- Ejes de chumacera de centro (figura 14).
- Ejes de chumacera de cola
- Ejes de chumacera de cilindro

Los nombres de cada eje se les dan de acuerdo a la ubicación que tengan en la unidad de bombeo, (tabla 8). Uno de los cuidados significativos a tener en cuenta es la lubricación, ya que si no presenta buena lubricación, disminuye la vida útil de esta pieza.

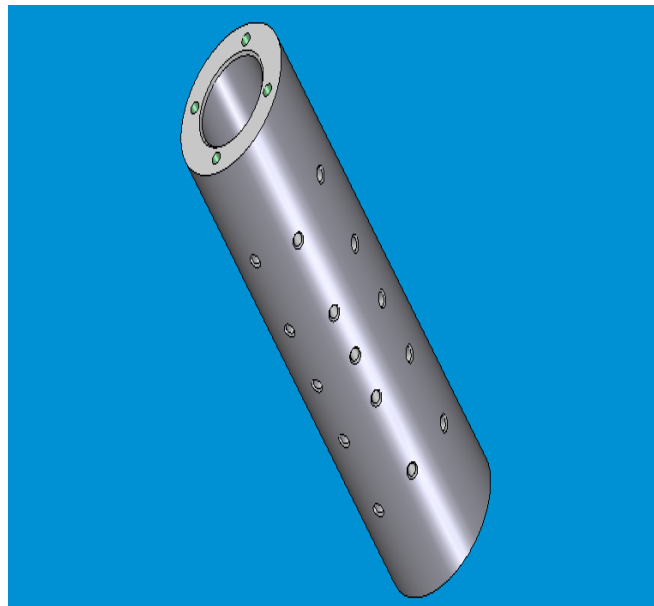
Una característica singular, la presentan las chumaceras de centro, ya que estas actúan como lubricadores de la chumacera al ser hueca en su interior y tener unos orificios como los mostrados en la figura 15 que son los encargados de distribuir el lubricante del eje a la chumacera.

El material para la fabricación de estas piezas es de acero AISI-SAE 4140-4340 debido a que como en el caso de los pines trabajan en condiciones similares.

Debido a la forma que presentan estos ejes se parte de un redondo y se procede a realizar el torneado, para maquinarse el orificio interno que presenta se utiliza una broca, el tipo de rosca interna, se maquina con la ayuda de machuelos debido a su pequeño diámetro. En el caso del eje para chumacera de centro para la unidad 3-22 B y C, presenta un avellanado de 80° para darle las dimensiones finales se realiza un rectificado; ver figura 15.

**Tabla 6<sup>21</sup>** Listado de ejes para chumacera

<b>EJES PARA CHUMACERA</b>	<b>AREA DE UTILIZACION</b>
EJE CHUMACERA DE CENTRO 322 B Y C	Taller de unidades de bombeo
EJE CHUMACERA DE CENTRO 4-11	Taller de unidades de bombeo
EJE CHUMACERA DE CILINDRO 3-20	Taller de unidades de bombeo
EJE CHUMACERA CILINDRO 6-40	Taller de unidades de bombeo
EJE CHUMACERA DE COLA 3-20	Taller de unidades de bombeo
EJE CHUMKACERA DE COLA 3-20-2	Taller de unidades de bombeo
EJE CHUMACERA DE COLA AMERICAN 6-40	Taller de unidades de bombeo



**Figura 14<sup>22</sup>** Eje para chumacera de centro 322B y C

<sup>21-22</sup> Suministrada por el autor

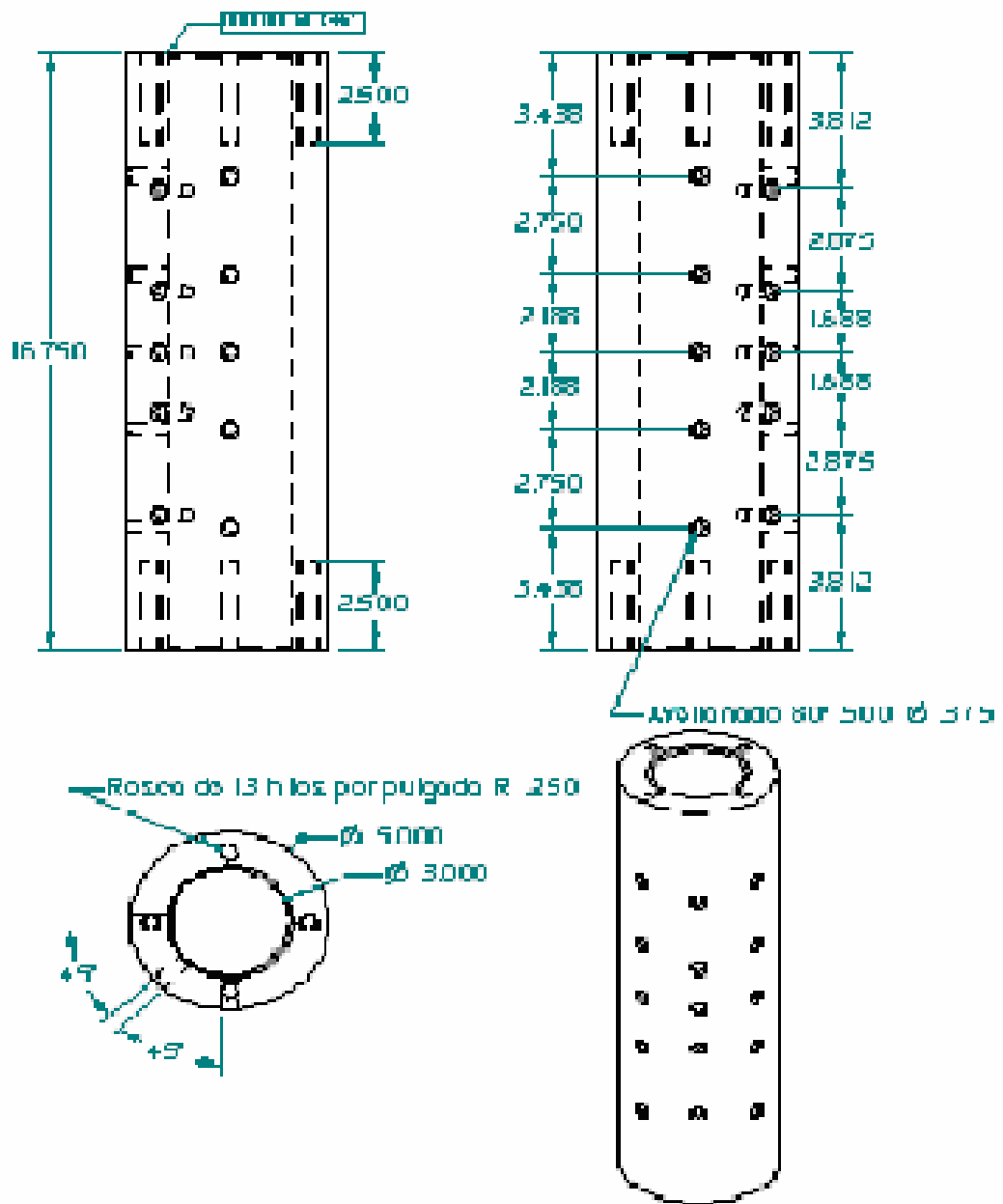


Figura 15<sup>23</sup> Plano eje chumacera centro unidad 4-11

<sup>23</sup> Suministrada por el autor

### 3.1.4. Varilla compresores bicicleta

Esta varilla va unida al pistón que es el que realiza finalmente la compresión, para transmitir el aire a la cámara de almacenamiento de balanceo. Entre las características de fabricación existe un agujero en uno de los extremos que se realiza con una broca, en el otro extremo presenta un roscado externo, el material para su fabricación es acero AISI-SAE 1045.

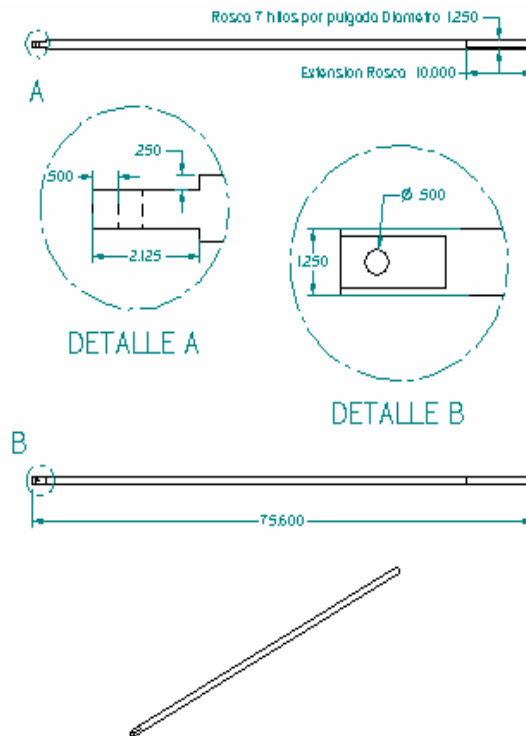


Figura 16<sup>24</sup> Plano varillas compresores bicicleta

<sup>24</sup> Suministrada por el autor

### 3.1.5. Tuerca compresores bicicleta

Actúa de unión entre la varilla de los compresores bicicleta y un pasador fijo. El principal problema que presenta este tipo de tuercas es el excesivo desgaste en la zona donde esta unida al pasador, la reparación consiste en colocar bronce en la zona afectada.

Entre las características de fabricación está un roscado interno figura 19 y un agujero al otro extremo, se fabrica en acero AISI-SAE 1020.

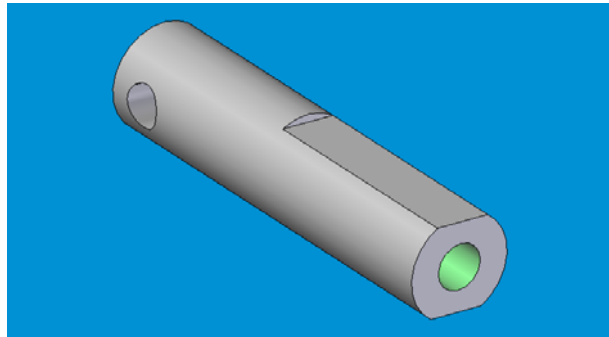


Figura 17<sup>25</sup> **Tuerca compresores bicicleta**

<sup>25</sup> Suministrada por el autor

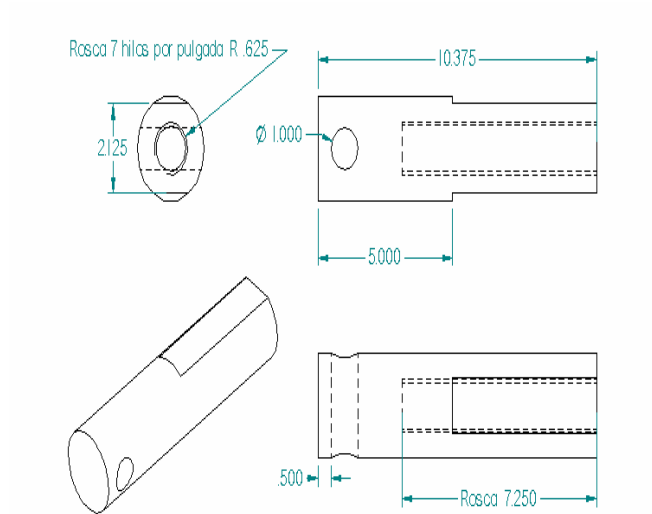


Figura 18<sup>26</sup> **Plano tuerca compresores bicicleta**

### 3.2. Mantenimiento eléctrico de campo

Las piezas a fabricar son las siguientes:

- Poleas de diferentes tipos
- Bujes para las poleas

#### 3.2.1. Poleas

Son las encargadas de la transmisión de potencia por correas entre motores eléctricos y unidades de bombeo.

<sup>26</sup> Suministrada por el autor

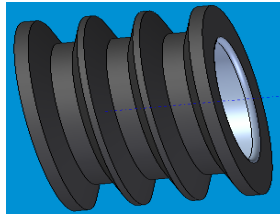


Figura 19<sup>27</sup> **Polea**

Los daños que se presentan en este tipo de piezas son principalmente desgaste en las ranuras lo que con lleva a un doble daño, ya que al estar desgastadas las poleas, las correas de transmisión no estarían trabajando en el sitio para el cual fueron diseñadas y se reduce su vida útil.

Para evitar estos inconvenientes se sugiere a las personas encargadas de realizar el cambio tener los planos de las poleas para verificar sus dimensiones y decir si realizar el respectivo cambio.

Los puntos a tener en cuenta en el proceso de fabricación son los siguientes:

- Cumplir estrictamente con las dimensiones suministradas en los planos, como son los ángulos de inclinación, todas las distancias, el tipo de material a utilizar, y en la parte interna de la polea, el cono con sus respectivas dimensiones.
- Los agujeros roscados con los no roscados no son equidistantes.
- Cumplir con los pesos especificados.

<sup>27</sup> Suministrada por el autor

- Para la fabricación de este tipo de piezas se parte de fundición gris de grado fino, se le realiza un torneado para darle las dimensiones adecuadas de las ranuras, así como su conicidad interna, para los agujeros no roscados se utiliza una broca, y para los roscados se realizan mediante machuelos.

Como parte de la revisión bibliográfica se encontró un estudio de caracterización de poleas realizado por el ICP para ECOPETROL S.A. el análisis es el siguiente:

**Tabla 7<sup>28</sup>** Muestras a analizar

<b>Nº de identificación</b>	<b>Fabricante</b>	<b>Domicilio</b>
1	Martin	USA
2	Tracción Ltda.	Bogotá
3	Metcol Ltda.	Barrancabermeja
4	Los Restrepo	Bogotá
5	Industrias NUG	Bucaramanga

Algunos de los defectos de fabricación mencionados en este estudio fueron:

- Poros en la superficie, marcas fuertes de mecanizado, en los huecos se presentaron distorsiones, mala presentación.
- Algunas solo tenían un juego de orificios para montaje de buje QD, que es un buje con características especiales de geometría para esta polea, lo cual impediría el montaje en las dos posiciones requeridas.

<sup>28</sup> Suministrada por el autor

- Una de las poleas no tenía agujeros para montaje con buje QD, y además se comprueba que su orificio central no es cilíndrico, todo lo anterior junto hace complicado el montaje de este elemento en campo.

Rugosidad de las muestras: Norma ISO 254 Belt Drives – Pulleys – Quality, finish and balance. Esta norma establece que dicha rugosidad no debe ser mayor de **3.2  $\mu\text{m}$**  en el sistema *Ra*. Ninguna supera los límites

Otro factor a analizar es el balanceo estático: Los resultados que muestra este estudio es que solo la muestra de Martín está balanceada estáticamente.

Ultrasonido: Solo la Martin carece de porosidades internas.

Dureza: Bajo el sistema Brinell, la dureza especificada por ECOPEPETROL es de 200-220 Brinell, ninguna de las muestras cumple con estas condiciones.

De acuerdo con las especificaciones de ECOPEPETROL, “las poleas y bujes se fabricarán con fundición vaciada de hierro gris, grado fino...”;

De acuerdo con las normas internacionales vigentes, ISO 254, no especifica el material a utilizar solo recomienda lo siguiente: “*las poleas deben ser fabricadas de cualquier material que pueda ser conformado a las dimensiones y tolerancias estandarizadas, y ser capaz de soportar las condiciones de servicio (calentamiento, esfuerzos mecánicos, abrasión, ambiente, etc.) sin daño. Además, es deseable que el material de la polea sea capaz de disipar cualquier calor significativo que pueda ser generado por las correas.*”.

**Tabla 8<sup>29</sup>** Caracterización Química de los elementos para el material de las poleas. Especificaciones ECOJETROL, ASM y resultados de las diferentes muestras

Elemento	AMS	ECOJETROL	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
% C	2.5 – 4	3.40 - 3.60	0.881	2.786	3.030	3.188	3.229
% Mn	0.2 – 1.0	0.40 - 0.60	3.899	3.327	1.776	3.654	3.723
% S	0.02 – 0.25	0.07 - 0.14	0.175	0.147	0.150	0.148	0.125
% P	0.002 – 1.0	0.03 - 0.09	1.022	3.2	2.544	3.09	3.386
% Si	1 – 3	1.75 - 2.50	0.728	1.32	1.17	1.47	1.34
% Fe	---	Balance	---	---	---	---	---

<sup>29</sup>Tabla tomada de un estudio realizado del ICP PARA ECOJETROL S.A.

**Tabla 9<sup>30</sup>** Composición de las fundiciones grises dependiendo de su clase

CLASE	Carbono Total %	Silicio %
20	3.4 – 3.6	2.3 – 2.5
30	3.1 – 3.3	2.1 – 2.3
40	2.95 – 3.15	1.7 – 2
50	2.7 – 3	1.7 – 2
60	2.5 – 2.85	1.9 – 2.1

**Tabla 10<sup>31</sup>** Cuadro de resultados Especificaciones ECOPEPETROL

CONCEPTO	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
Tipo de material	X	✓	✓	✓	✓
Composición Química	X	X	X	X	X
Dureza	X	X	X	X	X
Resistencia Mecánica	?	?	?	?	?
Geometría de los canales	✓	X	X	X	X
Distancia entre canales	X	X	X	X	X
Diámetro Externo	X	X	✓	✓	✓
Marcas de Mecanizado	✓	X	X	X	✓
Redondeamiento de las aristas	✓	✓	✓	✓	✓
Calidad buje QD	---	---	---	---	X
Conicidad orificio central	X	X	X	X	X
Balanceo	✓	X	X	X	X
Juego de orificios para tornillos	X	X	✓	✓	✓

Marcación	✓	X	X	X	X
Recubrimiento	X	✓	✓	✓	✓
<b>CONVENCIONES</b>					
✓: Cumple satisfactoriamente este requisito					
X: No cumple este requisito					
?: No pudo ser verificado el cumplimiento de este requisito					
---: No aplica este requisito en la evaluación de estas muestras					

**Tabla 11**<sup>32</sup> Cuadro de resultados Normas Nacionales e Internacionales

<b>CONCEPTO</b>	<b>Muestra 1</b>	<b>Muestra 2</b>	<b>Muestra 3</b>	<b>Muestra 4</b>	<b>Muestra 5</b>
Geometría de los canales	✓	X	X	X	X
Distancia entre canales	X	X	X	X	X
Diámetro Externo	X	X	✓	✓	✓
Rugosidad superficies de trabajo	✓	X	✓	X	✓
Balanceo	✓	X	X	X	X

<sup>30-31-32</sup> Tabla tomada de un estudio realizado del ICP PARA ECOPETROL S.A.

Problemas actuales:

- El excesivo peso presente en algunas poleas, lo cual ocasiona daños en los motores eléctricos y deteriora los ejes de transmisión.
- La no precisión en las medidas, la cual origina un recalentamiento en las correas produciendo un desgaste de éstas.
- El material, no tiene las especificaciones técnicas, como son, composición química, dureza, y presentan algunos defectos, tanto internos como superficiales.

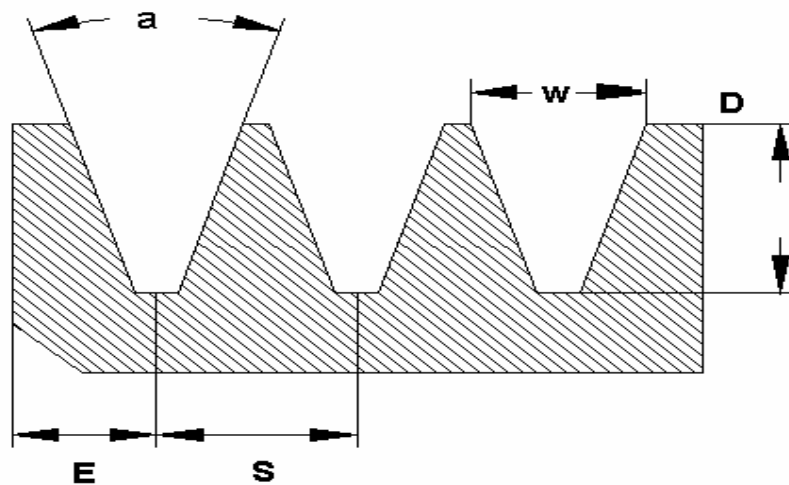


Figura 20<sup>33</sup> Dimensiones de ranuras convencionales

<sup>33</sup>Tabla tomada de un estudio realizado del ICP PARA ECOPETROL S.A.

**Tabla 12<sup>34</sup>** tolerancias de ranuras convencionales

<b>POLEA</b>	<b>ÁNGULO</b>	<b>W</b>	<b>D</b>	<b>S</b>	<b>E</b>
A-B	34°	0.612 (+0.005) (-0.005)	0.625(+0.031 ) (-0.031)	0.75 (+0.031) (-0.031)	0.375( +0.070) (-0.000)
C	36°	0.887 (+0.007) (-0.007)	0.78 (+0.031) (-0.031)	1 (+0.031) (-0.031)	0.688 (+0.150) (-0.000)

**Tabla 13<sup>35</sup>** listado de poleas más utilizadas

<b>POLEAS</b>	<b>ÁREA DE UTILIZACION</b>
3C 55 SD	Mantenimiento eléctrico de campo
3C 80 E	Mantenimiento eléctrico de campo
4C 80 E	Mantenimiento eléctrico de campo
4C 85 E	Mantenimiento eléctrico de campo
4C 70 SF	Mantenimiento eléctrico de campo
4C 90 E	Mantenimiento eléctrico de campo
4C 75 SF	Mantenimiento electricizo de campo
3B 40 SH	Mantenimiento eléctrico de campo
3B 44 SH	Mantenimiento eléctrico de campo
3B 48 SD	Mantenimiento eléctrico de campo

<sup>34-35</sup> Tabla suministrada por el autor

### 3.2.2. Bujes

Estas piezas son las encargadas de unir las poleas con el eje de transmisión del motor eléctrico.

En su fabricación hay que tener en cuenta:

- La conicidad característica.
- Los agujeros roscados y los no roscados son equidistantes.

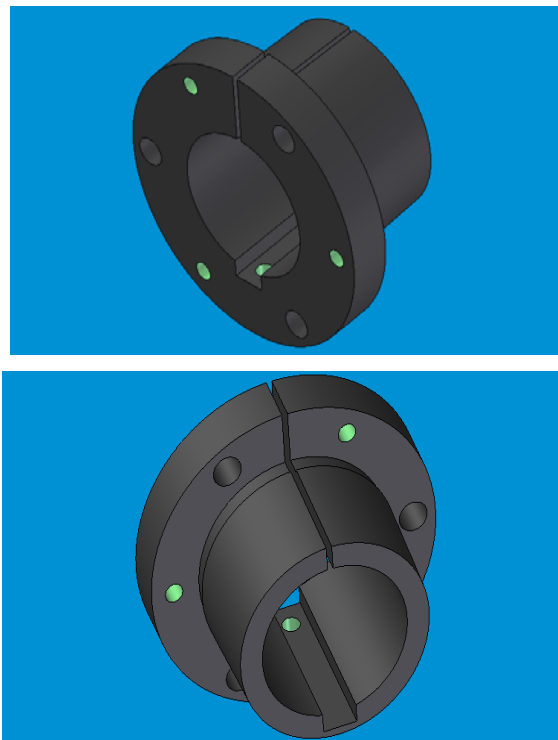


Figura 21<sup>36</sup> Esquemas de bujes

<sup>36</sup>Suministrada por el autor

**Tabla 14<sup>37</sup>** Tabla para fabricación de bujes

<b>BUJE</b>	<b>BARRENO</b>	<b>CUÑERO</b>
JA	3/8-7/16	Sin cuñero
	1/2-1	Estd
	1 1/18-1 1/8	1/4-1/16
	1 3/16	1/4-1/16
	1 1/4	Sin cuñero
SH	1/2-1 3/8	Estd
	1 7/16-1 1/2	3/8 x 1/16
	1 9/16-1 5/8	3/8-1/16
	1 11/16	Sin cuñero
SDS	1/2-1 3/8	Estd
	1 7/16-1 1/2	3/8 x 1/8
	1 9/16-1 5/8	1/2 x 1/8
	1 11/16	1/2 x 1/16
	2	Sin cuñero
SD	1/2-1 11/16	Estd
	1 3/4	3/8 x 1/8
	1 13/16	1/2 x 1/8
	1 7/8	1/2 x 1/16
	1 15/16	1/2 x 1/16
	2	Sin cuñero
SK	1/2-2 1/8	Estd
	2 3/16-2 1/4	1/2 x 1/8
	2 5/16-2 1/2	5/8 x 1/16
	2 9/16-2 5/8	Sin cuñero
SF	1/2-2 1/4	Estd
	2 1/4	5/8 x 3/16
	2 5/16-2 1/2	5/8 x 3/16
	2 9/16-2 3/4	5/8 x 1/16

	$2 \frac{13}{16} - 2 \frac{7}{8}$	$\frac{3}{4} \times \frac{1}{16}$
	$2 \frac{15}{16}$	$\frac{3}{4} \times \frac{1}{32}$
E	$\frac{7}{8} - 2 \frac{7}{8}$	Estd
	$2 \frac{15}{16} - 3 \frac{1}{4}$	$\frac{3}{4} \times \frac{1}{8}$
	$3 \frac{3}{8} - 3 \frac{1}{2}$	$\frac{7}{8} \times \frac{1}{16}$
F	$1 - 3 \frac{5}{16}$	Estd
	$3 \frac{3}{8} \times 3 \frac{3}{4}$	$\frac{7}{8} \times \frac{3}{16}$
	$3 \frac{7}{8} \times 3 \frac{15}{16}$	$1 \times \frac{1}{8}$
	4	Ningún
J	$1 \frac{1}{4} - 3 \frac{3}{4}$	Estd
	$3 \frac{13}{16} - 4 \frac{1}{2}$	$1 \times \frac{1}{8}$
M	$2 - 4 \frac{3}{4}$	Estd
	$4 \frac{13}{16}$	$1 \frac{1}{4} \times \frac{1}{4}$
N	$2 \frac{7}{16} - 5$	Estd
	$5 \frac{1}{8} - 5 \frac{1}{2}$	$1 \frac{1}{4} \times \frac{1}{4}$
	$5 \frac{9}{16} - 6$	$1 \frac{1}{2} \times \frac{1}{4}$
P	$2 \frac{15}{16} - 5 \frac{15}{16}$	Estd
	$6 - 6 \frac{1}{2}$	$1 \frac{1}{2} \times \frac{1}{4}$
	$6 \frac{9}{16} - 7$	$1 \frac{3}{4} \times \frac{1}{8}$
W	$4 - 7 \frac{1}{2}$	Estd
	$7 \frac{5}{16} - 8 \frac{1}{2}$	$2 \times \frac{1}{4}$

<sup>37</sup> Suministrada por el autor

**Tabla 15<sup>38</sup>** Tipos de bujes utilizados

<b>BUJES</b>	<b>AREA DE UTILIZACION</b>
TIPO E	Mantenimiento eléctrico de campo
TIPO SD	Mantenimiento eléctrico de campo
TIPO SF	Mantenimiento eléctrico de campo
TIPO SH	Mantenimiento eléctrico de campo
TIPO F	Mantenimiento eléctrico de campo

### **3.3. Equipo estacionario**

Las piezas mas solicitadas en esta unidad son ejes, la función de esta unidad es la de reparar bombas, estos ejes están protegidos por otra pieza que se fabrica por el proceso de mecanizado, que son las mangas, o camisas.

Otras piezas encontradas para fabricar son pistones y unas clases de tornillos.

#### **3.3.1. Ejes**

Los ejes soportan elementos de máquinas en reposo o giratorios como son poleas de correa, ruedas dentadas, rodetes, tambores y similares. Pueden estar en reposo haciendo girar las piezas de máquinas que sustentan, o pueden girar, arrastrando dichas piezas.

Soportan esfuerzos de flexión y transmiten momentos torsionales. Los ejes con orificios longitudinales en el centro se llaman ejes huecos.

<sup>38</sup> Suministrada por el autor

Las partes de los ejes que giran en los apoyos se llaman gorriones o muñones. Los ejes cortos se denominan también ejes bulones.

Para la transmisión de fuerzas entre grupos móviles de accionamiento y de trabajo, se emplean también ejes flexibles, que están formados por almas de varias capas que se conducen por el interior de un tubo flexible metálico, que los protege.

El empleo de aceros aleados, cuando existen esfuerzos oscilantes (flexión alternativa), solamente es ventajoso si no existen efectos de entalladura, ya que los aceros de alta resistencia son sumamente sensibles a este tipo de esfuerzos. Para la elección de los aceros pueden también ser determinantes las condiciones de corrosión.

Los ejes rectos de hasta 150 mm de diámetro se obtienen generalmente de perfiles redondos torneados, descortezados o estirados en frío, y los de diámetros superiores, o a veces escalonados, se obtienen de piezas forjadas por mecanización con arranque de viruta. Los gorriones y escalones se terminan, según las exigencias, con un torneado de precisión, rectificado, pulido a presión, prensado o lapeado. Cuando están sometidos a esfuerzos elevados pueden también recibir un temple superficial (el núcleo debe permanecer blando) y un superacabado. Los ejes construidos de aceros aleados de alta resistencia, no son más rígidos que los fabricados de aceros de construcción en general, ya que ambos tipos de material tienen igual módulo de elasticidad.

Cuando son huecos, con diámetro de agujero de  $0,5 d$ , pesan un 25 % menos que si fueran macizos, sin embargo, conservan aproximadamente el 95 % del momento resistente.

Los ejes muy revolucionados, a partir de  $n = 1500$  r.p.m., deben ser rígidos, tener apoyos fijos y estar equilibrados. Para evitar los desplazamientos axiales,

deben fijarse mediante escalones (tope lateral en el cojinete), anillos de retención o anillos de seguridad.

Los esfuerzos de flexión alternativos de los ejes giratorios, traen consigo el peligro de rotura por fatiga (efectos de entalladura) en todas las transiciones de sección, rebajes, ranuras, etc.

Los esfuerzos físicos de tensión pueden eliminarse adoptando diversas precauciones durante el diseño. También pueden aparecer esfuerzos físicos de tensión cuando se montan cubos en los ejes.

El flujo de fuerzas que circula longitudinalmente por un eje es de una importancia decisiva para su resistencia. Se recomienda comprobar el flujo de fuerzas en los ejes sometidos a esfuerzos de flexión alternativos, ya que, casi siempre, se encuentran posibilidades de aumentar la resistencia a la fatiga de estas piezas.

La función que cumple este tipo de piezas en una bomba es la de transmitir potencia, mediante el movimiento de rotación, el material más utilizado para su fabricación es ACERO AISI-SAE 4140 O 4340. Para casos específicos en donde el ataque corrosivo es significativo, se fabrican en aceros inoxidable como acero AISI 316, debido a las altas velocidades de rotación, y que éstos deben presentar buenos resultados en una prueba de balanceo estático, se deben fabricar con máquinas, a las cuales se les haga un mantenimiento preventivo, y una calibración periódica, o que se fabriquen en equipos de alta tecnología como son tornos CNC.

Características a tener en cuenta en el momento de la fabricación:

#### *Diámetro crítico de la posición de los rodamientos*

Una de las características a la cual hay que prestar mayor atención es la del proceso de rectificado del diámetro donde estarán instalados los rodamientos,

o balineras, debido a que el ajuste de éstas con eje debe ser de gran precisión, el procedimiento a seguir para la medición de este diámetro para el posterior levantamiento del plano fue el siguiente; el diámetro donde estarían ubicadas las balineras se midió en escala milimétrica, al tener este dato se hizo la conversión a pulgadas, y a este resultado se le sumó media milésima de pulgada, esto con el fin de dar el ajuste perfecto del eje con la balinera.

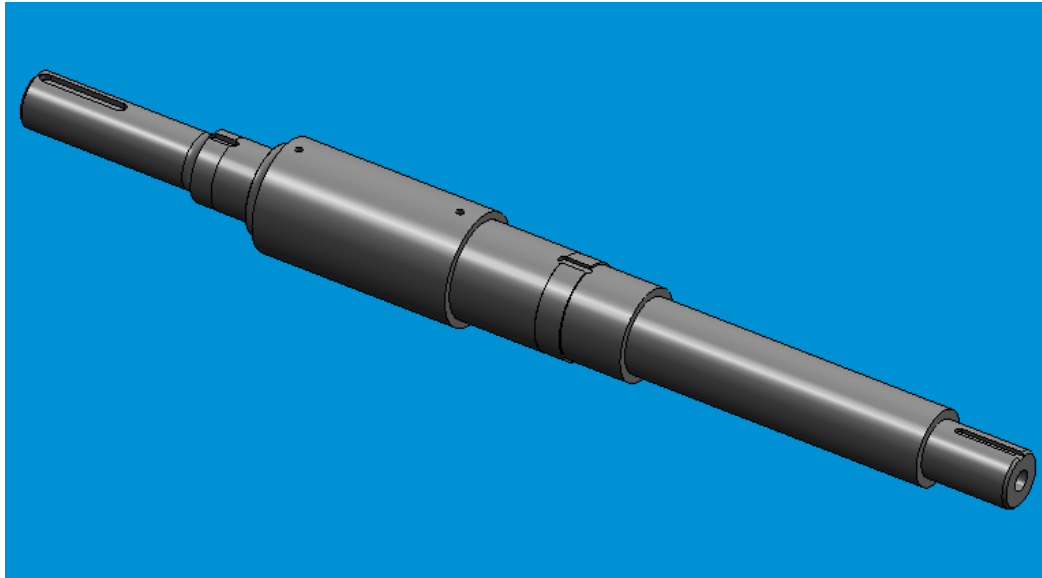


Figura 22<sup>39</sup> Eje bomba GM-10-2

<sup>39</sup>Suministrada por el autor



**Tabla 16**<sup>42</sup> Designaciones de ejes

<b>EJES</b>	<b>AREA DE UTILIZACION</b>
EJE BOMBA WORDINTON 5LR	EQUIPO ESTACIONARIO
EJE BOMBA AGUA COPACENTRO	EQUIPO ESTACIONARIO
EJE BOMBA AGUA POTABLE 33-16	EQUIPO ESTACIONARIO
EJE BOMBA CENTINA CAMPO 23	EQUIPO ESTACIONARIO
EJE BOMBA CENTINA CAMPO 23 PARTE DOS	EQUIPO ESTACIONARIO
UNION	EQUIPO ESTACIONARIO
EJE BOMBA AGUA MOTOCOMPRESOR AJAX LLANITO	EQUIPO ESTACIONARIO
EJE BOMBA GM 412	EQUIPO ESTACIONARIO
EJE BOMBA GM-10-2	EQUIPO ESTACIONARIO
EJE BOMBA GULDS 31-71 ST API	EQUIPO ESTACIONARIO
EJE BOMBA GULDS PUM MODELO MTX REFERENCIA 203	EQUIPO ESTACIONARIO
EJE COMPRESOR BOMBA AGUA Z- 215	EQUIPO ESTACIONARIO
EJE COMPRESOR Z-215	EQUIPO ESTACIONARIO
EJE BOMBA GM 8	EQUIPO ESTACIONARIO
EJE PARA TENSOR MAQUINA K1 EL CENTRO	EQUIPO ESTACIONARIO
EJE VENTILADOR 1	EQUIPO ESTACIONARIO
EJE VENTILADOR 2	EQUIPO ESTACIONARIO
EJE VENTILADOR MAQUINA COMPRESORA DE LLANITO	EQUIPO ESTACIONARIO
EJE INCINERADOR	EQUIPO ESTACIONARIO

<sup>42</sup>Suministrada por el autor

### 3.3.2. Cuñas (chavetas)

Las cuñas se usan en el ensamble de partes de máquinas para asegurarlas contra su movimiento relativo, por lo general rotatorio, como es el caso entre flechas, cigüeñales, volantes, etc. Cuando las fuerzas relativas no son grandes, se emplea una cuña redonda, una cuña de silleta o una cuña plana. Para trabajo pesado son más adecuadas las cuñas rectangulares.

La cuña cuadrada y la cuña Pratt and Whitney son las más utilizadas en diseño de máquinas.

La cuña de cabeza acodada se diseña de modo que la cabeza permanezca fuera del mamelón para permitir que una clavija pueda impulsarla para remover la cuña.

#### 3.3.2.1. Cuñas de Woodruff

Una cuña Woodruff es un segmento de disco plano con un fondo que puede ser plano o redondeado. Se le especifica siempre mediante un número, cuyo dos últimos dígitos indican el diámetro nominal en octavos de pulgadas, mientras que los dígitos que preceden a los últimos dan el ancho nominal en treintaidosavos de pulgada.

#### 3.3.2.2. Roscado

Los elementos roscados se usan extensamente en la fabricación de casi todos los diseños de ingeniería.

### 3.3.2.3. Definiciones de la terminología de roscas

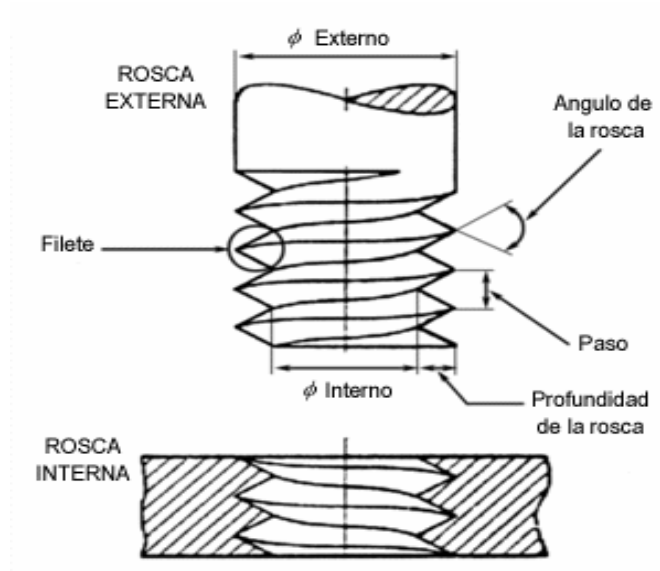


Figura 24<sup>43</sup> Esquema de rosca y sus características

Rosca: es un filete continuo de sección uniforme y arrollada como una elipse sobre la superficie exterior e interior de un cilindro, y lo podemos observar en la figura 24.

Rosca externa: es una rosca en la superficie externa de un cilindro.

Rosca Interna: es una rosca tallada en el interior de una pieza, tal como en una tuerca.

Diámetro Interior: es el mayor diámetro de una rosca interna o externa.

Diámetro del núcleo: es el menor diámetro de una rosca interna o externa.

<sup>43</sup> Suministrada por el autor

Diámetro en los flancos (o medio): es el diámetro de un cilindro imaginario que pasa por los filetes en el punto en el cual el ancho de éstos es igual al espacio entre los mismos.

Paso: es la distancia entre las crestas de dos filetes sucesivos. Es la distancia desde un punto sobre un filete hasta el punto correspondiente sobre el filete adyacente, medida paralelamente al eje.

Avance: es la distancia que avanzaría el tornillo relativo a la tuerca en una rotación. Para un tornillo de rosca sencilla el avance es igual al paso, para uno de rosca doble, el avance es el doble del paso, y así sucesivamente.

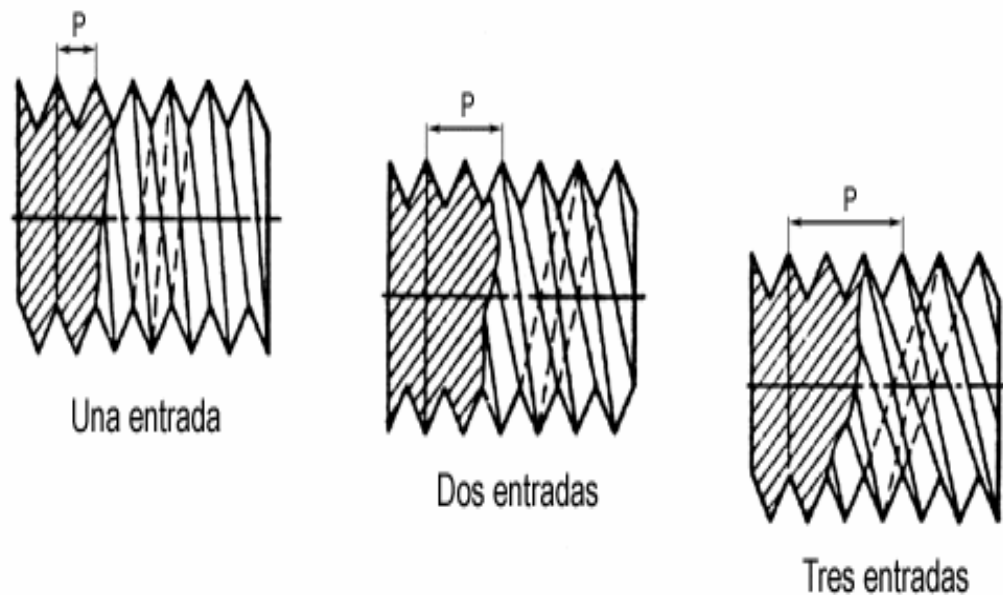


Figura 25<sup>44</sup> Esquema de roscas con diferentes entradas

<sup>44</sup> Suministrada por el autor

#### 3.3.2.4. Normas y estándares

En la tabla que se presenta a continuación, se indican los organismos de normalización de varias naciones.

**Tabla 17**<sup>45</sup> Organismos de normalización

<b>PAIS</b>	<b>ABREVIATURA DE LA NORMA</b>	<b>ORGANISMO NORMALIZADOR</b>
Internacional	ISO	Organización Internacional de Normalización.
España	UNE	Instituto de Racionalización y Normalización.
Alemania	DIN	Comité de Normas Alemán.
Rusia	GOST	Organismo Nacional de Normalización Soviético.
Francia	NF	Asociación Francesa de Normas.
Inglaterra	BSI	Instituto de normalización Ingles.
Italia	UNI	Ente Nacional Italiano de Unificación.
América	USASI	Instituto de Normalización para los Estados de América.

<sup>45</sup> Suministrada por el autor

### 3.3.2.5. Designación de roscas

La designación o nomenclatura de la rosca es la identificación de los principales elementos que intervienen en la fabricación de una rosca determinada, se hace por medio de su letra representativa e indicando la dimensión del diámetro exterior y el paso, éste último se indica directamente en milímetros para la rosca métrica, mientras que en la rosca unificada y Witworth se indica a través de la cantidad de hilos existentes dentro de una pulgada.

Por ejemplo, la rosca M 3,5 x 0,6 indica una rosca métrica normal de 3,5 mm de diámetro exterior con un paso de 0,6 mm, la rosca W 3/4 "- 10 equivale a una rosca Witworth normal de 3/4 pulg de diámetro exterior y 10 hilos por pulgada.

La designación de la rosca unificada se hace de manera diferente: Por ejemplo una nomenclatura normal en un plano de taller podría ser:

*1/4 – 28 UNF – 3B – LH*

Al examinar cada elemento se tiene que:

1/4 de pulgada es el diámetro mayor nominal de la rosca.

28 es el número de rosca por pulgada.

UNF es la serie de roscas, en este caso unificada fina.

3B: el 3 indica el ajuste (relación entre una rosca interna y una externa cuando se arman); B indica una tuerca interna. Una A indica una tuerca externa.

LH indica que la rosca es izquierda. (Cuando no aparece indicación alguna se supone que la rosca es derecha)

**Tabla 18**<sup>46</sup> Simbolización de roscado

<b>Símbolos de roscado más comunes</b>	<b>Denominación usual</b>	<b>Otras</b>
American Petroleum Institute	API	
British Association	BA	
International Standards Organization	ISO	
Rosca para bicicletas	C	
Rosca Edison	E	
Rosca de filetes redondos	Rd	
Rosca de filetes trapesoidales	Tr	
Rosca para tubos blindados	PG	Pr
Rosca Whitworth de paso normal	BSW	W
Rosca Whitworth de paso fino	BSF	
Rosca Whitworth cilíndrica para tubos	BSPT	KR
Rosca Whitworth	BSP	R
Rosca Métrica paso normal	M	SI
Rosca Métrica paso fino	M	SIF
Rosca Americana Unificada p. normal	UNC	NC, USS
Rosca Americana Unificada p. fino	UNF	NF, SAE
Rosca Americana Unificada p.exrafino	UNEF	NEF
Rosca Americana Cilíndrica para tubos	NPS	
Rosca Americana Cónica para tubos	NPT	ASTP
Rosca Americana paso especial	UNS	NS
Rosca Americana Cilíndrica "dryseal" para tubos	NPSF	

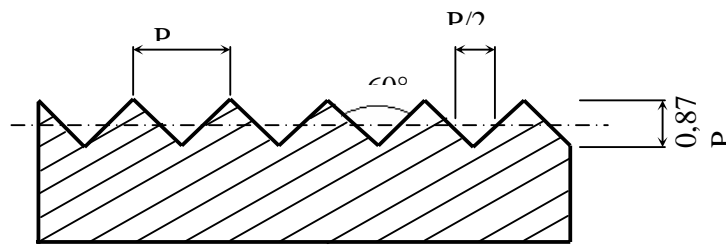
En roscas de fabricación norteamericana, se agregan más símbolos para informar el grado de ajuste y tratamientos especiales.

Es posible crear una rosca con dimensiones no estándares, pero siempre es recomendable usar roscas normalizadas que se pueden adquirir en ferreterías y facilitar la ubicación de los repuestos.

La fabricación y el mecanizado de piezas especiales aumenta el costo de cualquier diseño, por lo tanto se recomienda el uso de las piezas que están en plaza.

### 3.3.2.6. Rosca en V Aguda

Se aplica en donde es importante la sujeción por fricción o el ajuste, como en instrumentos de precisión, aunque su utilización actualmente es rara



**Figura 26**<sup>47</sup> Rosca en V con sus características

<sup>46-47</sup> Suministrada por el autor

### 3.3.2.7. Rosca Nacional Americana Unificada

Esta forma es la base del estándar de las roscas en Estados Unidos, Canadá y Gran Bretaña.

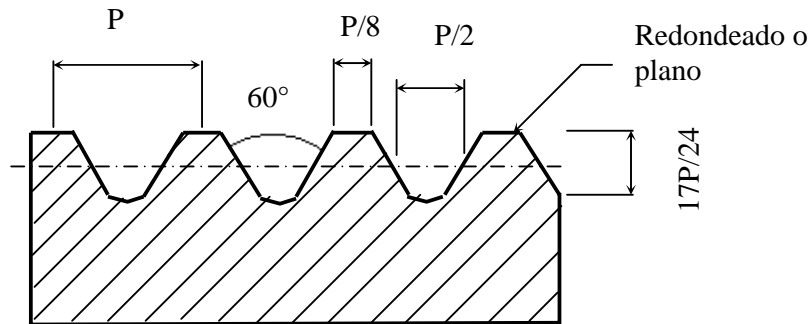


Figura 27<sup>48</sup> **Rosca americana unificada**

### 3.3.2.8. Rosca Acme

Ha reemplazado generalmente a la rosca de filete truncado. Es más resistente, más fácil de tallar y permite el empleo de una tuerca partida o de desembrague que no puede ser utilizada con una rosca de filete cuadrado.

Las roscas Acme se emplean donde se necesita aplicar mucha fuerza. Se usan para transmitir movimiento en todo tipo de máquinas herramientas, gatos, prensas grandes "C", tornillos de banco y sujetadores. Las roscas Acme tienen un ángulo de rosca de  $29^\circ$  y una cara plana grande en la cresta y en la raíz. Las roscas Acme se diseñaron para sustituir la rosca cuadrada, que es difícil de fabricar y quebradiza.

Hay tres clases de rosca Acme, 2G, 3G y 4G, y cada una tiene holguras en todas dimensiones para permitir movimiento libre.

<sup>48</sup> Suministrada por el autor

Las roscas clase 2G se usan en la mayor parte de los conjuntos.

Las clases 3G y 4G se usan cuando se permite menos juego u holgura, como por ejemplo, en el husillo de un torno o de la mesa de una máquina fresadora.

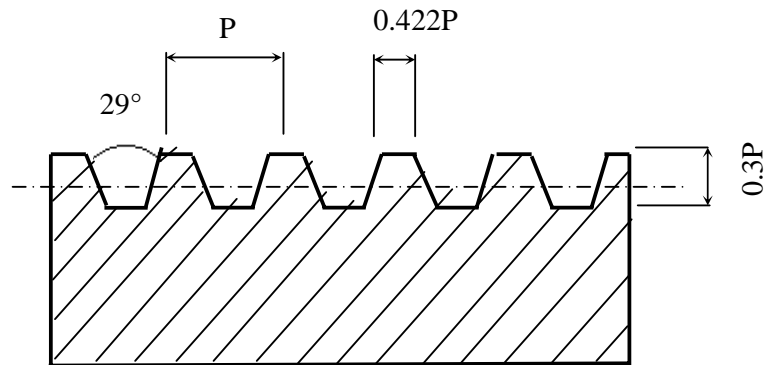


Figura 28<sup>49</sup> **Rosca acme**

### 3.3.2.9. Rosca Whitworth

Utilizada en Gran Bretaña para uso general siendo su equivalente la rosca Nacional Americana.

### 3.3.2.10. Rosca Trapezoidal

Este tipo de rosca se utiliza para dirigir la fuerza en una dirección. Se emplea en gatos y cerrojos de cañones.

<sup>49</sup> Suministrada por el autor

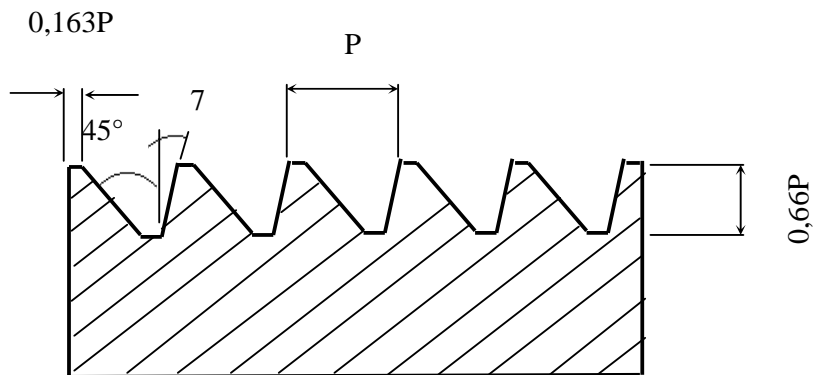


Figura 29<sup>50</sup> Rosca trapezoidal

### 3.3.3. Pistones

Estos pistones cumplen exactamente la misma función de los pistones de un automóvil, la principal diferencia radica en su tamaño, manera de construcción y ensamble, ya que debido precisamente al tamaño de éstos, los fabrican en dos partes y los aseguran en algunos casos con tuercas.

Las clases de pistones que se observaron se utilizan principalmente en compresores de gas en plantas ubicadas en el sector de llanito. La geometría de estos pistones no es muy complicada ya que se componen de una serie de cilindros de diferentes diámetros, no tienen ningún tipo de geometría complicada, solamente se deben respetar los diámetros y las longitudes establecidas en los planos para obtener el buen desempeño del pistón.

<sup>50</sup>Suministrada por el autor

Debido a sus características de utilización y su tamaño, actualmente estos pistones se fabrican en un material liviano como el aluminio, pero debido a la fricción a la que están sometidas estas piezas, se les agrega una capa de un recubrimiento duro, como el titanio, u otros tipos de recubrimientos que satisfaga las necesidades.

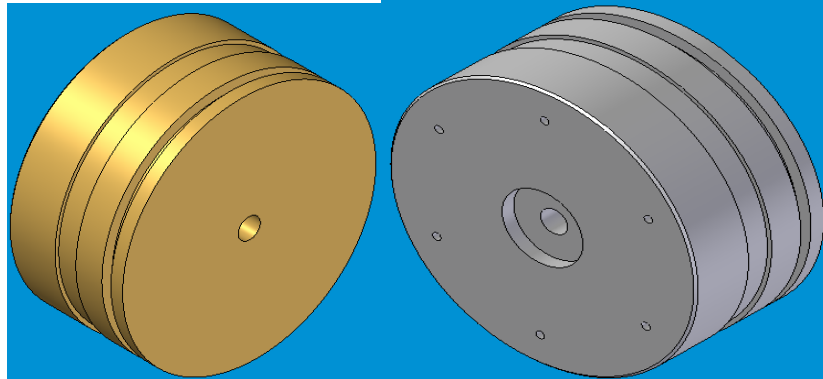


Figura 30<sup>52</sup> Pistones

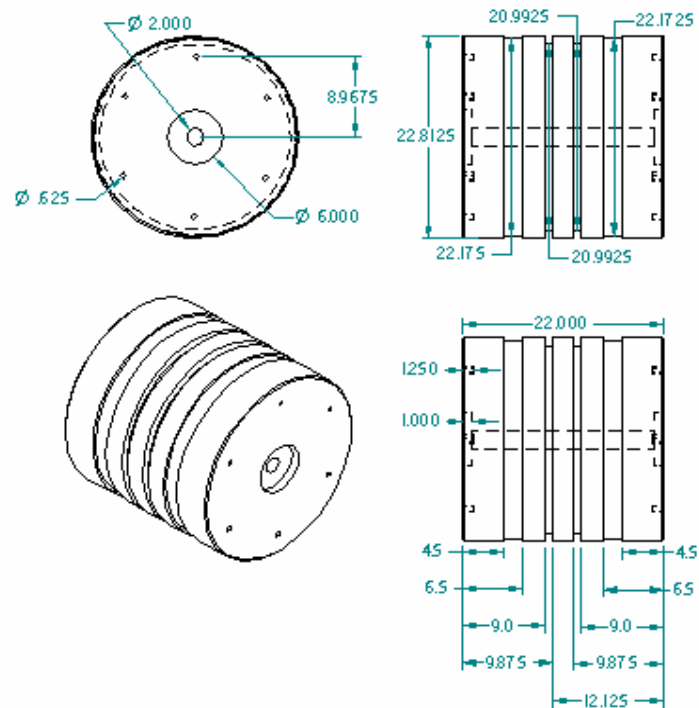


Figura 31<sup>53</sup> Plano de pistón

<sup>52-53</sup> Suministrada por el autor

### 3.3.4. Mangas

Su principal función es la de proteger al eje tanto de ataques corrosivos, como de efectos de fricción, estas piezas se fabrican de diferentes materiales según las condiciones de uso, generalmente utilizan bronce fosforado de diferentes tipos, o en algunos casos especiales en los cuales los ataques corrosivos y los efectos de fricción son elevados, se utiliza acero inoxidable 316.

En cuanto a su fabricación los detalles más sobresalientes a tener en cuenta son los cuñeros, roscas internas, diámetros, longitudes y descarga interna.

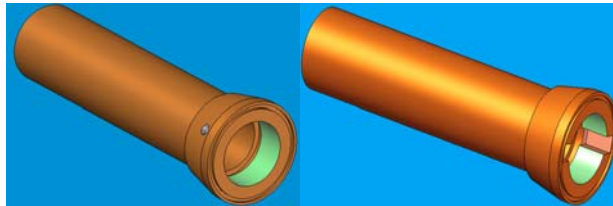


Figura 32<sup>54</sup> **Mangas**

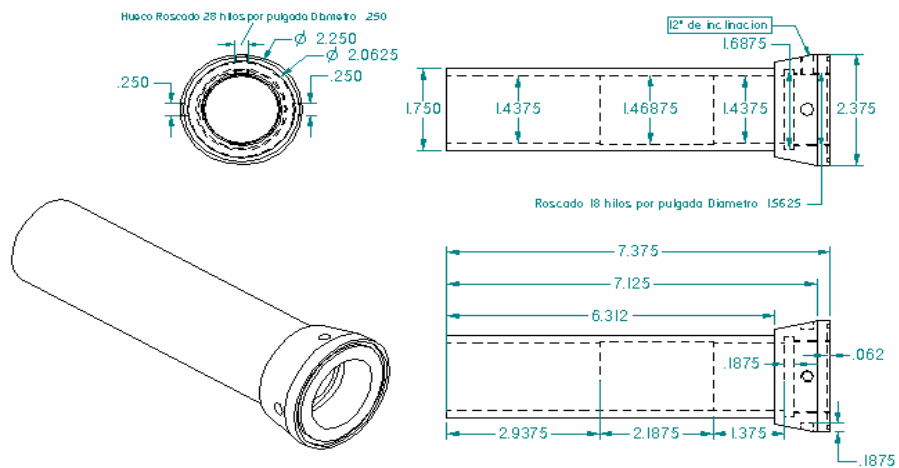


Figura 33<sup>55</sup> **Plano de mangas**

<sup>54-55</sup> Suministrada por el autor

**Tabla 19<sup>56</sup>** Mangas más utilizadas

<b>Mangas</b>	<b>Área de utilización</b>
manga bomba 203 a, o b	equipo estacionario
manga con cuñero	equipo estacionario
manga eje motocompresor ajax llanito	equipo estacionario
manga eje bomba wordinton 5 lr	equipo estacionario
manga sin cuñero	equipo estacionario

### **3.4. Equipo móvil**

Las piezas encontradas en esta unidad no son de gran tamaño, son piezas elementales para los equipos que esta unidad maneja; a continuación están las piezas a las cuales se les hizo el levantamiento del plano.

#### **3.4.1. Tornillos**

El tamaño se especifica por el diámetro y la longitud. En los tornillos de cabeza plana la longitud incluye la cabeza, en todas las demás formas sólo incluye la longitud del cuerpo o vástago.

<sup>56</sup> Suministrada por el autor

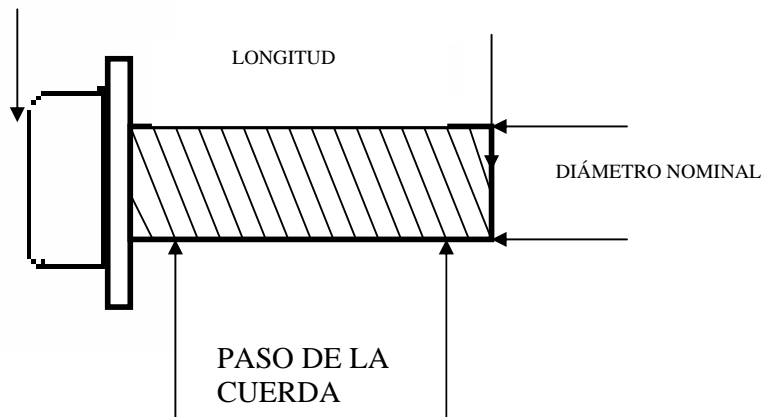


Figura 34<sup>57</sup> **Esquema de un tornillo**

El paso de la cuerda se define como la distancia del ápice de una cuerda al ápice de la siguiente. Se expresa como el número de hilos por pulgada en el sistema inglés y la distancia en milímetros de cresta a cresta de las cuerdas contiguas en el sistema métrico. Los tipos de cuerdas con respecto al paso se clasifican como:

- Unified National Coarse (UNC O NC)
- Unified National Fine (UNF O NF)
- Unified National Extra Fine (UNEF o NEF)
- Tornillo de Máquina (MS)
- Cuerda milimétrica Burda y Fina (SÍ)

<sup>57</sup> Suministrada por el autor

#### 3.4.1.1. Tipos de Tornillos

- Tornillo de Unión: Se utiliza para la unión de dos piezas y se hace a través de un agujero pasante (sin rosca) de una de ellas y roscado en la otra, como la tuerca.
- Tornillo Pasante: Es un tornillo que atraviesa las piezas a unir sin roscar en ninguna de ellas. Se usan para piezas de fundición o aleaciones ligeras.
- Espárragos. Es una varilla roscada en los dos extremos sin variación de diámetro. Un extremo va roscado en la pieza mientras que el otro tiene rosca exterior, no tiene cabeza y la sujeción se logra por medio de una tuerca.
- Tornillo Prisionero: Es una varilla roscada por uno o dos extremos, su colocación se realiza entre la tuerca y el tornillo, taladrado previamente.

Estos clase de tornillos son ordinarios cilíndricos de roscado simple y cabeza hexagonal, uno de los materiales buenos para maquinar este tipo de tornillería son los aceros tipo Bessemer AISI-SAE 1111-1112-1113, estos aceros al tener cierto contenido de azufre mejora la maquinabilidad, pero debido a la disminución de otras propiedades no son usados para piezas vitales. En esta unidad para estar seguros que el material no va a fallar se destina para su fabricación acero AISI-SAE 1045, este acero presenta mejores propiedades que los anteriores pero no supera a éstos en cuanto a la maquinabilidad.

Los detalles presentes en estas piezas es una rosca que se especifica en el plano y la cabeza hexagonal que tiene medidas características.

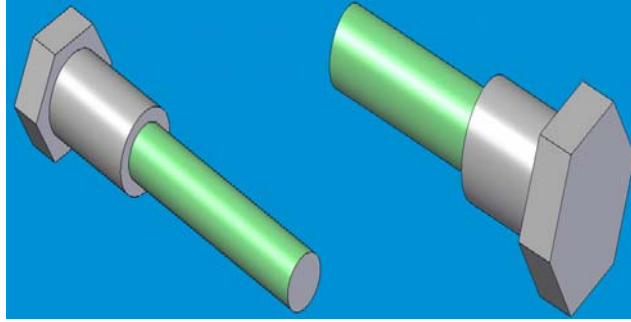


Figura 35<sup>58</sup> **Tornillos**

### 3.4.2. Sellos

Este tipo de pieza no se fabrica actualmente en materiales metálicos, pues su función es la de retener aceite, este sello no tiene ninguna clase de rosca solamente se ajusta a presión. El material que se utiliza es un termoplástico, que cumple las mismas funciones que el bronce usado anteriormente, pero con menores costos.

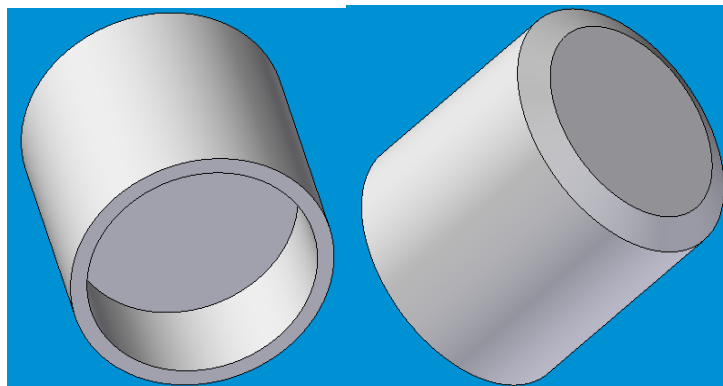


Figura 36<sup>59</sup> **Sellos**

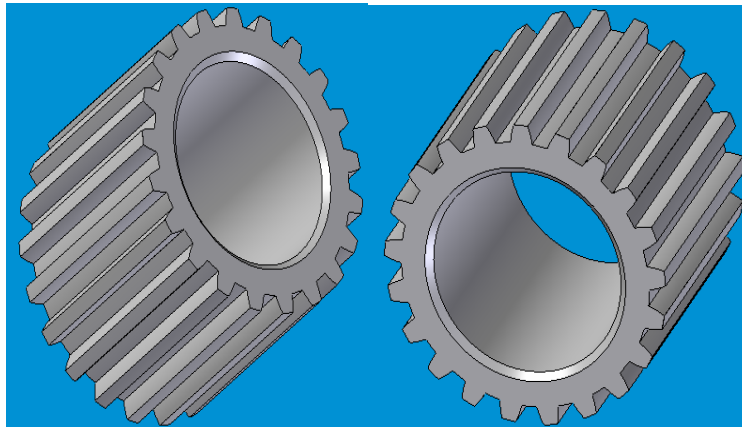
<sup>58-59</sup> Suministrada por el autor

### 3.4.3. Acople tipo Detroit

Para este tipo de piezas se tuvo mucho cuidado en el levantamiento de plano, ya que su geometría no es tan simple como en piezas anteriores, la función de este tipo de acople es transmitir potencia, y debido al contacto existente entre las dos partes del acople, se necesita buena dureza en el material, como buenas propiedades en torsión, para este acople normalmente se utiliza acero AISI-SAE 4140-4340.

Los cuidados que se deben tener en cuenta en la geometría son los siguientes:

- Número de dientes o estrías presentes en las dos partes del acople.
- Geometría de los dientes.
- Diámetros exteriores e interior de los cilindros.
- Dimensiones del cuñero en una de las partes del acople.
- Longitudes generales.



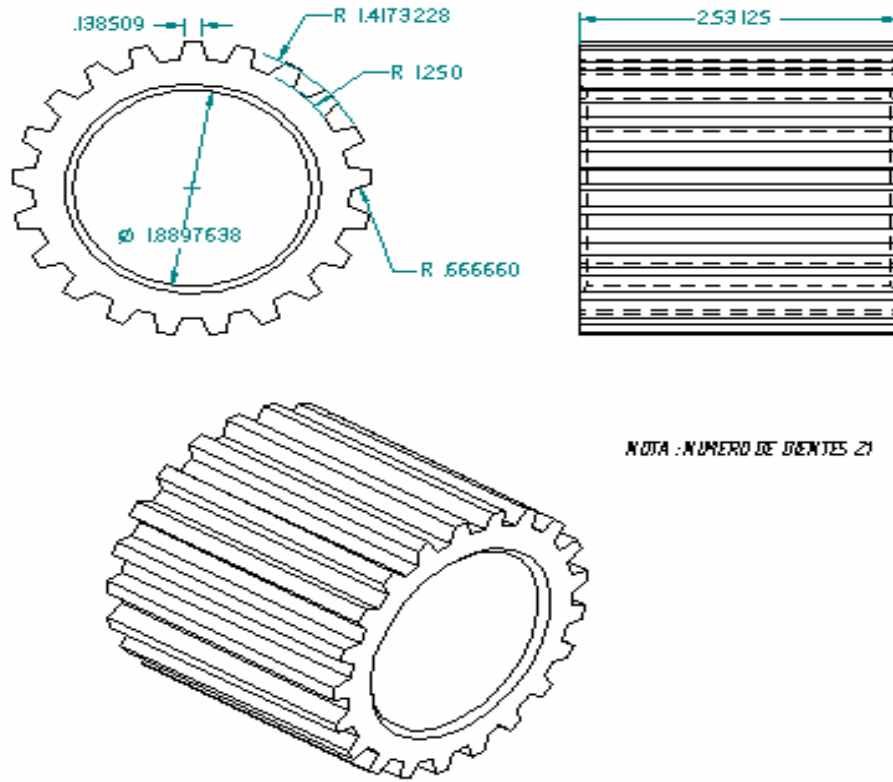
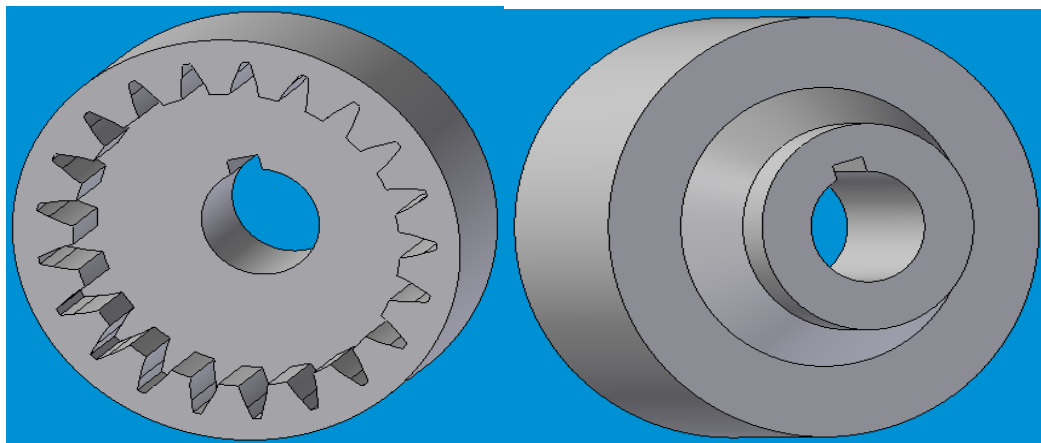


Figura 37<sup>60</sup> Acople Detroit tipo macho



<sup>60</sup> Suministrada por el autor

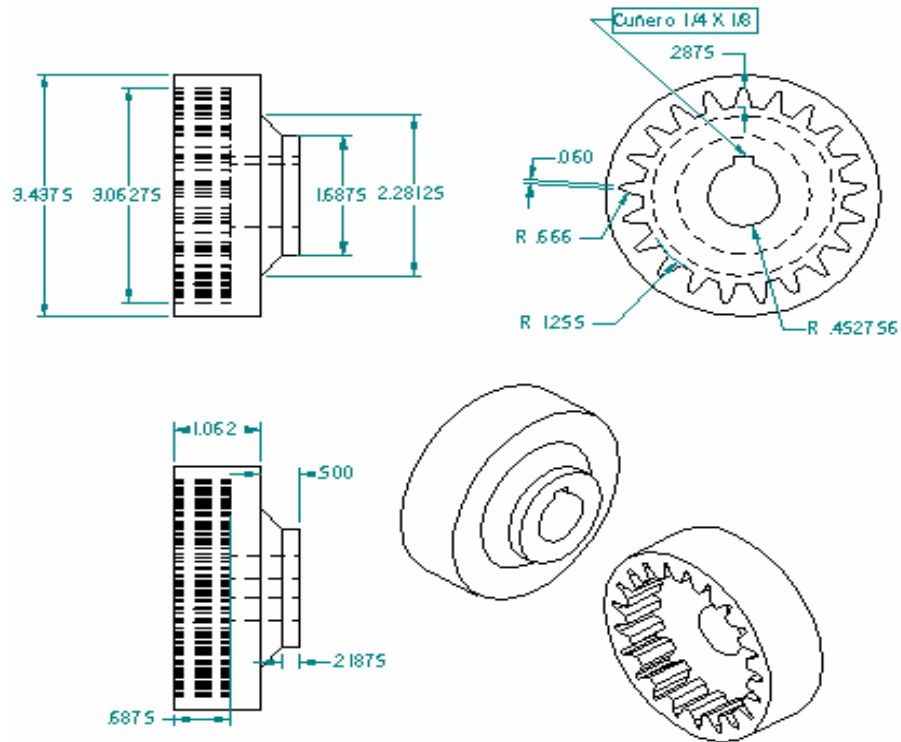


Figura 38<sup>61</sup> Acople Detroit Tipo Hembra

#### 3.4.4. Espaciadores

La función de este tipo de piezas es similar a las mangas protectoras de los ejes, las principal diferencia radica en sus dimensiones, como son diámetros mayores y longitudes menores, el material de uso para la fabricación es bronce o acero AISI SAE 1045, y que no están sometidos a grandes esfuerzos.

La geometría para la fabricación no es muy complicada, y es fácil de interpretar en el dibujo.

<sup>61</sup> Suministrada por el autor

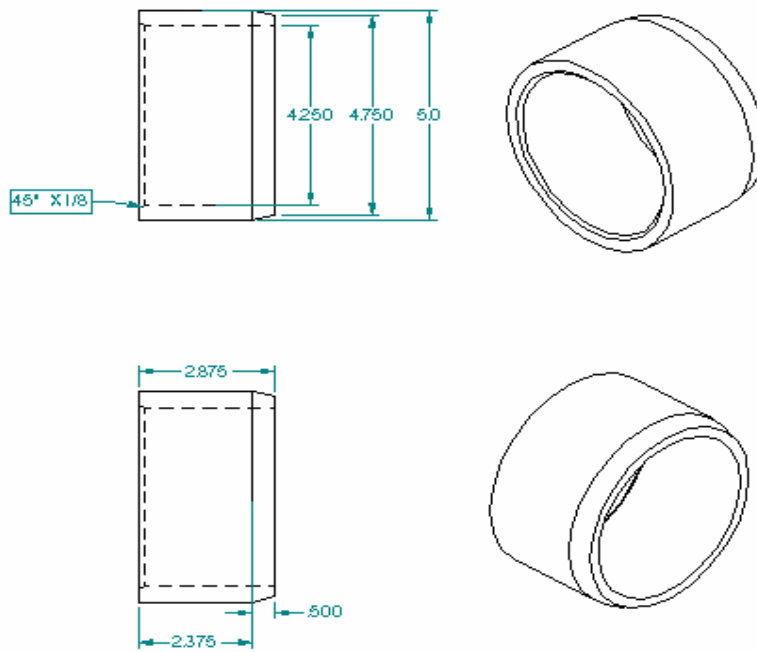
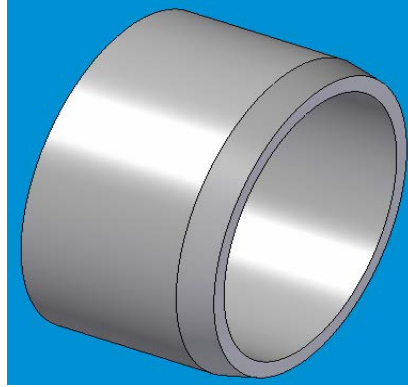


Figura 39<sup>62</sup> **Espaciador**

### 3.4.5. Eje principal llave hidráulica de tubería foster

Este tipo de pieza en la llave hidráulica le transmite potencia al sistema de la tubería foster, el material más utilizado para su fabricación es ACERO AISI-SAE 4140 O 4340.

<sup>62</sup> Suministrada por el autor

En algunos casos es necesario fabricarlos en aceros inoxidable como acero AISI-SAE 316.

La principal diferencia en la fabricación de estos ejes, y un eje para bomba, es su geometría, ya que presenta cuñeros, que no están alineados con los cuñeros medialuna, que tienen entre sí tienen un ángulo característico, así mismo el diámetro donde están ubicadas las balineras el diámetro especial demarcado.

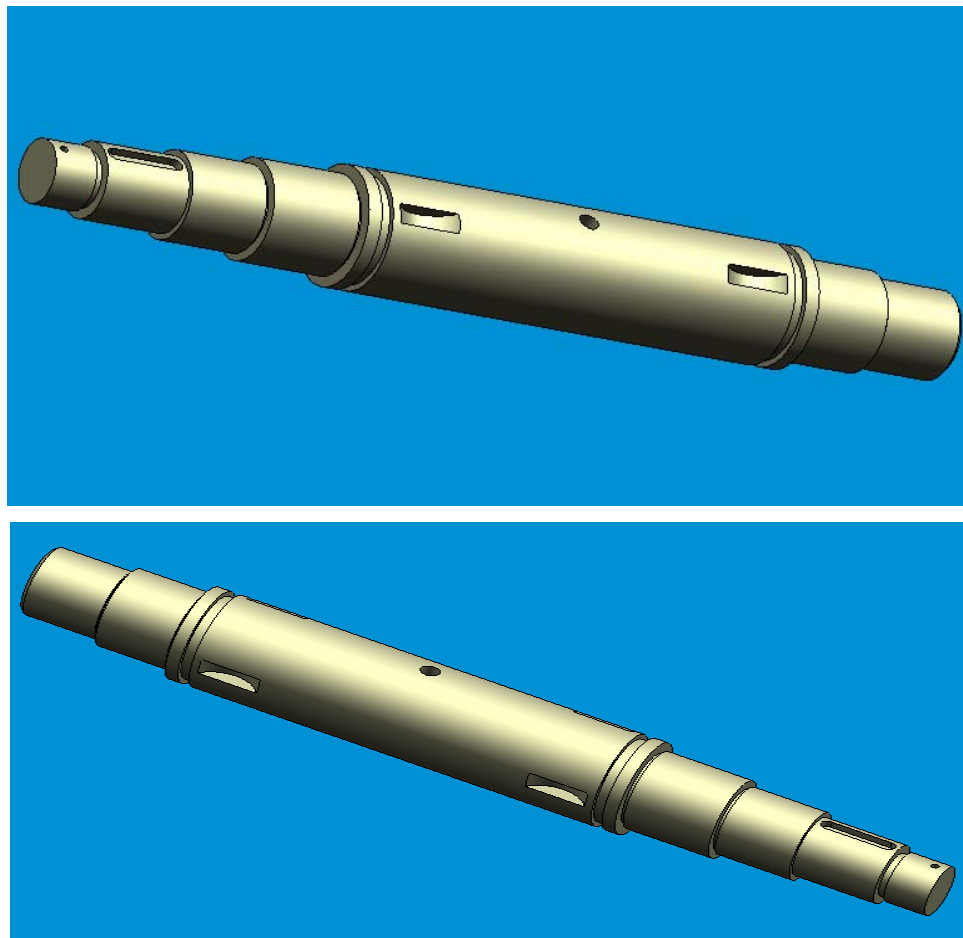


Figura 40<sup>63</sup> Eje llave hidráulica

<sup>63</sup> Suministrada por el autor

### 3.4.6. Rodajas de apoyo al freno malacate

Normalmente se fabrican en bronce pero debido a los esfuerzos a los que están sometidas no se utiliza una aleación especial, se pueden fabricar en fundición de acero al carbono o latón.

La función que cumplen estas piezas es la de ayudar o apoyar el trabajo del suncho del freno del malacate que tiene por función recoger el cable. El suncho es un dispositivo de frenado que detiene al malacate.

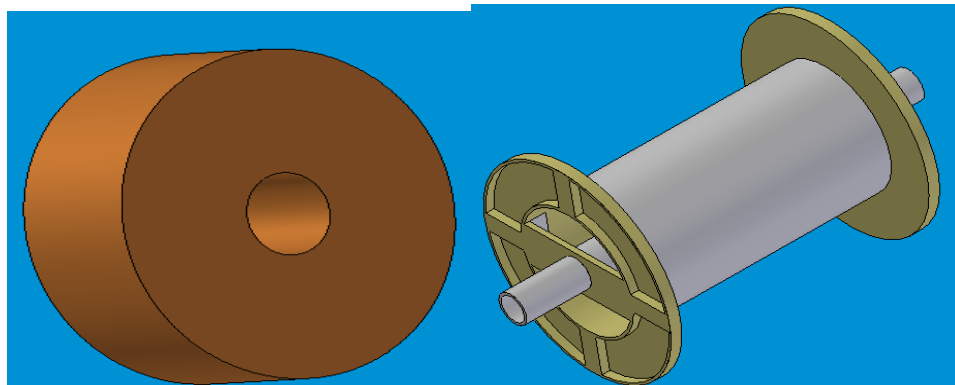


Figura 41<sup>64</sup> Rodajas y malacate

### 3.4.7. Polea guía del freno de malacate

Esta polea se fabrica en los mismos materiales utilizados para la fabricación de las rodajas. Es la encargada de mantener la posición correcta del suncho para lograr un frenado eficiente.

<sup>64</sup> Suministrada por el autor

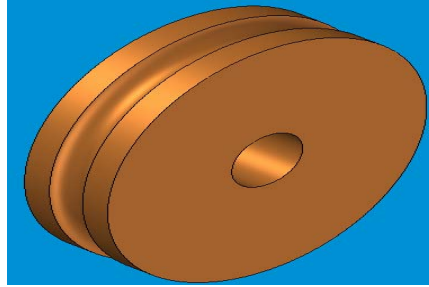
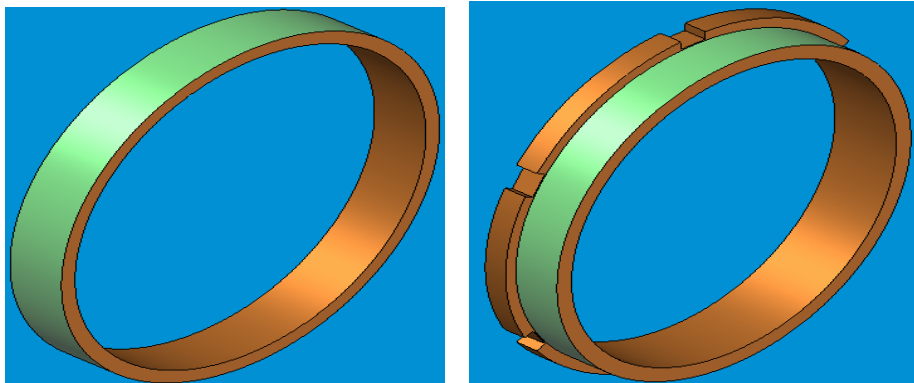


Figura 42<sup>65</sup> **Polea**

### 3.4.8. Tuercas de empaques cilíndricos

La función primordial de este tipo de tuercas es la dar soporte a los empaques cilíndricos, generalmente se fabrican en bronce, pero pueden ser fabricadas en fundición gris o en aceros de bajo contenido de carbono.

En cuanto a los cuidados en la fabricación de estas tuercas, se debe tener un cuidado especial en el diámetro interno, y en el tipo de rosca, que debe ser de 10 hilos por pulgada, su acabado en las puntas debe ser achatado.



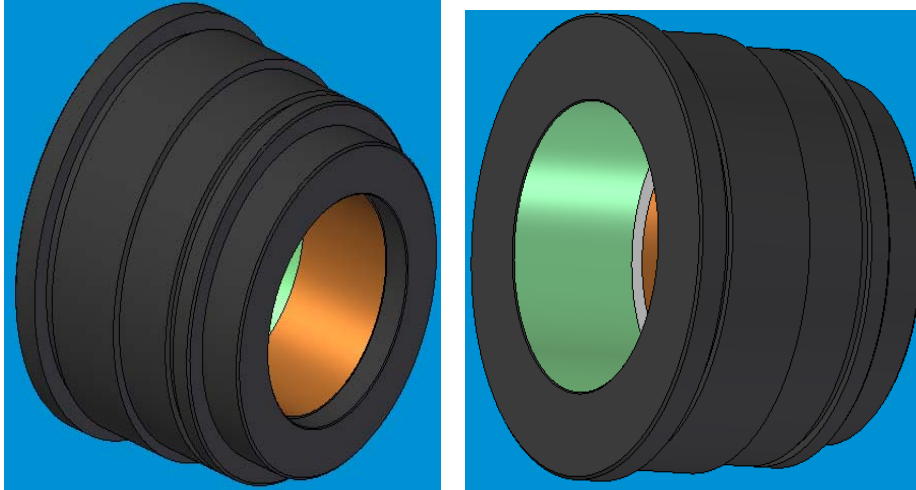


Figura 43<sup>66</sup> **Tuercas de empaques cilíndricos**

### 3.5. Planta de procesos

Las principales piezas solicitadas por la planta de procesos, son extractores de diferentes tamaños, con el conjunto de piezas, que lo complementan, así como punzones, pasadores y abre bridas y el conjunto de piezas que esta requiere.

#### 3.5.1. Extractores

Estos dispositivos son los encargados de retirar los tubos de los intercambiadores de calor pertenecientes a la planta de procesos, entre sus principales características se encuentra un tipo de rosca cónica (figura 46), cuya función es la de sujetar y acoplarse al tubo con el fin de retirarlo del intercambiador, en el otro extremo del dispositivo se encuentra una rosca ordinaria de 10 hilos por pulgada, la función de esta rosca es la de sujetar un tubo extensor, que a su vez esta conectada con el brazo final de este conjunto (figura 46).

<sup>66</sup> **Suministrada por el autor**

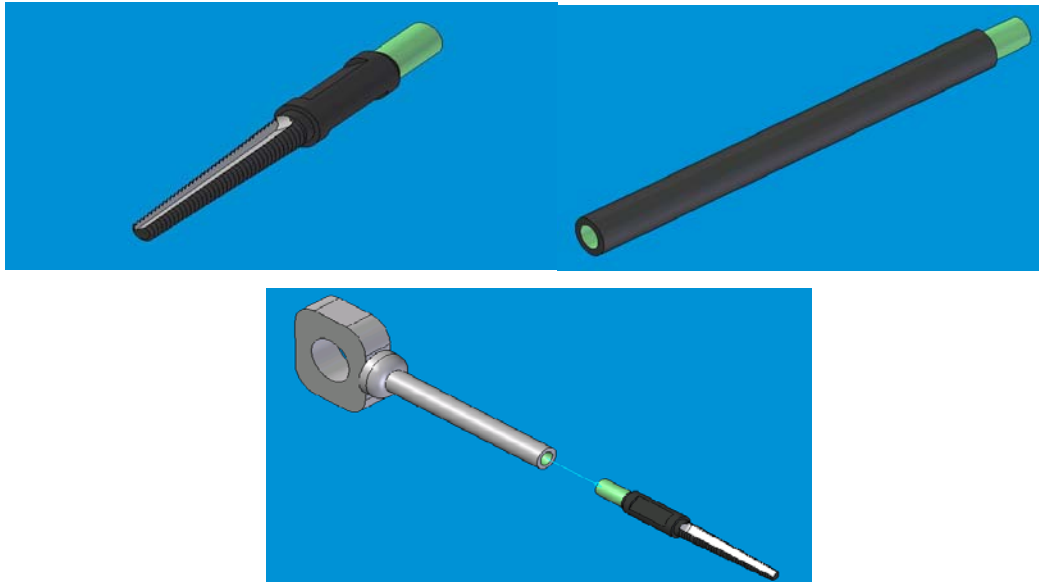


Figura 44<sup>67</sup> **Conjunto extractor, extensión y brazo**

Posibles materiales a utilizar: Dentro de los requerimientos técnicos y de resistencia que debe tener la pieza debe presentar una dureza mayor en la superficie y menor en el interior de ésta, por lo tanto es necesario realizar un tratamiento térmico para darles estas características requeridas.

El material a utilizar en este extractor es un acero AISI-SAE 1045, templado por inducción, este acero presenta buenas características de resistencia y dureza después del temple.

Otro material es el acero AISI-SAE 1020, este acero no presenta una buena templabilidad por lo tanto no sería posible alcanzar una dureza deseada por medio de un temple directo por lo que sería necesario utilizar un tratamiento termoquímico como la cementación que daría la característica de dureza elevada en la superficie y una menor dureza en el interior.

<sup>67</sup> Suministrada por el autor

El principal problema que presentan este tipo de piezas, es el rompimiento al realizar la extracción de los tubos.

Posibles causas del daño

- Inexperiencia de los operarios en el momento de extracción de los tubos.
- Fallas en el tratamiento térmico del material.

Posibles soluciones

- Para la extracción de los tubos con este tipo de dispositivos se debe tener cierta experiencia para que el dispositivo quede alineado con el eje de los tubos, de lo contrario se le estaría aplicando una sobrecarga al extractor, lo que llevaría a un rompimiento de la pieza.
- En cuanto a la falla del material por el tratamiento térmico aplicado, se aconseja que este sea un temple superficial, esto con el fin de tener elevada dureza en la parte externa, para que este no se desgaste tan fácilmente al entrar en contacto con los tubos, y un centro relativamente blando, para obtener una mayor tenacidad.

### 3.5.2. Punzones

La función de este tipo de piezas es la taponar los tubos de los intercambiadores de calor que no van a ser utilizados o que sufrieron algún daño, la forma cónica de estos punzones tiene la función de entrar al tubo hasta determinada profundidad , y quedar bien ajustados a este.

El material de utilización es el acero AISI-SAE 1045.

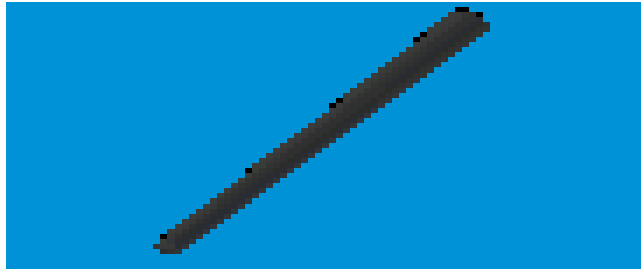


Figura 45<sup>68</sup> **Punzón**

### 3.5.3. Abre bridas

La función de este dispositivo como su nombre lo dice es el de separar una brida de otra cuando en la mayoría de los casos estas se quedan pegadas, no se necesita una aleación, o acero especial, la barra roscada es de acero AISI-SAE 1045, y el marco es en fundición gris (figura 46).

Algo que caracteriza a este sistema es la barra roscada, pues su rosca tiene una extensión determinada, y en la punta presenta un maquinado especial para que entre en el dispositivo que abre las bridas.

Este tipo de dispositivos no presenta mayores daños, debido a que no se somete a altos esfuerzos, el único daño, o desgaste observado, es del tipo corrosivo.

<sup>68</sup> Suministrada por el autor

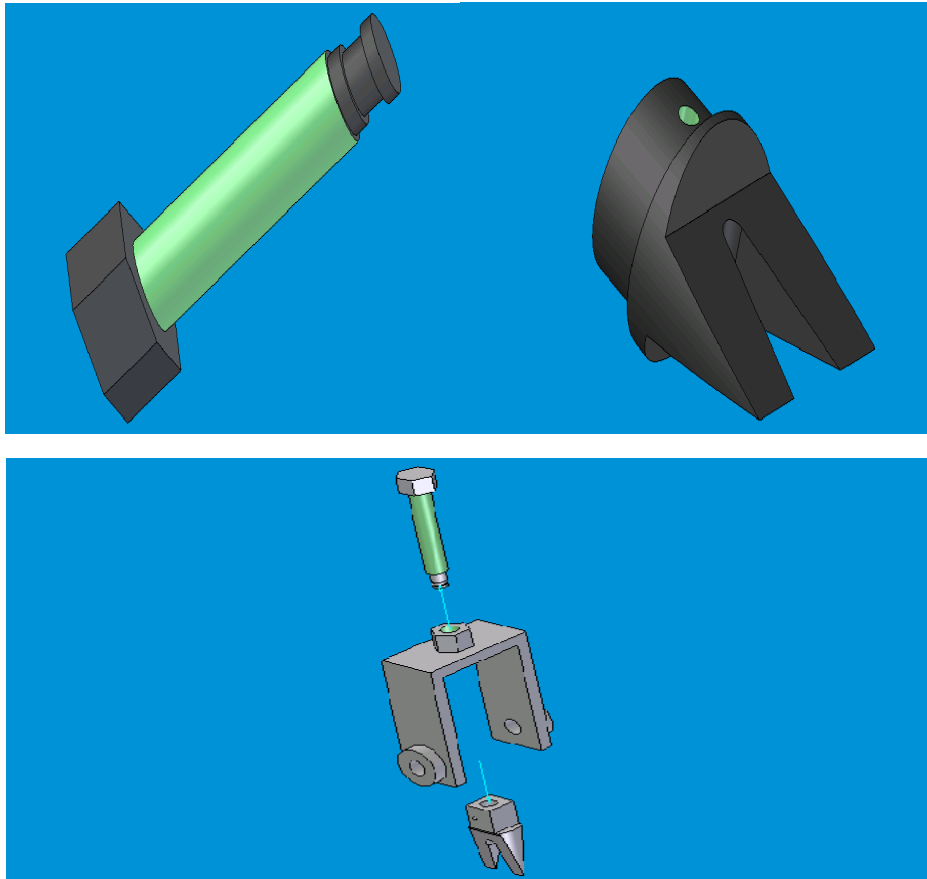


Figura 46<sup>69</sup> **Conjunto brida**

<sup>69</sup> Suministrada por el autor

### 3.6. Cañoneo

Las piezas encontradas en esta unidad, son piezas complementarias, o partes que componen a la mesa cavins, la función de esta mesa es la de extraer tubería, otro tipo de piezas encontradas son los complementos de empaques para dispositivos de cañoneo:

#### 3.6.1. Adaptadores (adapter wire line)

La función de este adaptador, es la de conectar varillas de medición, con un cable de acero, para llevar a estas hasta el pozo con el fin de obtener datos como presiones y temperaturas.

En la parte de fabricación de estas piezas, tener especial cuidado en los cambios de geometría interna (figura 47), ya que en su parte posterior presentan una rosca seguida de descargas de diferentes diámetros, terminando en un pequeño orificio por donde pasa un alambre, pero en general la fabricación de esta pieza no es muy complicada, el material a utilizar es acero AISI-SAE 1045.

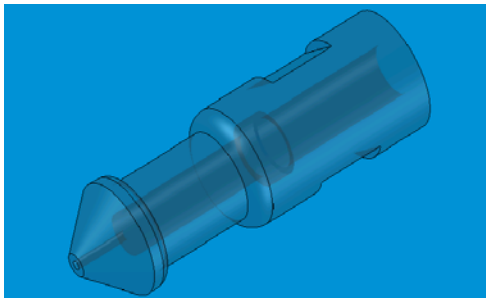


Figura 47<sup>70</sup> **Adapter wire line**

<sup>70</sup> Suministrada por el autor

### 3.6.2. Brazos de levante

Dentro de la mesa de cuña, la función de éste es la de soporte de uno de los ejes.

En la fabricación de esta pieza, el mecanizado es utilizado solamente al hacer los huecos, debido a que su fabricación inicial es con colada de acero.

El material que se utiliza es acero AISI-SAE 4130, debido a los esfuerzos que se presentan, y a las características de funcionamiento.

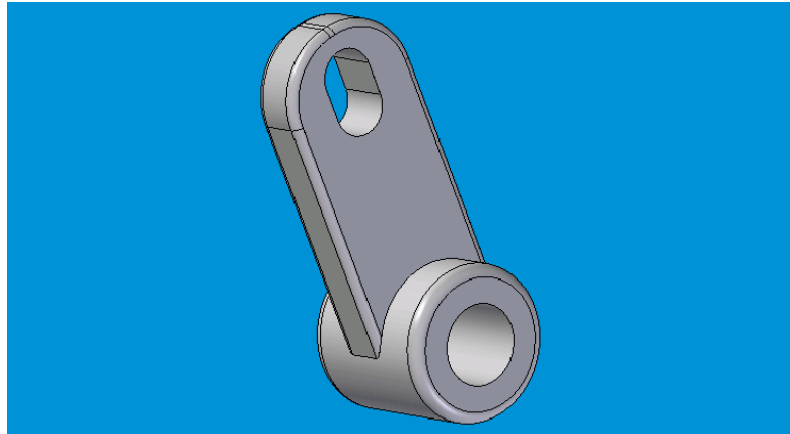


Figura 48<sup>71</sup> **Brazos de levante**

### 3.6.3. Camisa de cilindro

Esta camisa dentro del conjunto de la mesa de cuña, tiene por función, albergar al pistón (figura 49), y es donde está presente el movimiento del pistón.

El material a utilizar en esta camisa es acero AISI-SAE 4140, la fabricación de este tipo de camisas es sencilla, no presenta geometría complicada, pues es tubular y con dos orificios en los extremos.

<sup>71</sup> Suministrada por el autor



Figura 49<sup>72</sup> **Camisa del cilindro**

#### 3.6.4. Eje

La mesa de cuña funciona con diferentes tipos de ejes, según los accesorios que tengan, pero en resumidas cuentas la función dentro de la mesa es la misma, son ejes de soporte para otras piezas, dentro de su fabricación en la parte de mecanizado está la parte tubular tanto superior como inferior, y los orificios que tienen algunos de estos.

El material es el mismo que se utiliza para la mayoría de piezas de la mesa de cuña, acero AISI-SAE 4130.

<sup>72</sup> Suministrada por el autor

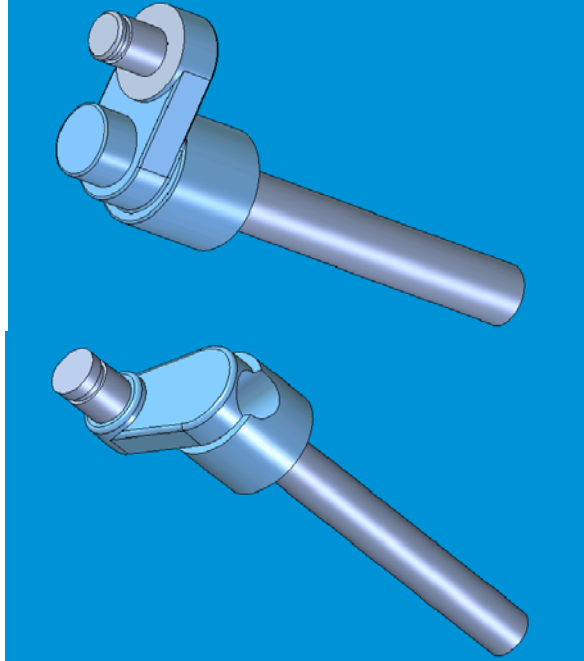


Figura 50<sup>73</sup> **Ejes**

### 3.6.5. Espaciadores

Este tipo de piezas no tienen una función mecánica muy importante dentro de la mesa, pues funcionan de separadores, para los brazos de levante, así que el material de fabricación es acero AISI-SAE 1045.

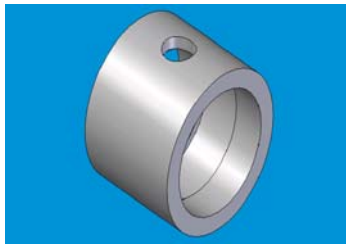


Figura 51<sup>74</sup> **Espaciador**

<sup>73-74</sup> Suministrada por el autor

### 3.6.6. Pasadores

Los pasadores tienen la función de soporte, están sometidos a medianos esfuerzos, el material de fabricación es acero AISI-SAE 4140.

### 3.6.7. Pistón

El mecanizado de esta pieza debe ser cuidadoso, especialmente en su diámetro externo, pues debe entrar y tener cierta tolerancia de movimiento dentro de la camisa para obtener un buen funcionamiento de la mesa, otra característica a tener en cuenta son los agujeros internos de diferentes diámetros, y el agujero roscado, el material de fabricación es acero AISI-SAE 4340, este acero presenta buena dureza que es apropiado para la función que cumple.

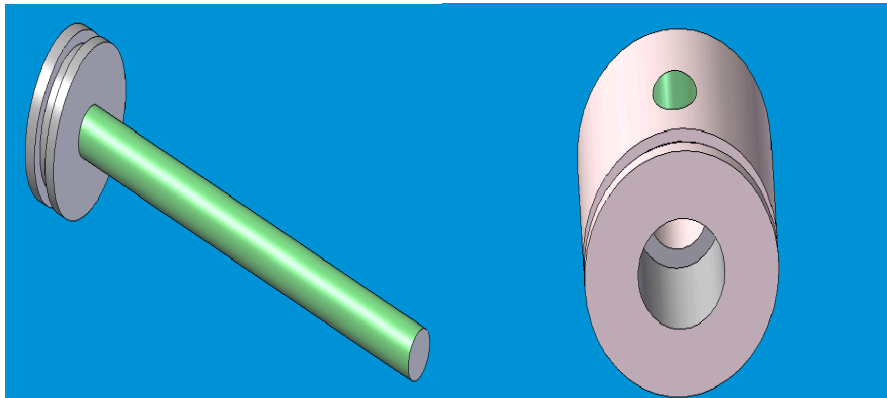


Figura 52<sup>75</sup> **Pistón**

<sup>75</sup> Suministrada por el autor

### 3.6.8. Seguros

Su función es la de interrumpir, o pausar el accionar de la mesa, en el caso del seguro A, para el seguro B la función es la de mantener en un sitio de movimiento a la varilla que va conectada al pistón, los dos seguros son fabricados en acero AISI-SAE 4130.

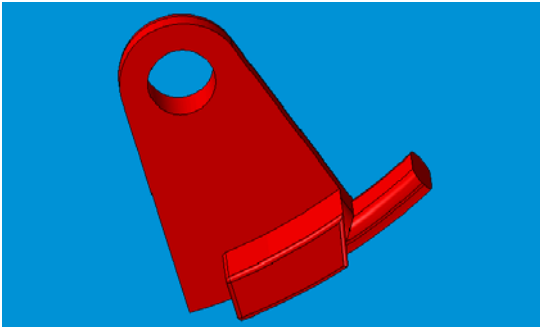


Figura 53<sup>76</sup> Seguro

### 3.6.9. Brazos de soporte

La función de estos dispositivos es la de transmitir movimiento combinando la rotación y la traslación, mediante la conexión con otras piezas, el proceso de fabricación es la forja seguida de un mecanizado, el acero que se utiliza es ACERO AISI-SAE 4130.

<sup>76</sup> Suministrada por el autor

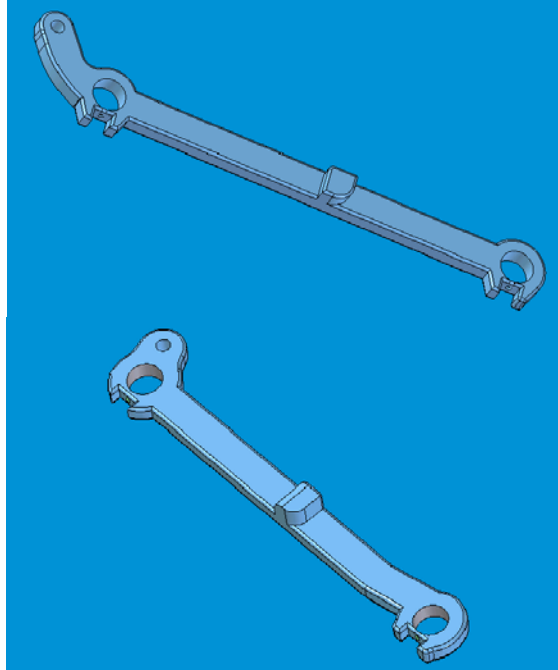


Figura 54<sup>77</sup> Brazos de soporte

<sup>77</sup> Suministrada por el autor

#### 4. CONCLUSIONES

- Utilizando literatura actualizada, y teniendo en cuenta el funcionamiento de cada una de las piezas, se cambió, o reafirmó la utilización de un tipo de material adecuado para los esfuerzos que cumplen.
- Teniendo en cuenta recomendaciones de fabricación, y conceptos suministrados por personas encargadas del manejo y funcionamiento de estas piezas, se procedió a incluir algunas modificaciones geométricas en una serie de piezas.
- Con el fin de evitar errores en el levantamiento de planos, se utilizaron catálogos de funcionamiento de piezas, algunos de los cuales tenían medidas estándares, se contó con muestras de piezas en buenas condiciones, y con la asesoría del jefe inmediato, el cual supervisó esta parte del trabajo desde el comienzo.
- Para tener una mayor claridad, de las piezas, se describe el funcionamiento de cada una, y los detalles a tener en cuenta en el momento de su fabricación.
- Toda la información está almacenada en formato magnético con el fin de realizar cualquier mejora o modificación en el futuro.
- Además de la información técnica y de los planos levantados para cada una de las piezas también se realizaron una serie de hojas de cálculo para hacer algunas modificaciones y cálculos a los ejes de la unidad de equipo estacionario.
- En el caso de las poleas que fueron las piezas que presentaban mayores inconvenientes se realizaron las recomendaciones necesarias en cuanto a materiales a utilizar que fue el principal inconveniente.

- Fué de vital importancia la experiencia adquirida en esta rama de la metalurgia, como es la metalmecánica, como complemento a la formación profesional.

## 5. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar el análisis minucioso de cada una de las piezas con el fin de realizar un diseño efectivo y posterior fabricación.
- Debido al tiempo y a la gran cantidad de piezas todas no fueron registradas, solamente las que presentaban ciertos inconvenientes y que eran necesarias.
- Para una práctica futura se recomienda realizar un estudio más detallado a cada una de las piezas diseñando o modificando una aleación que cumpla con los requerimientos mecánicos, así como una serie de cálculos para implementar un tratamiento térmico adecuado.

## BIBLIOGRAFÍA

- ERIK OBERG, FRANKLIN D.JONES Y HOLBROOK L. HORTON; Manual Universal de la Técnica Mecánica, traducción de la 21ª edición norteamericana Editorial LABOR S.A. 1992.
- A.L. CASILLAS Máquinas y cálculos de taller edición Hispanoamericana 23 Madrid España 1991
- FRANK R. PALMER. acero para herramientas, cuarta edición, chilton company, radnor, pennsylvania, USA 1986
- METALS HANDBOOK , vol 4, tools Materials 1991.
- HEINRICH GERLING. Alrededor de las máquinas - herramientas, Editorial Reverté. 4ª edición , año 1989
- DIETER, George. Mechanical Metallurgy. Editorial Mc Graw Hill. SI Edition. 1988
- EUGENE A. AVALLONE. Manual del ingeniero mecánico Marks, Editorial Mc. Graw Hill. 9ª edición, año 1995

## INTERNET

- [www.utp.edu.co/publio17/fundicion.htm](http://www.utp.edu.co/publio17/fundicion.htm)

## ANEXOS

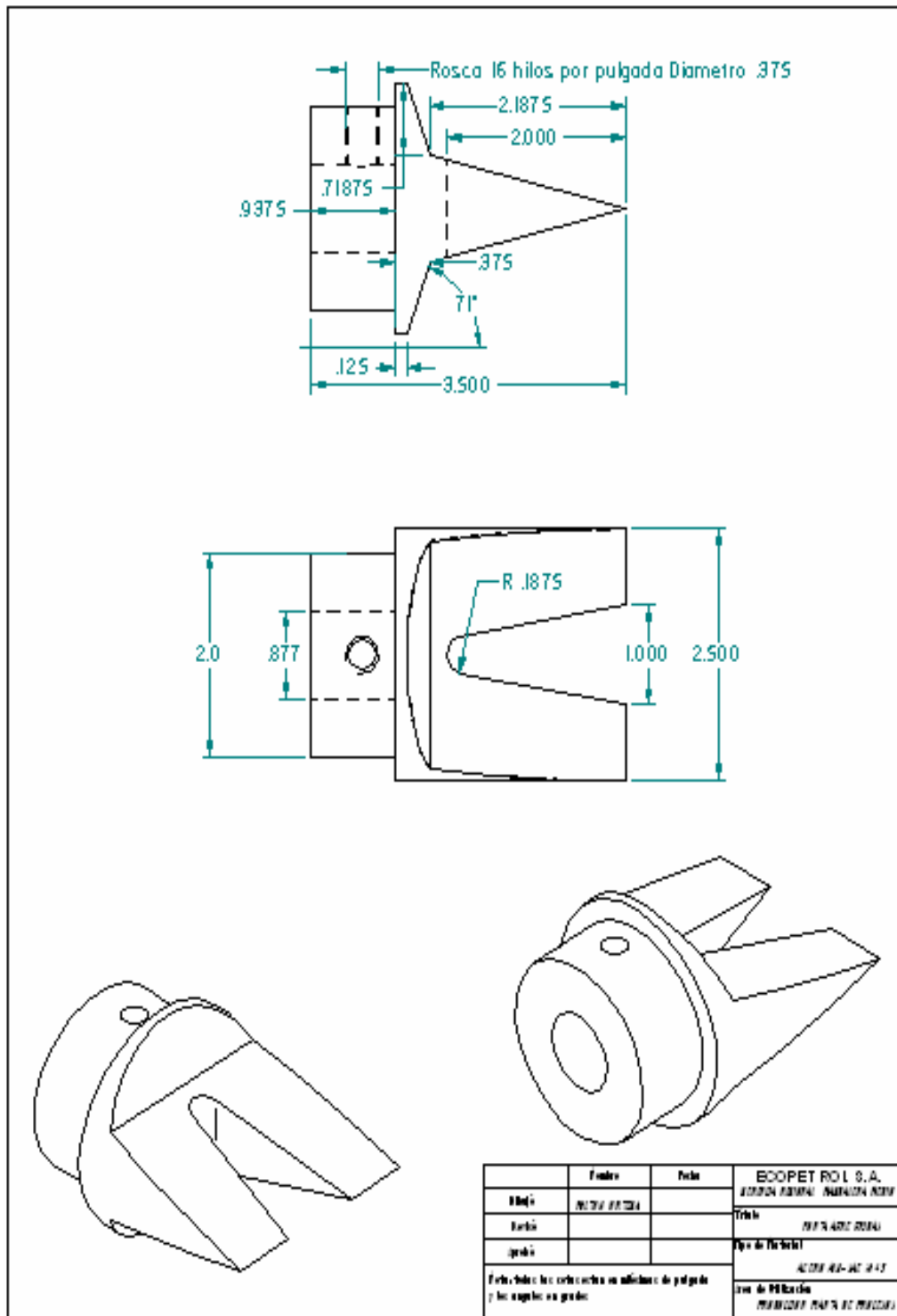
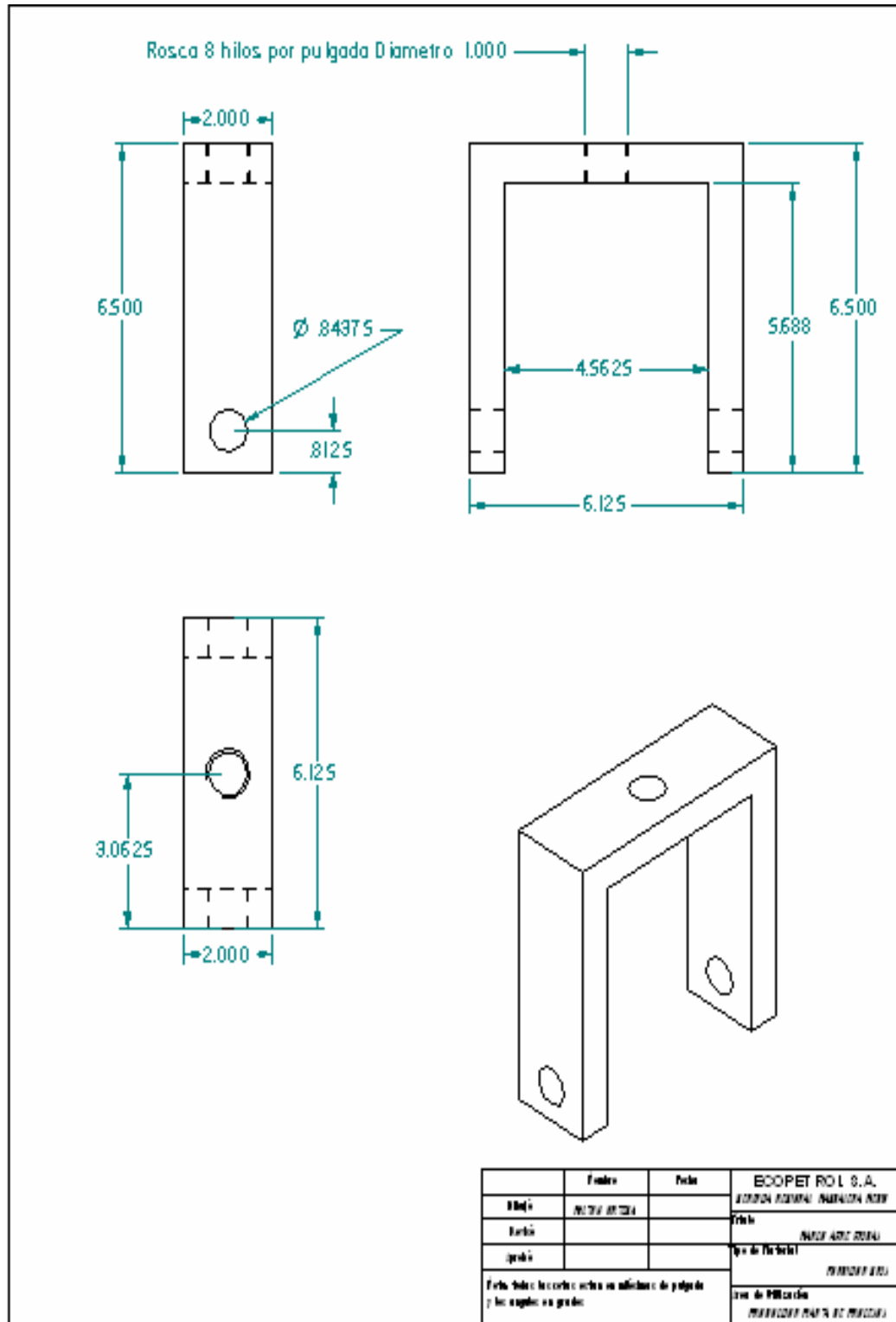


Figura 55. Plano de la cabeza del sistema abre bridas



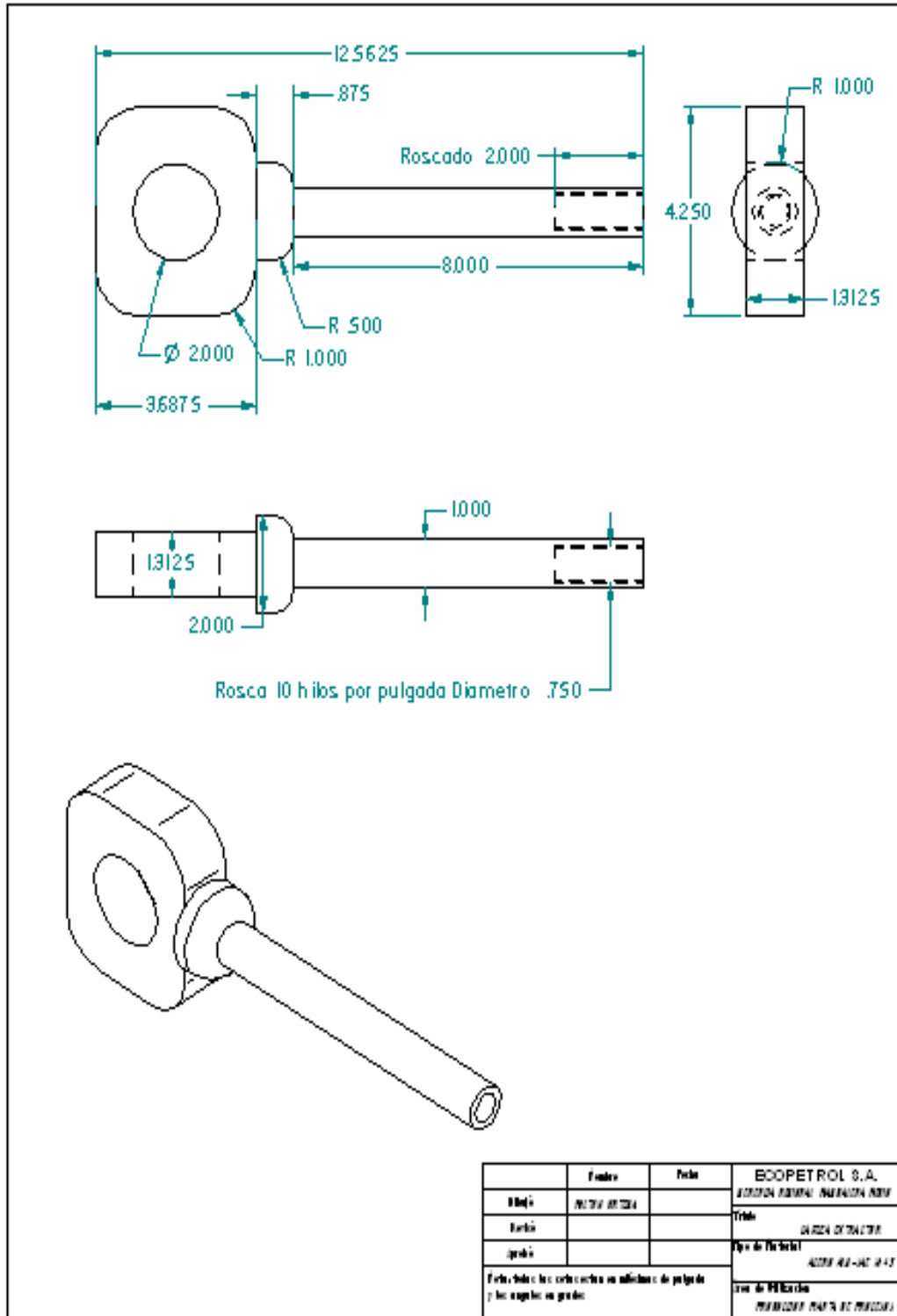


Figura 57. Plano barra abre bridas

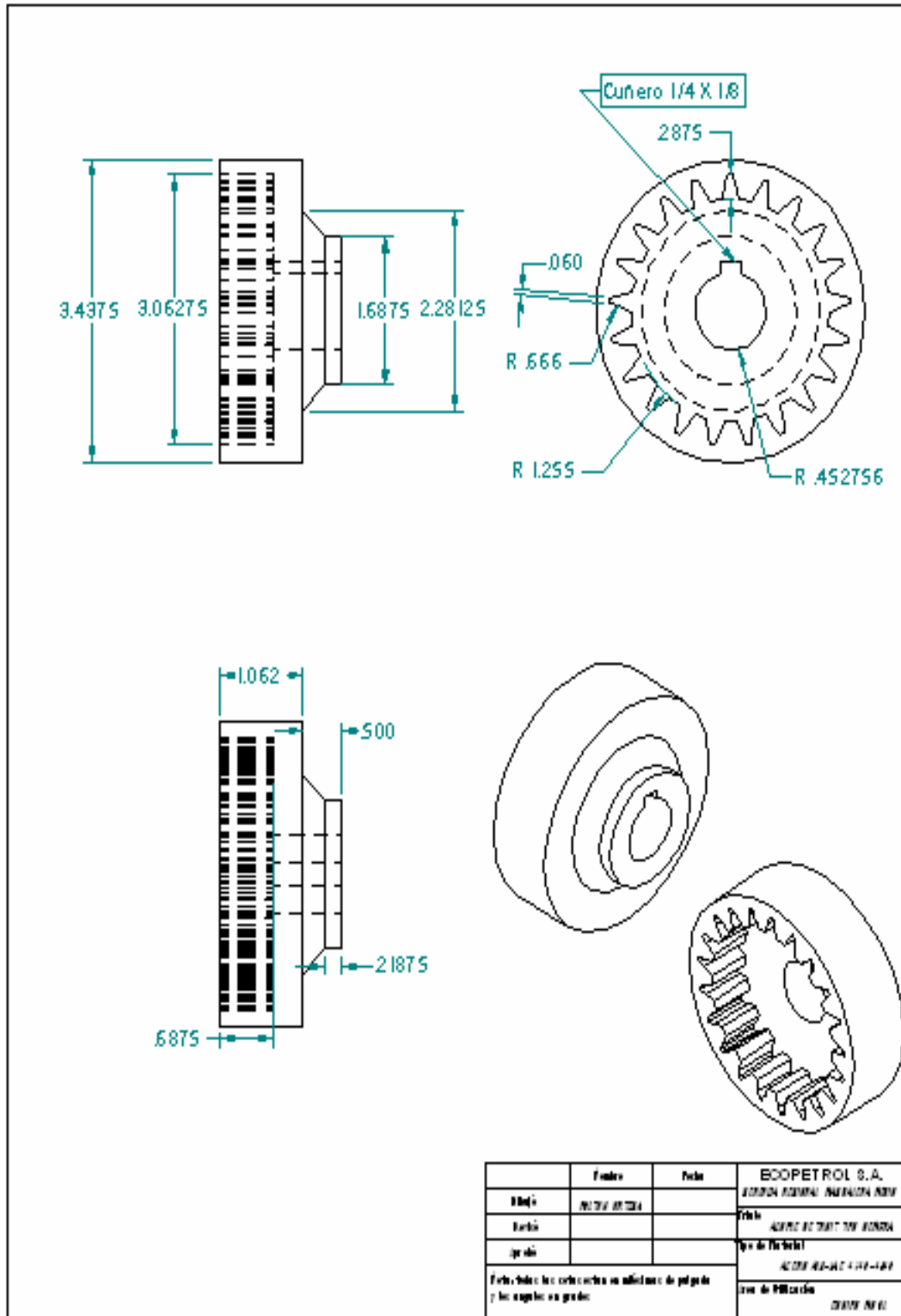


Figura 58. Plano acople Detroit tipo hembra

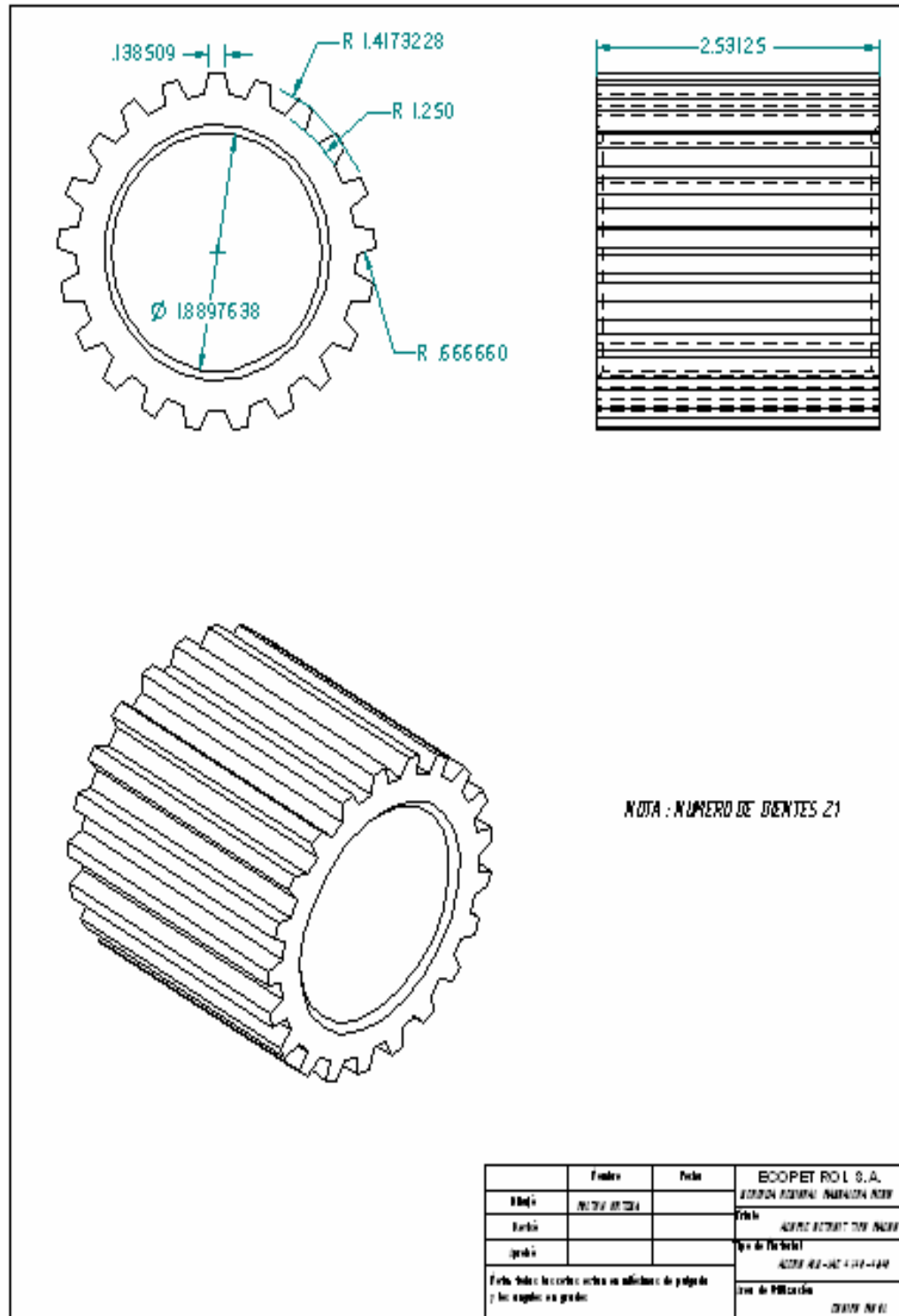


Figura 59. Plano acople Detroit tipo macho

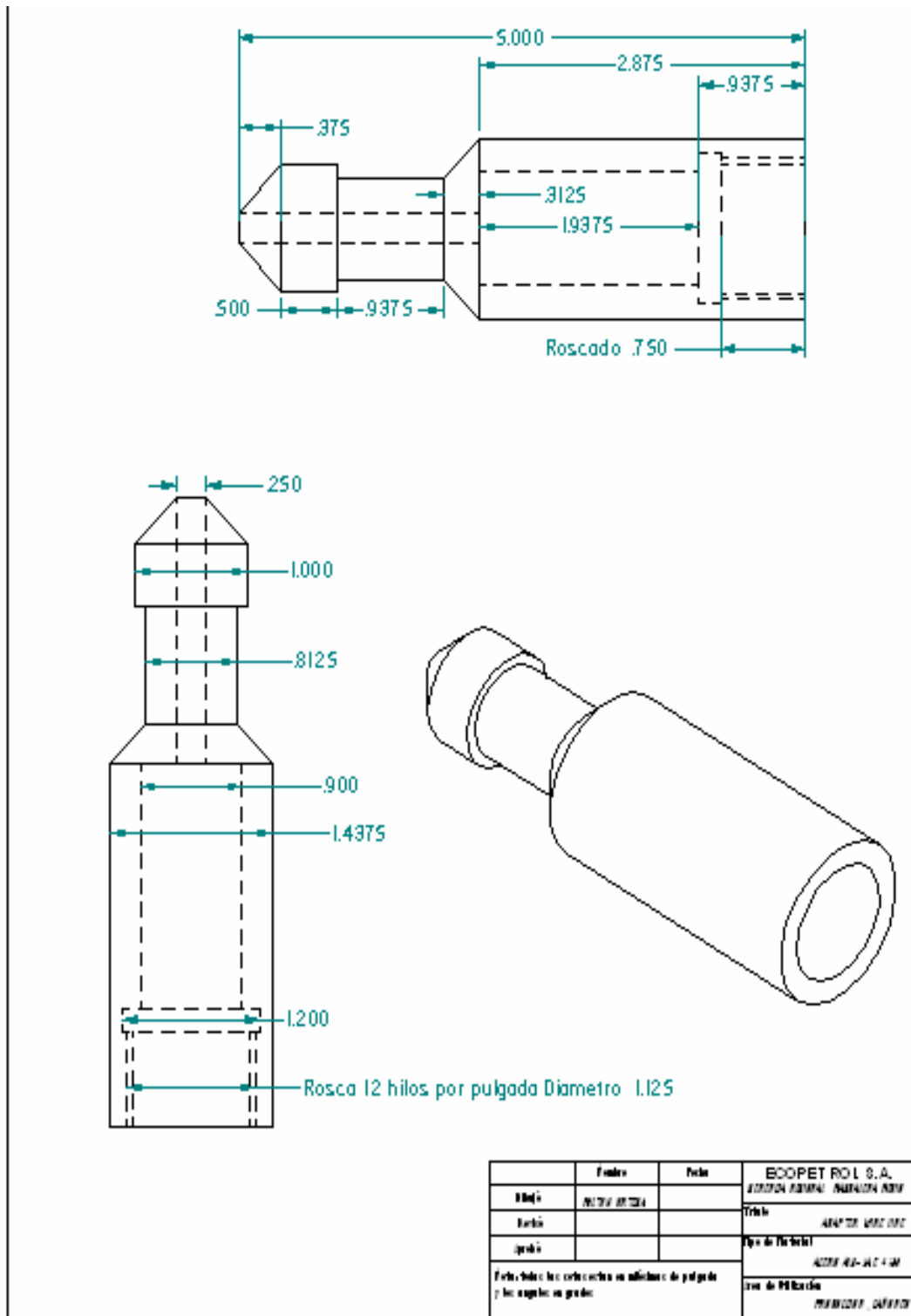


Figura 60. Plano del adapter wire line

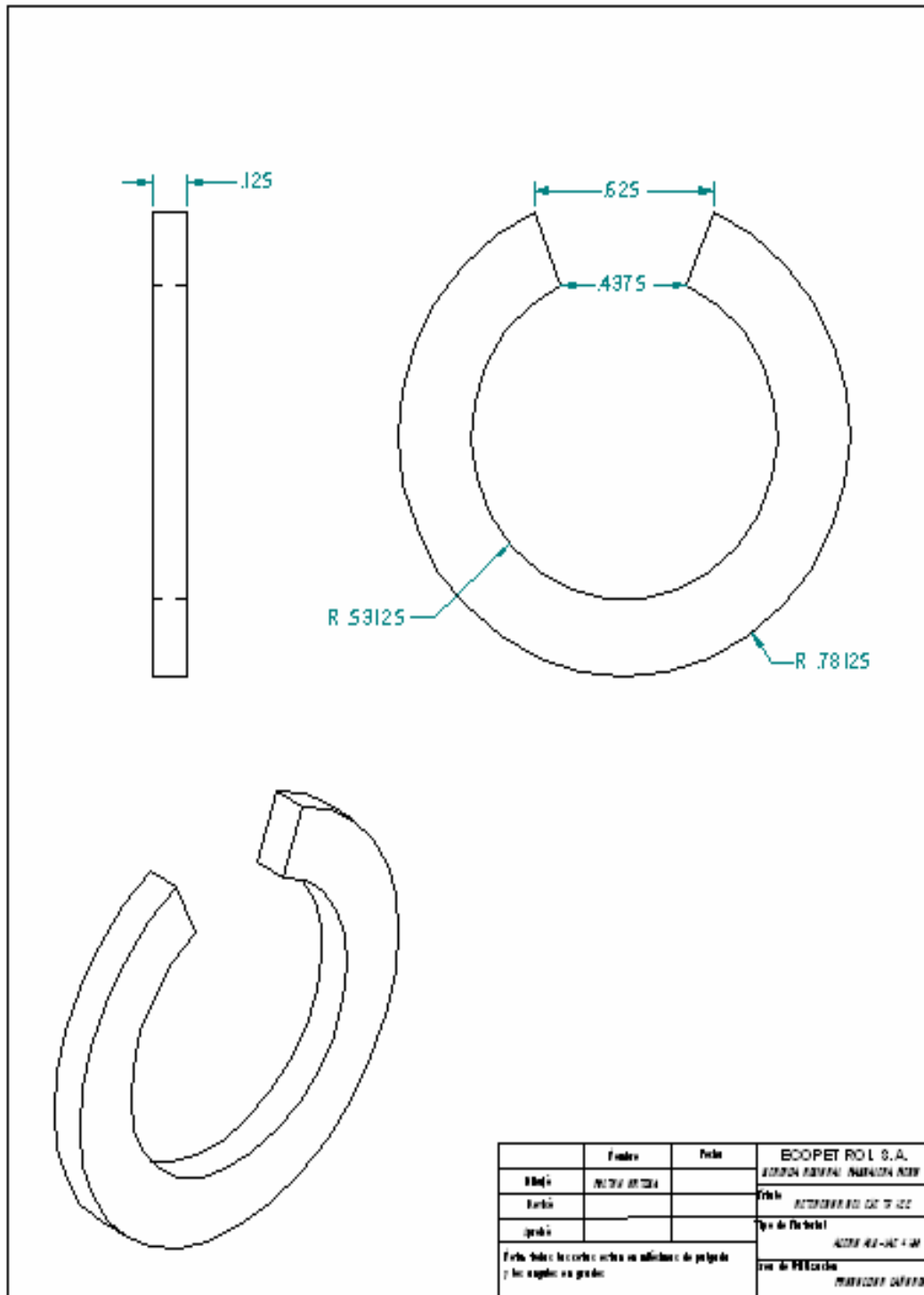


Figura 61. Plano de arandela caja de mesa

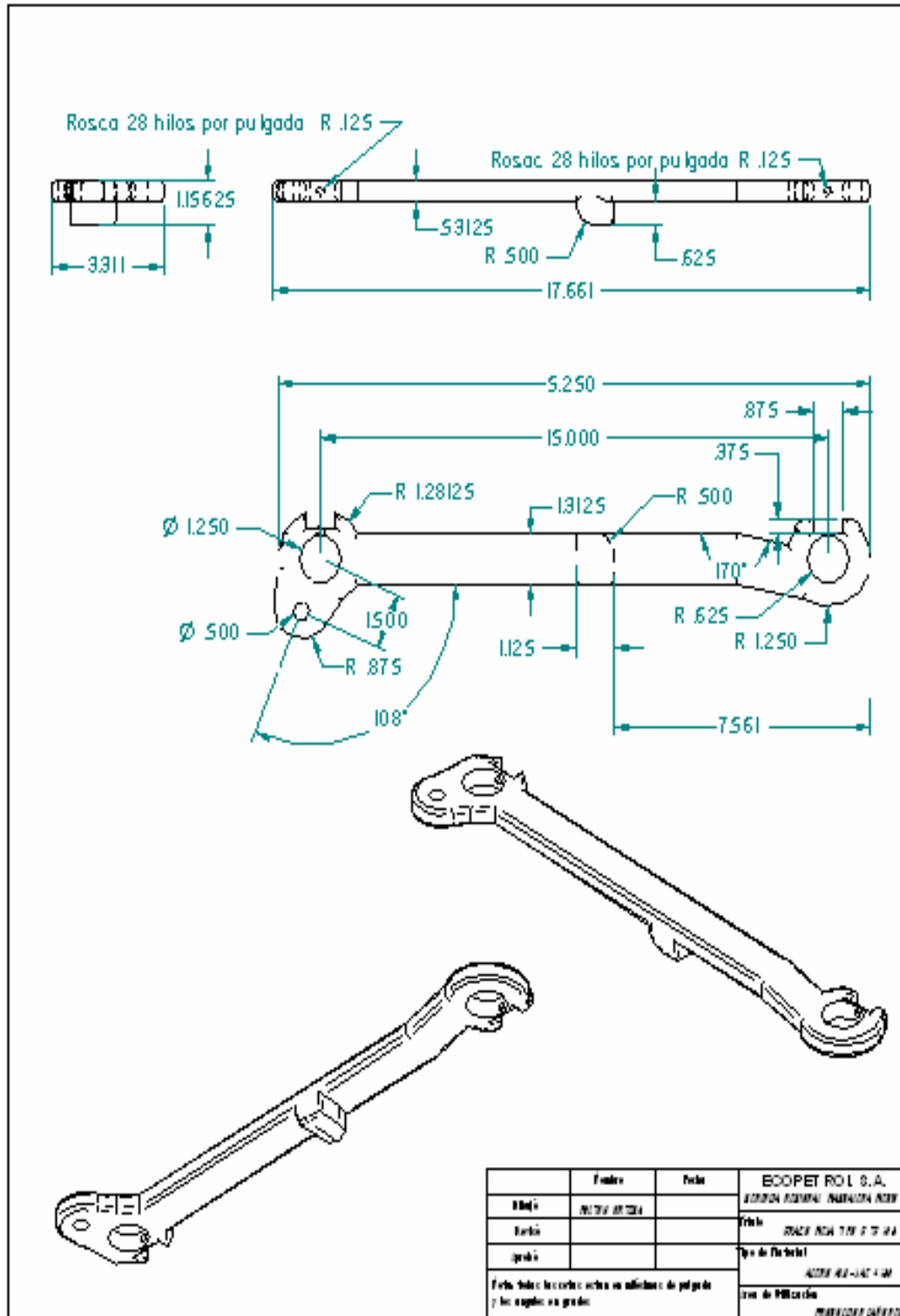


Figura 62. Plano brazo de levante mesa tb 103



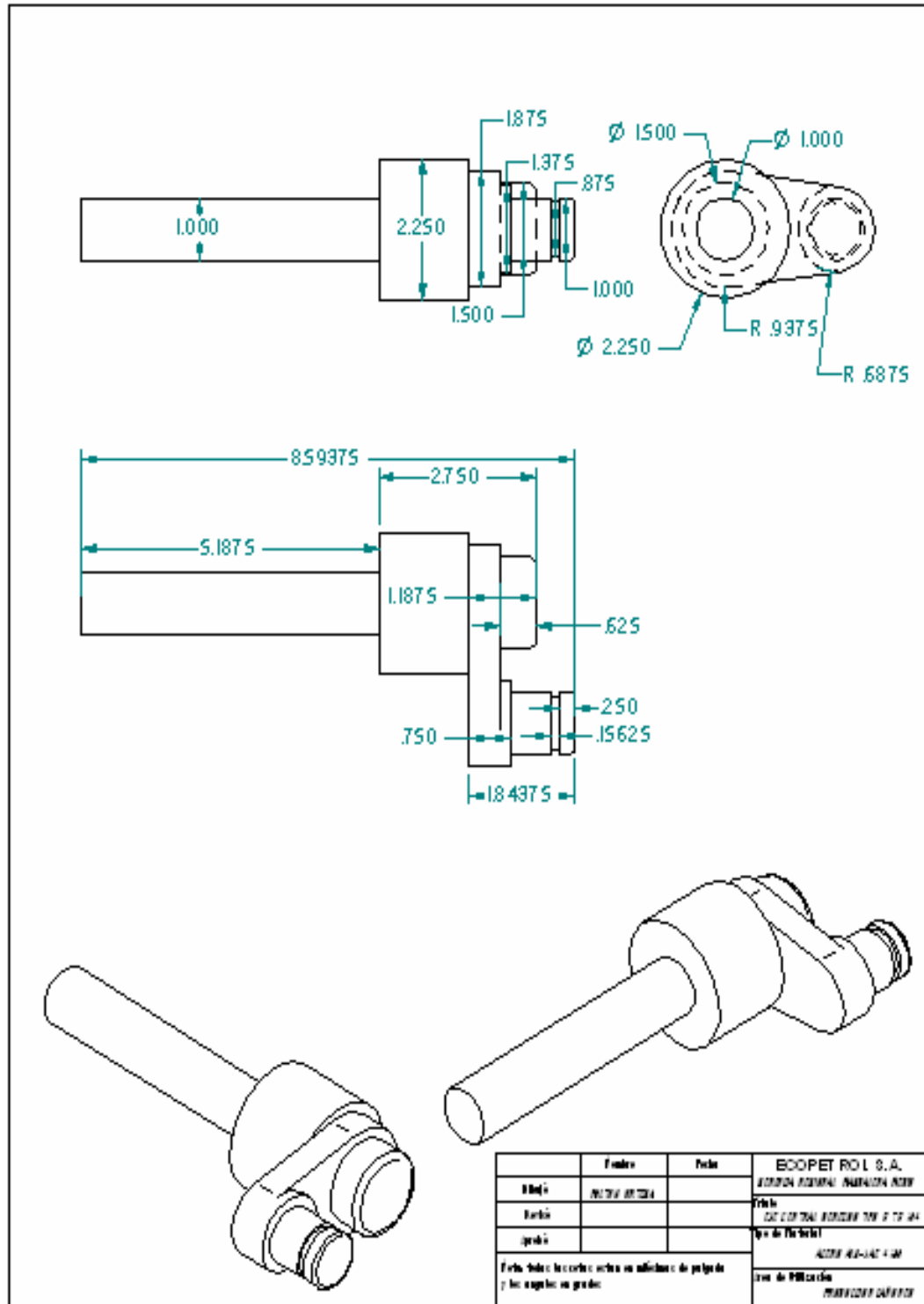


Figura 64. Plano Brazo tb 104

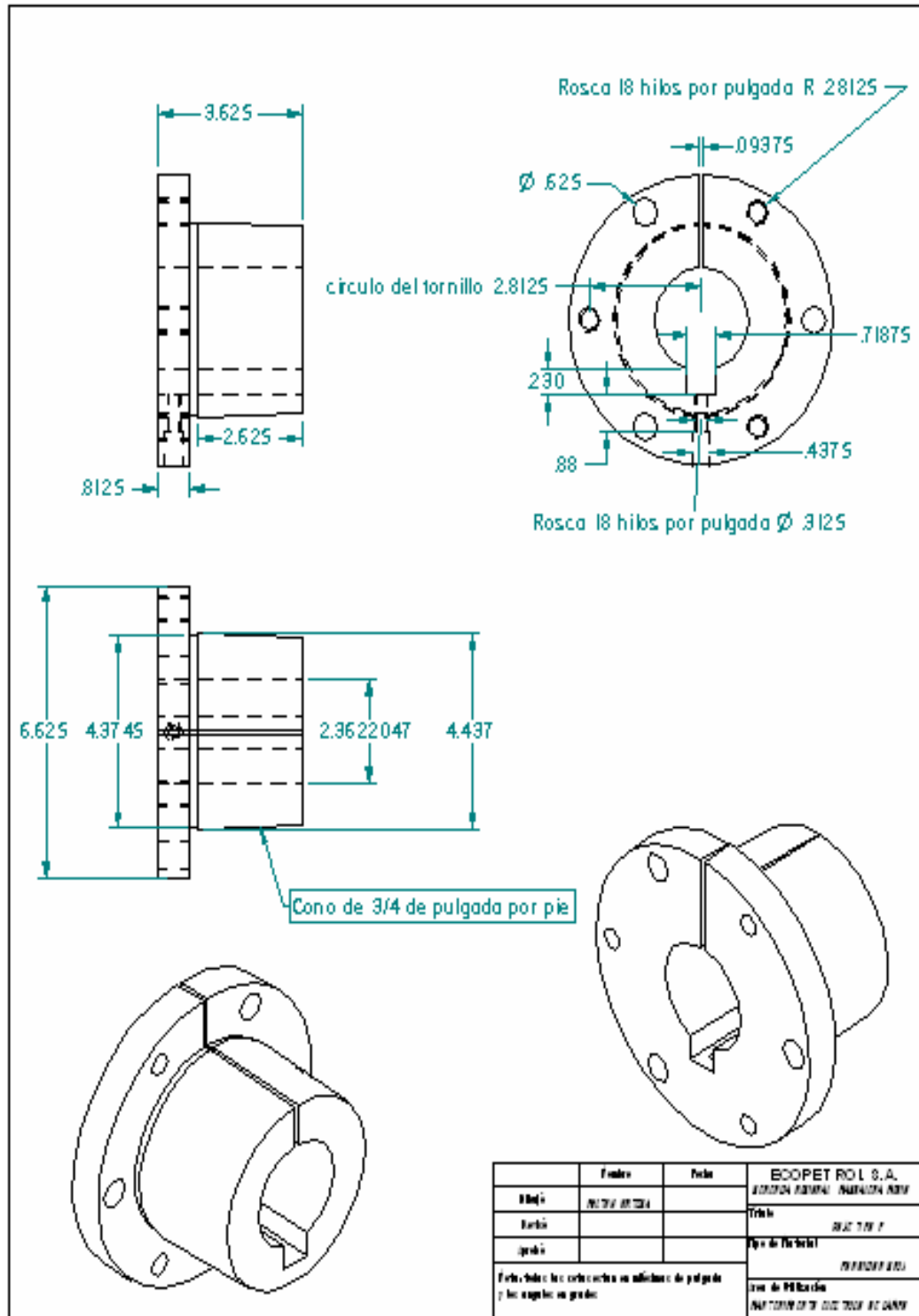


Figura 65. Plano buje tf

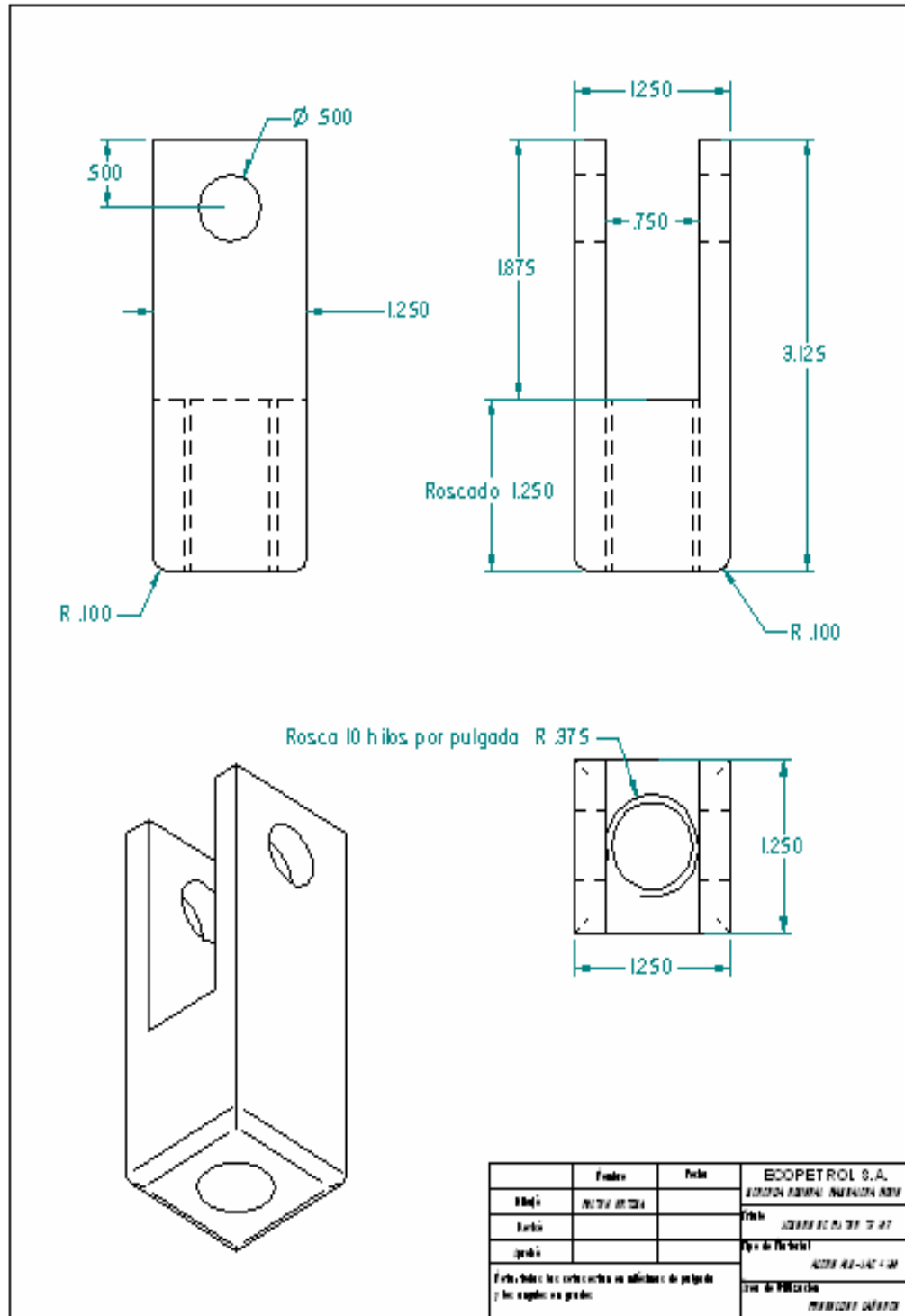


Figura 66. Caja de amarre

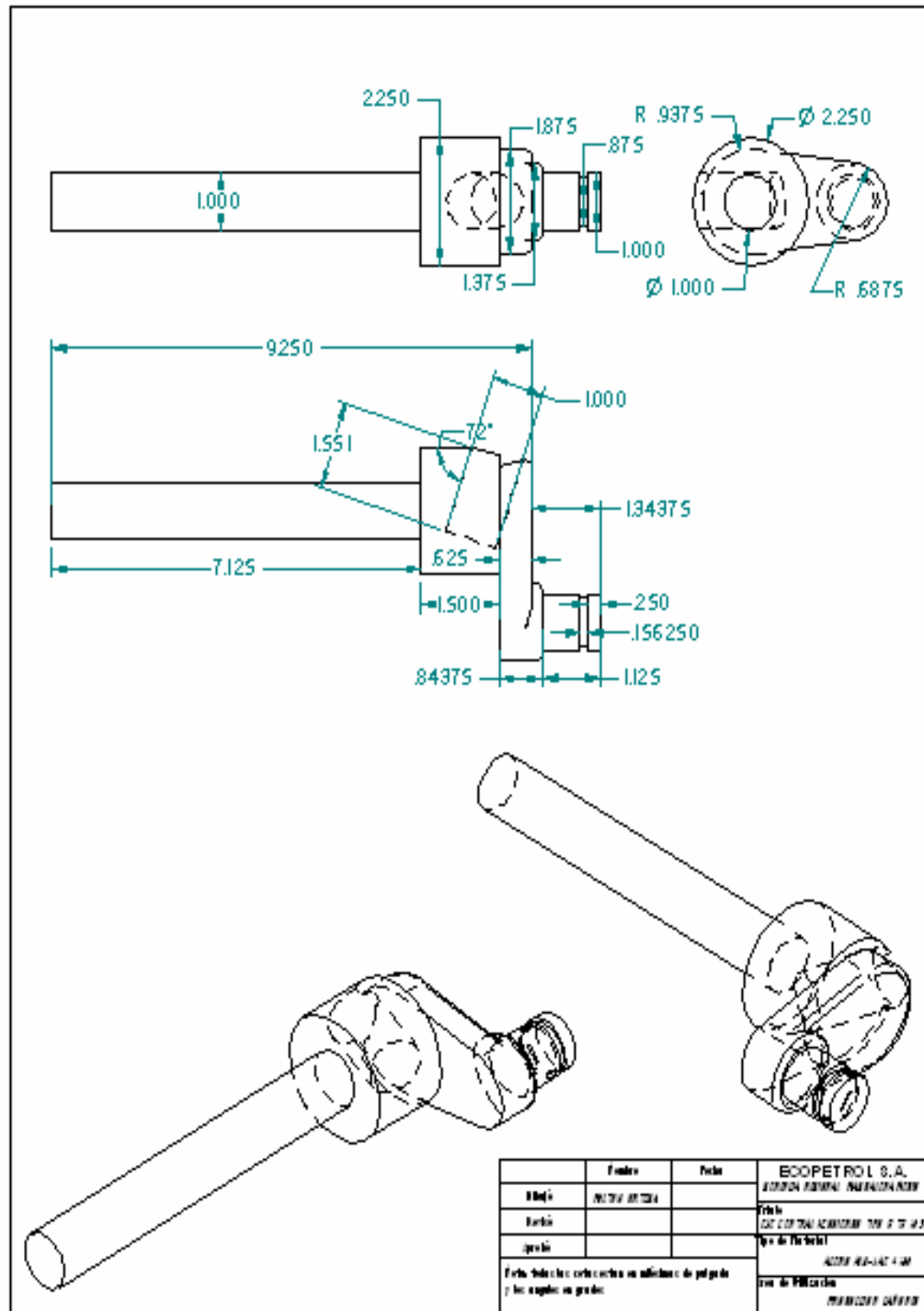


Figura 67. Plano eje central izquierdo tipo b 105

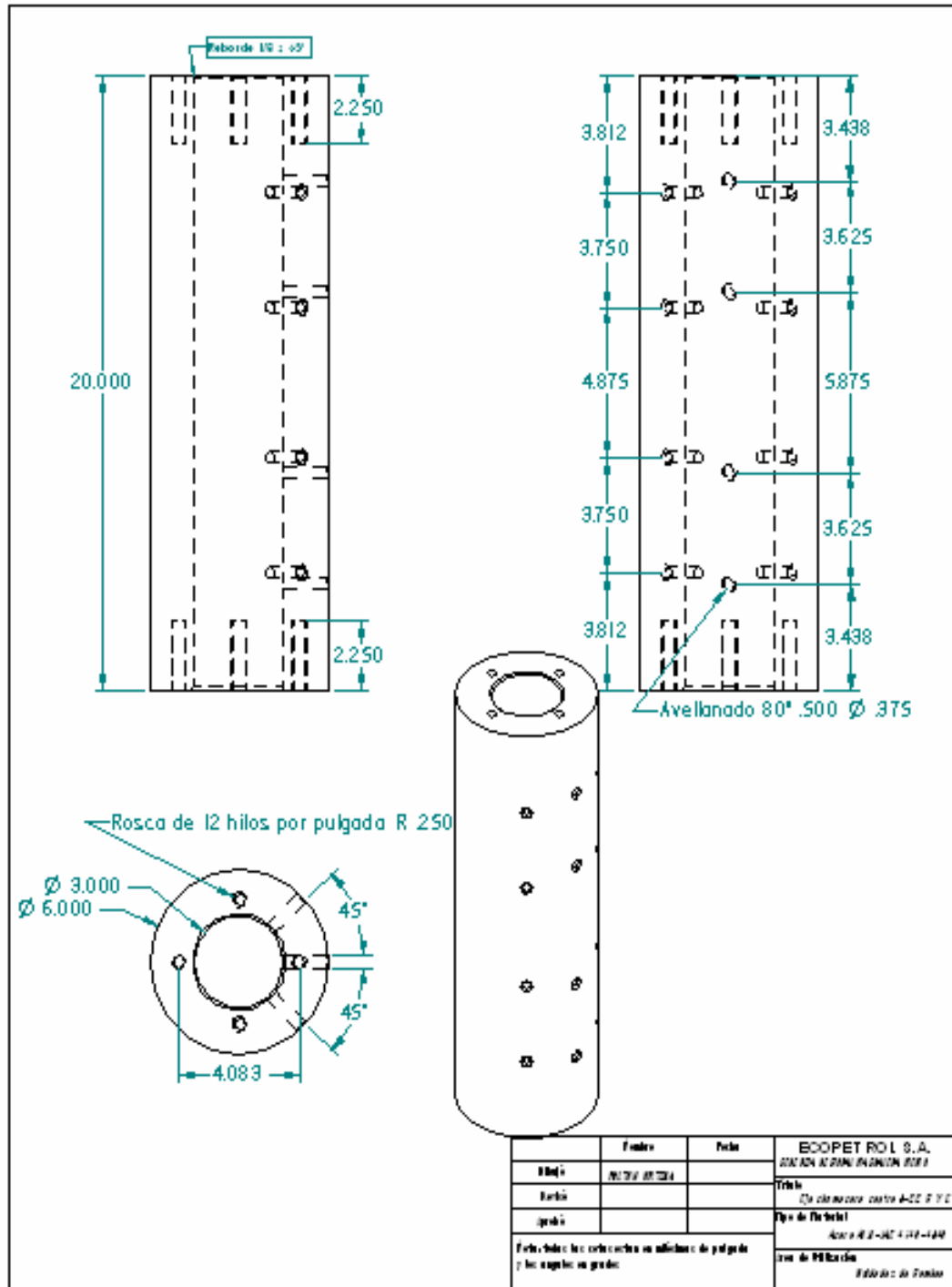


Figura 68. Plano eje chumacera de centro 3-22b



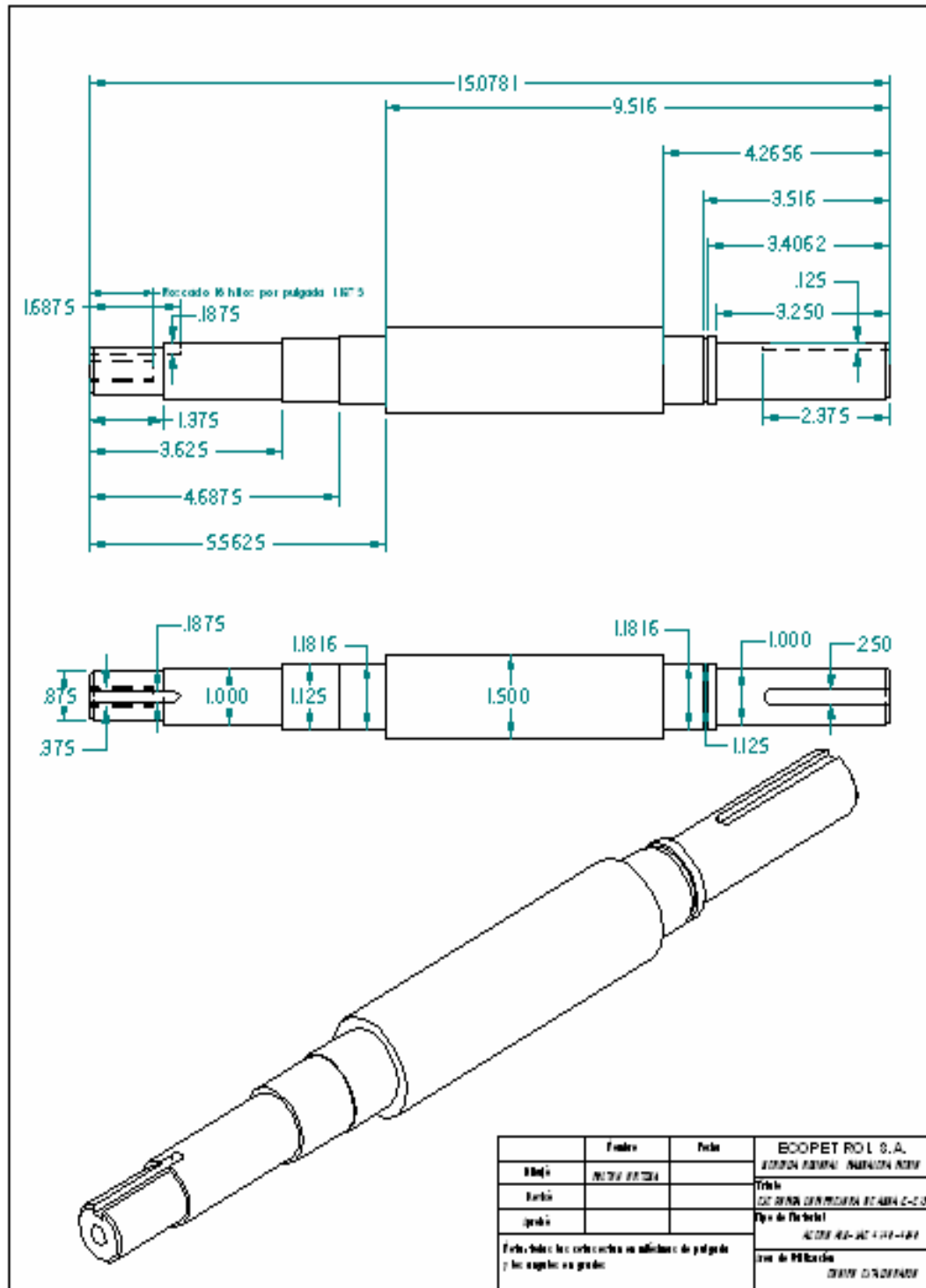


Figura 70. Plano eje ventilador Ilanito

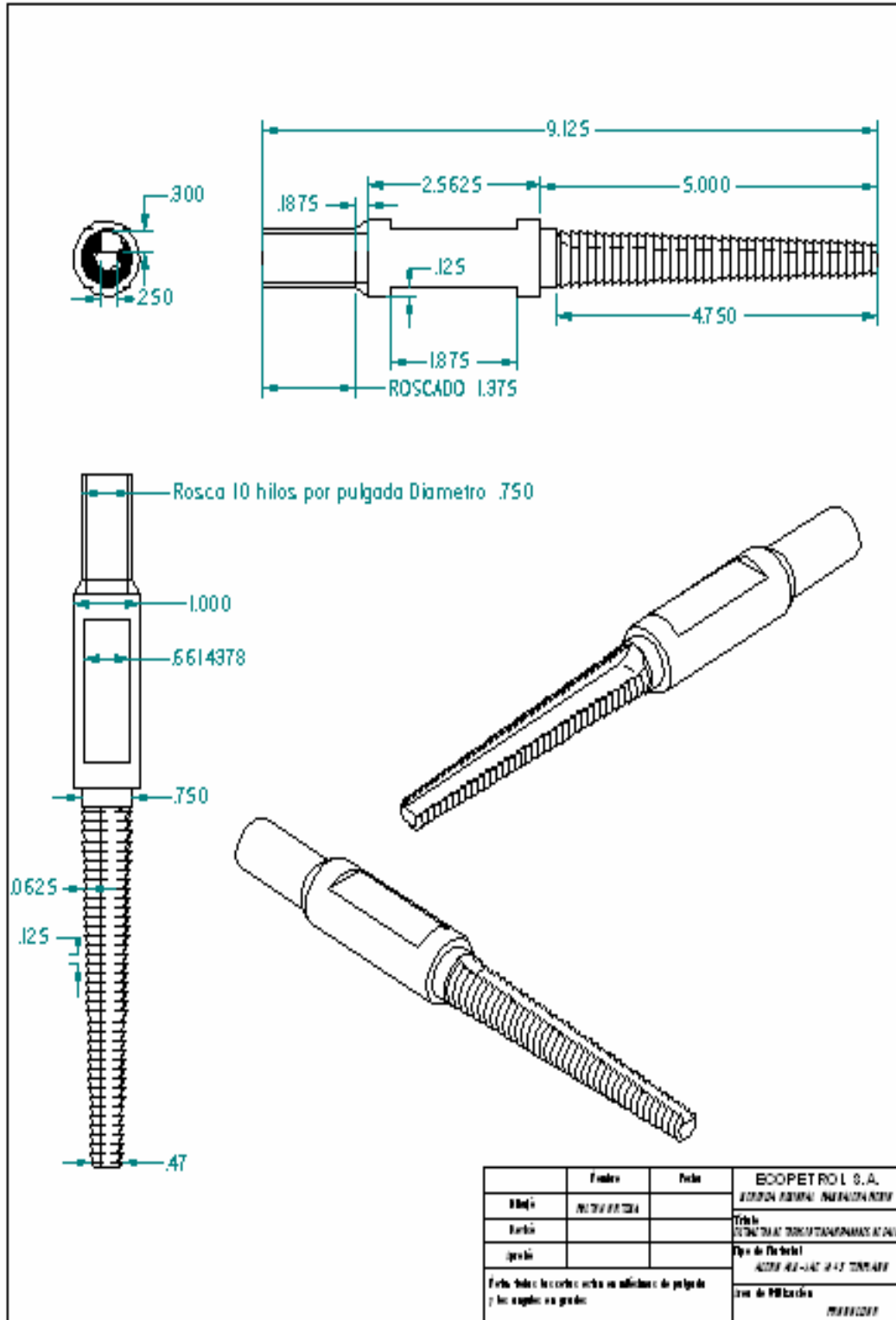


Figura 71. Plano extractor

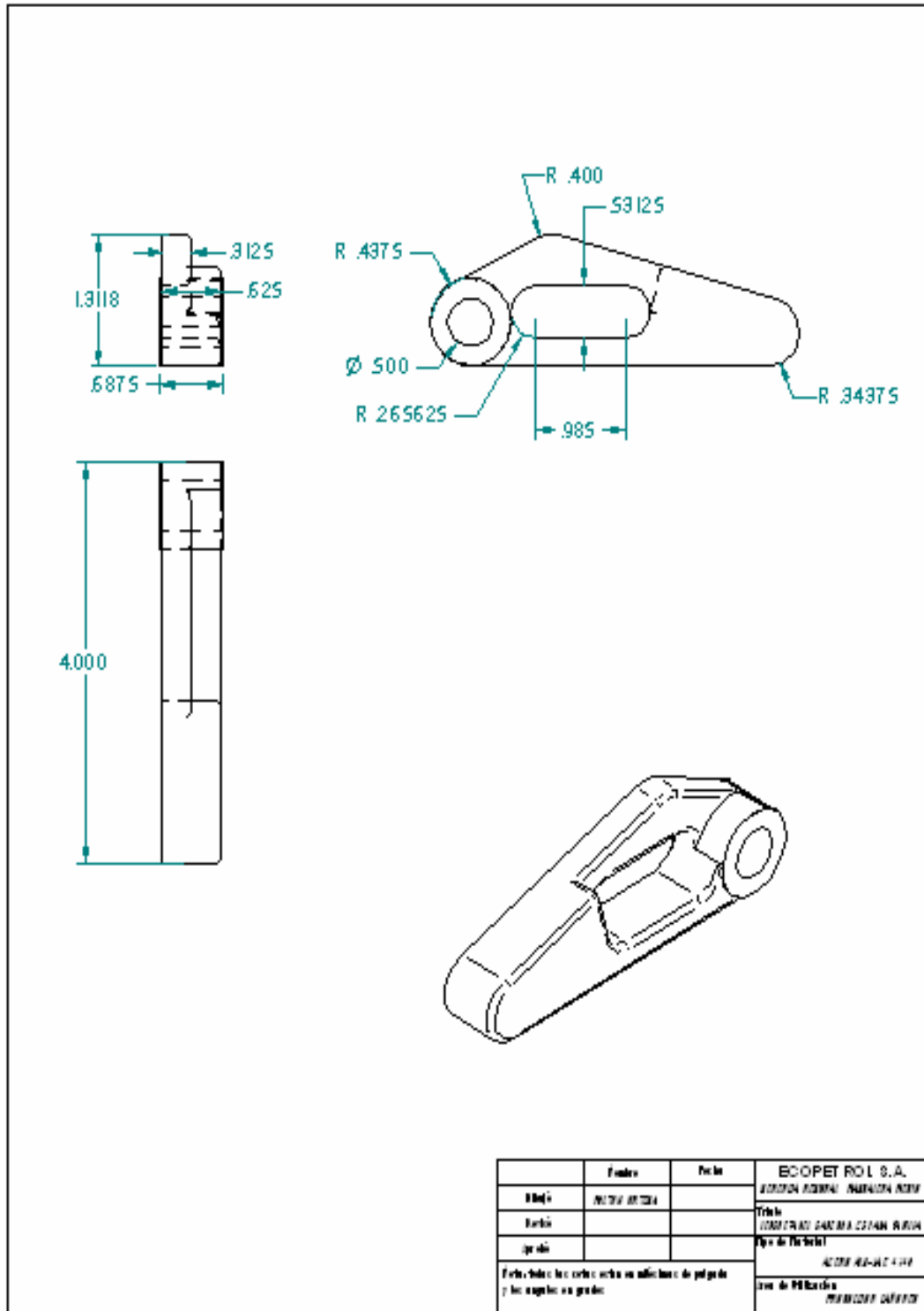


Figura 72. Plano de la lengüeta

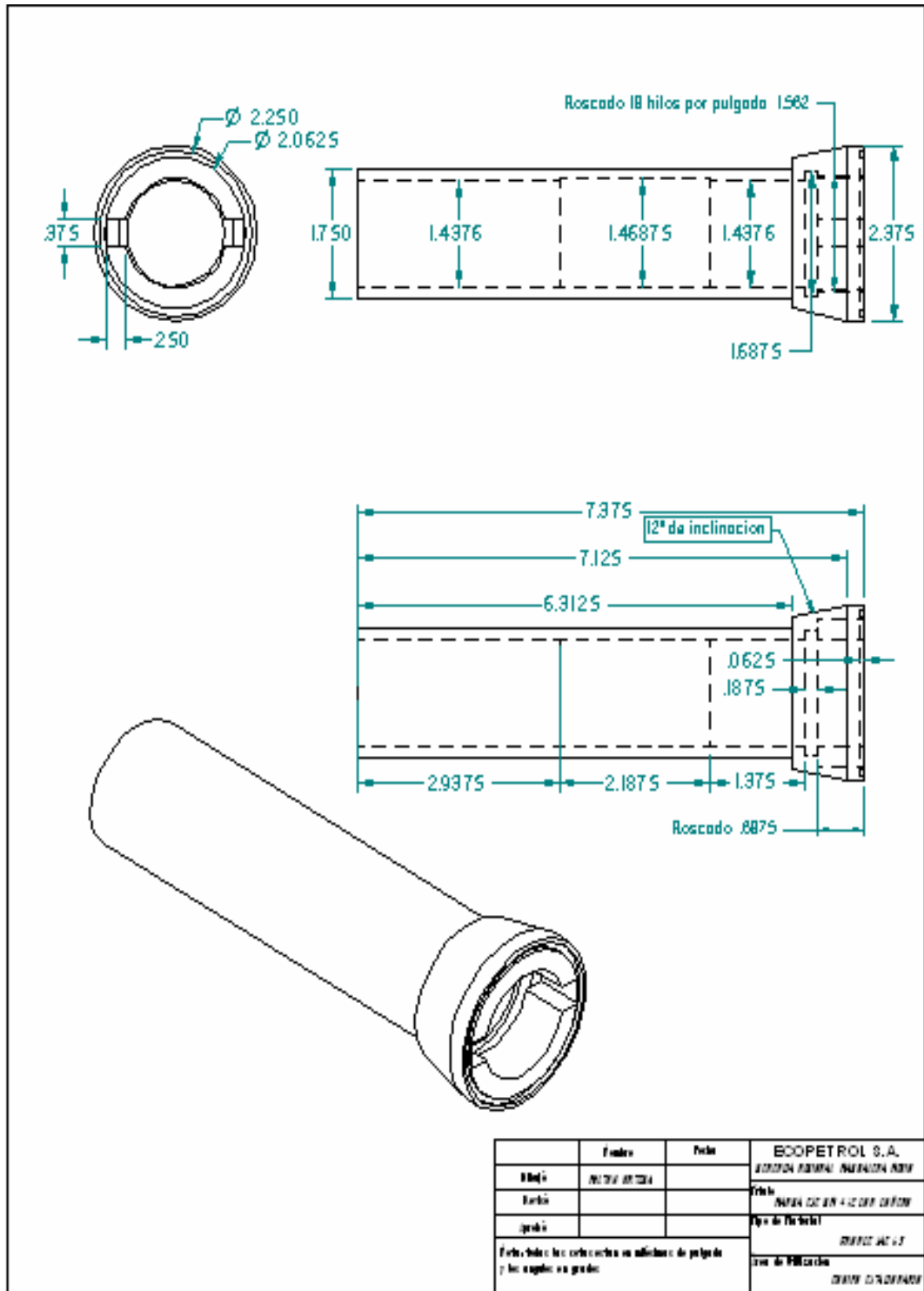


Figura 73. Plano de manga

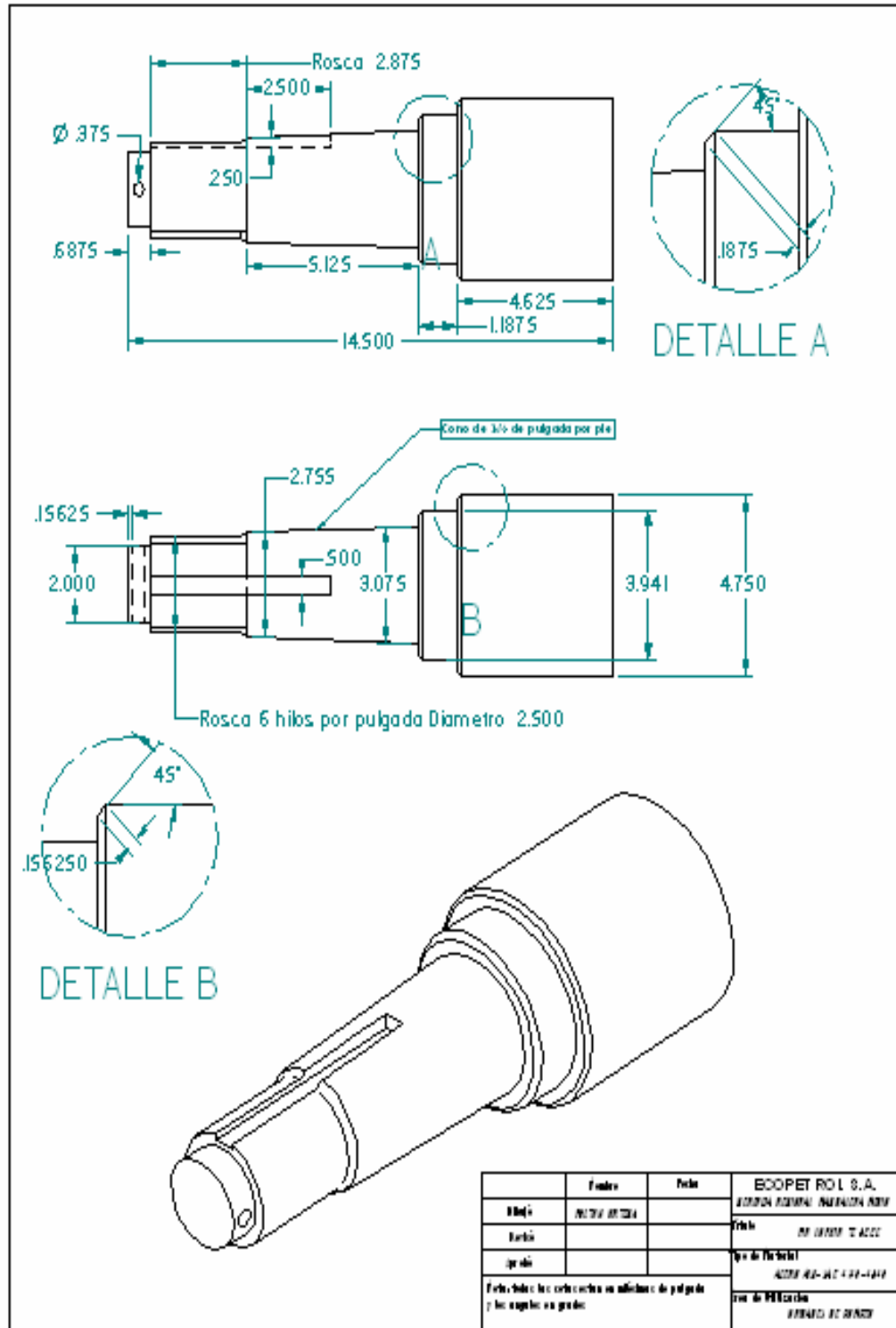


Figura 74. Plano de pin lufkin tc 3-22 c

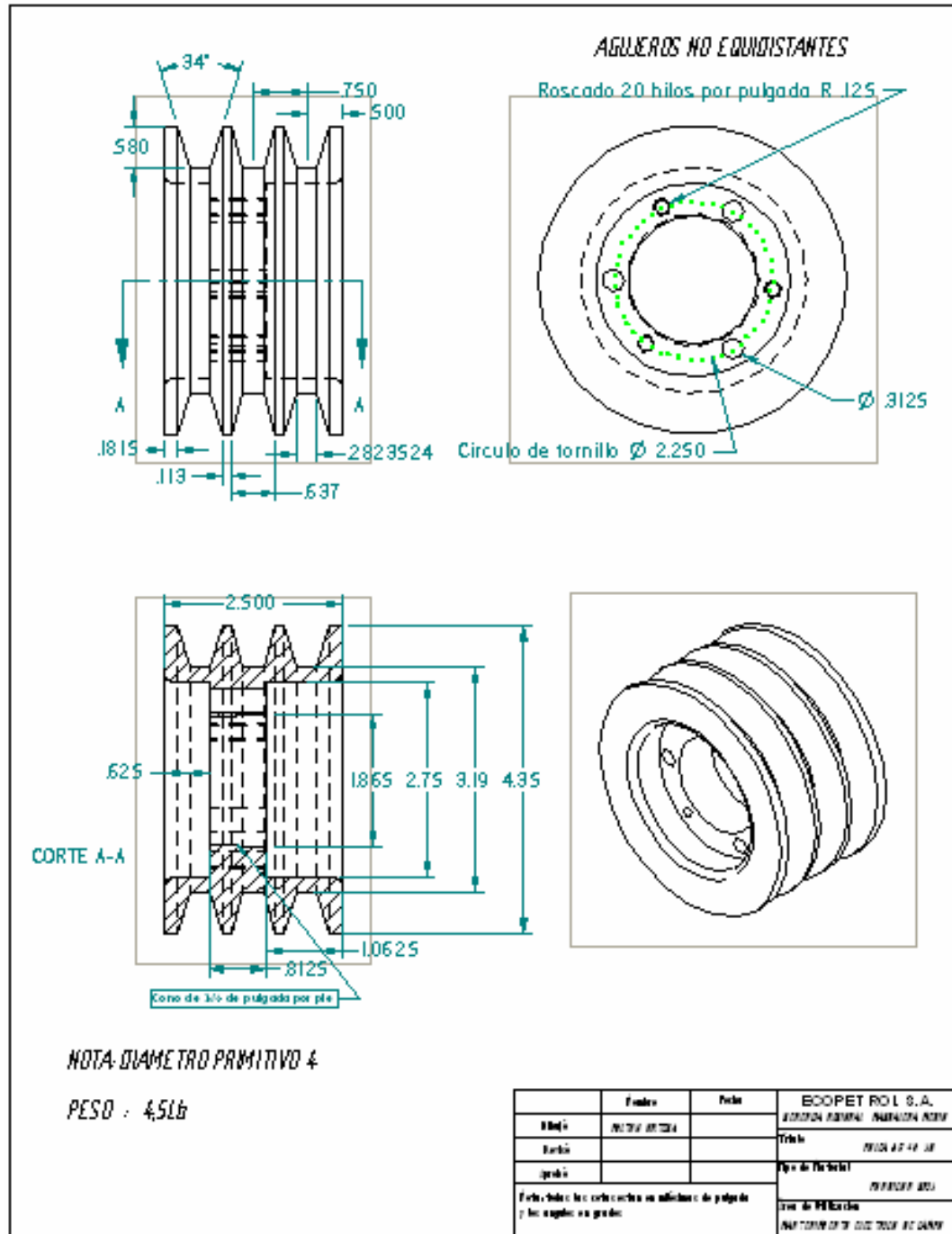


Figura 75. Plano polea hb