

7-UES:

1503

A367d

2000

Ej. 2

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
INGENIERÍA MECÁNICA



“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA
PRUEBAS DE TORSIÓN ESTÁTICA ”

PRESENTADO POR:

ELMER ALBERTO ALEMÁN PINEDA

JOSE NELSON RIVAS APARICIO

PARA OPTAR AL TÍTULO DE :
INGENIERO MECÁNICO

15100758
157

CIUDAD UNIVERSITARIA, OCTUBRE DEL 2000



4881

Recibido 6/10/2000



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTORA

:

DRA. MARÍA ISABEL RODRÍGUEZ

SECRETARIA GENERAL :

LICDA. LIDIA MARGARITA MUÑOZ VELA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO

:

ING. ALVARO ANTONIO AGUILAR ORANTES

SECRETARIO

:

ING. SAÚL ALFONSO GRANADOS



ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

DIRECTOR

:

ING. JOSÉ FRANCISCO ZULETA MORATAYA

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**Trabajo de Graduación previo a la opción de:
INGENIERO MECÁNICO**

Título :
**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MAQUINA PARA PRUEBAS DE
TORSIÓN ESTÁTICA”**

Presentado por :
**ELMER ALBERTO ALEMÁN PINEDA
JOSÉ NELSON RIVAS APARICIO**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Coordinador :
ING. SATURNINO GAMEZ GUADRON

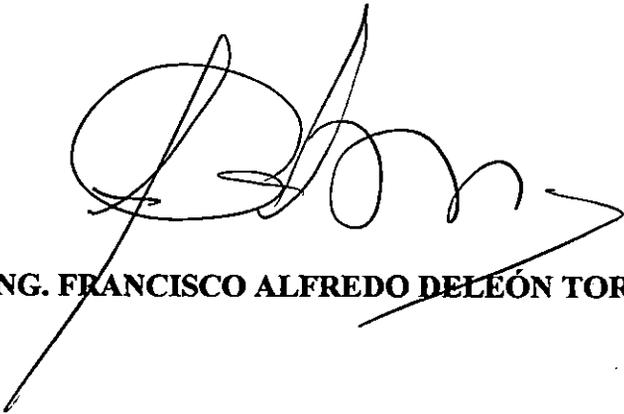
Asesores :
ING. FRANCISCO ALFREDO DELEÓN TORRES

San Salvador, Octubre del 2000

Trabajo de graduación aprobado por:



Coordinador : *Saturnino Gámez Guadron*
ING. SATURNINO GÁMEZ GUADRON

Asesor : 
ING. FRANCISCO ALFREDO DELEÓN TORRES

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro máximo y sincero agradecimiento a los ingenieros: Saturnino Gámez y Francisco De León; por creer en nosotros, hacernos las observaciones en el momento preciso e impulsarnos hasta la finalización del proyecto.

Elmer y Nelson

Dedico este Trabajo a:

Dios, por darme sabiduría y estar siempre con migo.

Mis Padres, por el apoyo y confianza puesta en mi superación.

Mi Esposa, por sus palabras de aliento y estar a mi lado apoyándome en los momentos más difíciles de mi carrera .

Mis Hermanos, por su interés puesto en mi carrera.

Mi demás familia, por su apoyo incondicional.

Mis Amigos, por su ayuda y estímulos de seguir adelante.

Elmer

Dedico este Trabajo a:

Dios Todopoderoso, por guiarme en mi vida.

Mi padre : Misael Rivas, por creer en mi e impulsarme a seguir adelante en todo momento.

Mi Madre (Q. E. P. D.) : Rosa E. Aparicio, por haber sido el pilar fundamental de mi educación e inculcarme buenos principios.

Mis Hermanos: Reina, Misael, Fidel Angel, María Luisa, Jorge Mario, Ana Elsis y Esmelin; por su apoyo incondicional.

Mis Tios, Primos, Familia y Amigos: Por su apoyo ofrecido.

José Nelson

INDICE.-

CAPITULO I

FUNDAMENTACION TEORICA SOBRE CARGAS DE TORSION.-

1.1	Introducción.....	1
1.2	Deformaciones Elásticas en Árboles de Sección Transversal Circular.....	5
1.3	Esfuerzo Cortante.....	7
1.3.1	Relación entre Torque T y el Esfuerzo Cortante τ	9
1.4	Deformaciones Plásticas en Árboles de Sección Transversal Circular.....	11
1.5	Estado de Esfuerzos de un Árbol sometido a Torsión.....	16
1.5.1	Esfuerzos Principales.....	17
1.6	Energía de Deformación en la Torsión.....	20
1.7	Naturaleza de la Falla.....	23
1.7.1	Fractura de Materiales Frágiles.....	24
1.7.2	Fractura de Materiales Dúctiles.....	27
1.7.3	Comportamiento de Materiales en Torsión.....	30
1.8	Ejemplos de Sistemas Mecánicos que involucran Cargas Torsionales.....	31
1.9	Teorías de Falla de los Materiales sometidos a Carga Estática.....	34
1.9.1	Teoría del Esfuerzo Normal Máximo.....	34
1.9.2	Teoría del Esfuerzo Cortante Máximo.....	36
1.9.3	Teoría de la Energía de la Distorsión.....	37

CAPITULO II

ENSAYOS DE TORSION ESTATICA

2.1 Descripción del Ensayo de Torsión.....	40
2.2 Diagrama Esfuerzo - Deformación de Corte.....	40
2.3 Propiedades Determinadas a partir del Ensayo de Torsión....	43
2.3.1 Procedimiento General de Realización del Ensayo.....	45
2.3.2 Errores en la Realización del Ensayo.....	46
2.4 Tipos de Máquinas para Ensayos de Torsión.....	47
2.4.1 Máquina Amsler.....	48
2.4.2 Máquina Riehle.....	49
2.4.3 Máquina TecQuipment.....	50
2.4.4 Máquina Tinius Olsen.....	53
2.4.5 Características de las Máquinas para Ensayos de Torsión.....	56
2.5 Probetas para el Ensayo de Torsión.....	57
2.5.1 Naturaleza de la falla por Torsión.....	58
2.5.2 Preparación de Probetas para el Ensayo de Torsión....	60
2.5.3 Fabricación de Probetas.....	61
2.6 Normalización de la Prueba de Torsión Estática.....	63
2.6.1 Selección de Probeta.....	64

CAPITULO III

ANALISIS Y DISEÑO DE LA MAQUINA DE TORSION ESTATICA

3.1 Generalidades del Diseño.....	66
3.1.1 Componentes de la Máquina de Torsión Estática.....	66
3.1.2 Determinación de la Capacidad de la Máquina.....	68
3.2 Diseño del Sistema de Aplicación de Carga.....	70

3.2.1	Diseño del Sistema: Engrane / Tornillo sinfín.....	71
3.2.1.1	Simbología del Conjunto de Engranaje de Sinfín.....	71
3.2.1.2	Geometría de Tornillo Sinfín y Engrane Helicoidal.....	73
3.2.1.3	Ecuaciones Cinemáticas del Conjunto de Engranaje de Sinfín.....	74
3.2.1.4	Parámetros de Diseño para la Geometría del Conjunto de Engranaje de Sinfín.....	78
3.2.1.5	Esfuerzo en los Dientes del Conjunto de Engranaje de Sinfín.....	80
3.2.1.6	Sistema de Fuerzas en el Conjunto de Engranaje de Sinfín.....	80
3.2.2	Selección de Manivela del Tornillo sinfín.....	82
3.3	Diseño del Eje de Engrane.....	84
3.3.1	Análisis de Fuerzas.....	86
3.3.2	Análisis de Esfuerzos en el Eje.....	87
3.3.2.1	Determinación del Punto más Crítico.....	89
3.4	Diseño del Eje de Mordaza Fija.....	96
3.5	Diseño de Sistema de Sujeción de la Probeta.....	96
3.5.1	Diseño de Porta mordazas.....	97
3.5.2	Diseño de Mordazas.....	98
3.6	Diseño del Tornillo de Avance y su Manivela.....	100
3.7	Diseño de Caja de Engranés.....	104
3.8	Diseño de Soporte Fijo.....	106
3.9	Selección de Rodamientos.....	107
3.9.1	Selección de Rodamientos del Tornillo Sinfín.....	108

3.9.2	Selección de Rodamientos del Eje de Engrane.....	110
3.9.3	Selección de Rodamiento del Eje de Soporte Fijo.....	111
3.9.4	Selección de Rodamientos del Tornillo de Avance.....	111
3.10	Diseño y Selección del Sistema de Medición de Carga.....	111
3.10.1	Diseño de la Palanca de Fuerza.....	112
3.10.2	Selección del Medidor de Fuerza.....	114
3.11	Diseño y Selección del Sistema de Medición de Deformación.	115
3.12	Diseño de la Estructura de la Máquina.....	119
3.13	Acabados Superficiales.....	119

CAPITULO IV

PROCESO CONSTRUCTIVO, MANUAL DE MANTENIMIENTO Y DE OPERACION.

4.1	Descripción de los Procesos Constructivos.....	121
4.1.1	Hojas de Proceso de Fabricación.....	123
4.2	Proceso de Fabricación de la Probeta.....	140
4.3	Manual de Mantenimiento.....	142
4.3.1	Tareas Generales de Mantenimiento de Máquinas.....	142
4.3.2	Tareas de Inspección y Servicios de la Máquina.....	147
4.3.3	Recomendaciones Generales.....	152
4.4	Manual de Operación.....	153
4.4.1	Revisión de la Probeta a Ensayar.....	153
4.4.2	Instalación del Torsiómetro para la Medición de la Deformación en el Rango Elástico.....	154
4.4.3	Montaje de la Probeta y Torsiómetro en la Máquina....	154
4.4.4	Medición de la Carga y Deformación.....	155
4.4.5	Ruptura de la Probeta.....	155
4.5	Guía de Laboratorio.....	157

CAPITULO V

PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.-

5.1	Generalidades.....	166
5.2	Desarrollo de las Pruebas.....	167
5.3	Preparación de las Probetas.....	168
5.4	Resultados Obtenidos.....	169
5.4.1	Resultados Obtenidos para el Acero AISI 1020.....	169
5.4.2	Resultados Obtenidos para el Acero AISI 1045.....	170
5.5	Análisis de los Resultados.....	170
5.6	Tablas y Gráficas de los Resultados.....	174
5.7	Recomendaciones.....	196
5.8	Conclusiones.....	197
	Bibliografía.....	199

ANEXOS

ANEXOS A

TABLAS:

A-1.-	Ángulos de presión y tamaños de dientes recomendados para engranajes.....	202
A-2.-	Propiedades mecánicas del hierro y del acero.....	202
A-3.-	Esfuerzos admisibles para utilizarse en el análisis de ruedas de engranes.....	203
A-4.-	Características y propiedades mecánicas a la tensión de algunos aceros rolados en caliente (HR) y estirados en frío (CD).....	203
A-5.-	Propiedades Mecánicas del Acero AISI 1045.....	204

A-6.- Constantes elásticas y físicas de materiales.....	205
A-7.- Propiedades mecánicas del hierro colado gris.....	205

ANEXOS B

FIGURAS:

B-1.- Nomenclatura de un engranaje de tornillo sinfín de Envolvente simple.....	206
B-2.- Sinfín ó gusano de Casco o cilindro.....	206
B-3.- Detalles de mecanismo de tornillo sinfín.....	206
B-4.- Barra circular con entalle circunferencial sometida a tensión.....	207
B-5.- Barra circular con entalle circunferencial sometida a torsión.....	207
B-6.- Barra circular con entalle circunferencial sometida a Flexión.....	207
B-7.- Barra circular con agujero transversal sometida a Torsión.....	207
B-8.- Propiedades geométricas.....	207

ANEXOS C

Planos.....	208
-------------	-----

INTRODUCCIÓN

La experimentación es una de las mejores formas de fortalecer la investigación. Solo experimentando es posible comprobar los datos teóricos, descubrir propiedades de nuevos materiales y generar bases de datos que den el soporte de las propiedades de los mismos.

El proyecto que en este libro se describe, tiene como principal objetivo, la construcción de una máquina para ensayos de torsión estática. Con esta máquina de ensayos, la Escuela de Ingeniería Mecánica dará soporte experimental a las investigaciones sobre propiedades de los materiales. Además, los estudiantes no tendrán necesidad de solicitar los servicios para realizar ensayos de torsión en máquinas de otras instituciones.

La información presentada está distribuida en cinco capítulos; los capítulos I y II contienen la fundamentación teórica sobre cargas y ensayos de torsión estática; el capítulo III contiene el análisis y diseño de cada uno de los elementos de la máquina; en el capítulo IV se hace una descripción de los procesos de fabricación y se presenta, además, el manual de mantenimiento y operación de la máquina, por último en el capítulo V se presentan las pruebas y análisis de resultados.

CAPITULO I
FUNDAMENTACION TEORICA SOBRE CARGAS DE
TORSION

1.1.- Introducción.

Con el objeto de establecer una teoría sencilla que describa el comportamiento de árboles sometidos a torsión, resulta necesario hacer las siguientes suposiciones básicas:

- 1.- Los materiales a analizar son homogéneos e isotrópicos.
- 2.- Los materiales se comportan elásticamente y satisfacen la ley de Hooke (en ciertas condiciones), en cuanto a que el esfuerzo cortante es proporcional a la deformación por corte.
- 3.- El esfuerzo no excederá el límite de proporcionalidad.
- 4.- Las secciones circulares permanecen circulares al ser cargadas a torsión; tampoco se alabean.
- 5.- Las secciones circulares transversales, al cargarse en torsión giran como si fueran rígidas mientras son torsionadas, es decir, cada línea radial gira el mismo ángulo.

Las suposiciones 4 y 5, son válidas en la zona de proporcionalidad. Se considera también necesario, en esta sección, presentar algunas leyes y conceptos fundamentales de resistencia de materiales, como los siguientes:

- Ley de Hooke para Esfuerzos y Deformaciones Axiales.

Para valores de esfuerzo normal que no exceden el límite de proporcionalidad a carga axial, para cualquier material homogéneo e isotrópico, se establece la siguiente relación.

$$\sigma = E \varepsilon ; \quad (1.1)$$

Donde:

σ , es el esfuerzo normal expresado en pascales (Pa).

E , es la constante de proporcionalidad, también llamada módulo de elasticidad o módulo de Young; se expresa en Pascales (Pa).

ε , es la deformación por carga axial, es adimensional.

- Ley de Hooke para Esfuerzo y Deformaciones Cortantes.

De forma similar, para valores de esfuerzo cortantes que no exceden el límite de proporcionalidad a cortante, para cualquier material homogéneo e isotrópico, se puede escribir la siguiente relación:

$$\tau = G \gamma ; \quad (1.2)$$

Donde:

τ , es el esfuerzo cortante expresado en pascales.

G , es la constante de proporcionalidad, llamada también módulo de rigidez o módulo de corte del material, se expresa en pascales.

γ , es la deformación por cortante, se expresa en radianes.

- Coeficiente de Poisson (ν).

Un fenómeno que se presenta en los materiales homogéneos e isotrópicos, es que la deformación axial se relaciona con la transversal para una carga determinada; por ejemplo, si un material se alarga longitudinalmente al ser cargado axialmente, la dimensión

perpendicular a la dirección de la carga se verá reducida. Matemáticamente el coeficiente se expresa: $\nu = e_y / e_x = e_y / e_z$

- Relación entre E, ν y G.

La relación entre el módulo de elasticidad E, la relación de Poisson ν y el módulo de rigidez G, pueden expresarse mediante la siguiente relación:

$$G = E / (2(1 + \nu)) ; \quad (1.3)$$

- Carga Torsionante ó Par (T).

Una de las formas de aplicación de cargas que producen condiciones de corte en el ensayo de materiales, es aquella en la cual las fuerzas aplicadas son paralelas y opuestas, pero no yacen en un plano que contenga el eje longitudinal del cuerpo; aquí se establece un par que produce una torsión alrededor de un eje longitudinal. Esta acción de rotación en una sección de un cuerpo con respecto a una sección contigua es denominada Torsión. La Fig. 1.1, representa una pieza de eje sometida a un torque. Los esfuerzos cortantes de torsión sobre secciones transversales circulares varían desde cero en el eje de torsión hasta un máximo en las fibras extremas. Si no se presenta flexión alguna, existe "esfuerzo de corte puro".

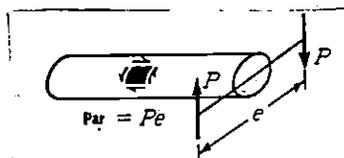


Fig. 1.1.- Esfuerzo de corte producido por carga torsionante.

En cualquier punto de un cuerpo esforzado, los esfuerzos de corte τ en cualquiera de dos direcciones mutuamente perpendiculares son iguales en magnitud. Si sobre algún par de planos en un punto, solamente esfuerzos de corte actúan, el material en ese punto se dice que está en "corte puro". Estos cortes son mayores que aquellos sobre cualquier otro plano a través del punto.

- Deformación por cortante (γ).

La deformación que acompaña al corte puede considerarse que proviene del esfuerzo de las delgadas tiras paralelas de un cuerpo por deslizarse una sobre otras. La deformación por cortante es una función del cambio de ángulo entre los lados adyacentes de un bloque elemental al distorsionarse bajo esfuerzos cortantes, como se ilustran en la figura 1.2a. El cambio total del ángulo se representa más convenientemente por medio de un diagrama como el de la figura 1.2b, en el cual puede advertirse que la deformación por cortante es la tangente de la distorsión angular. Sin embargo, dentro del rango de resistencia elástica de los materiales usados, las deformaciones por cortante son pequeñas y el ángulo comúnmente se expresa en radianes.

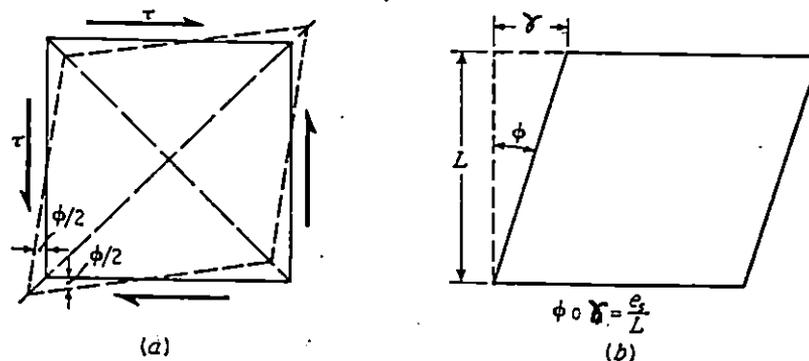


Fig. 1.2.- Deformación por corte.

1.2.- Deformaciones Elásticas en Árboles de Sección Transversal

Circular.

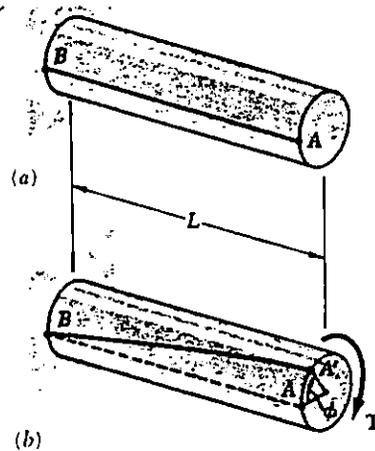


Fig. 1.3.- Árbol sometido a un Momento de Torsión.

Considerando un árbol circular, unido a un extremo fijo (ver fig. 1.3). Si un momento de torsión T , se aplica en el otro extremo (en la región proporcional), el eje quedará sometido a torsión y el extremo libre rotará un ángulo ϕ llamado Ángulo de Torsión.

Puede comprobarse experimentalmente que, dentro de cierto intervalo de valores de T , el ángulo de torsión ϕ , es proporcional a T y a la longitud del árbol.

Para determinar la distribución de las deformaciones de corte en un árbol circular de longitud L y radio c que ha girado un ángulo ϕ ; se procederá de la siguiente forma:

Separando del árbol (fig. 1.4a), un cilindro de radio ρ (fig. 1.4b); considerando un elemento pequeño, cuadrado, formado por dos

círculos adyacentes y dos líneas rectas adyacentes trazadas en la superficie del cilindro antes de aplicar la carga de torsión (ver fig. 1.4b).

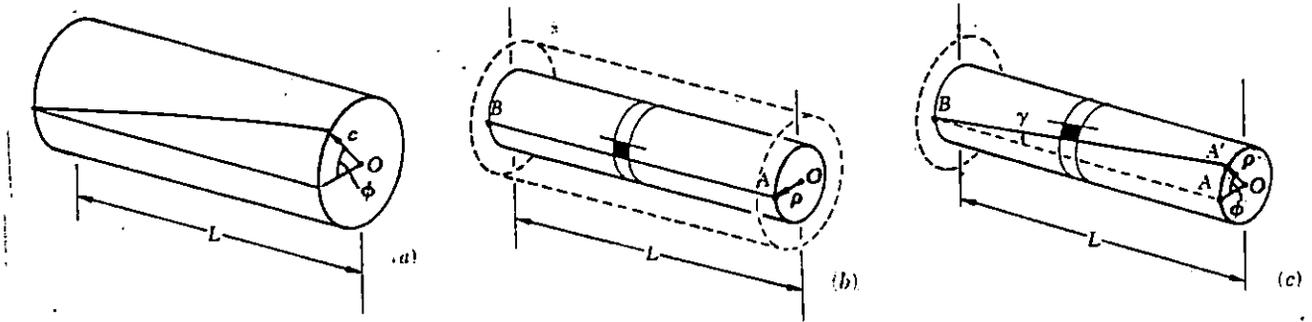


Fig. 1.4.- Deformaciones en un Árbol sometido a Torsión.

Como el árbol está sometido a carga torsional, el elemento se transforma en un rombo (ver fig. 1.4c). Recordando que la deformación de corte γ en un elemento dado, se mide según el cambio de los ángulos formados por los lados del elemento. Como los círculos que definen dos de los lados del elemento permanecen inalterados, la deformación de corte γ , debe ser igual al ángulo entre las líneas AB y A'B.

En la figura 1.4c, puede observarse que para pequeños valores de γ , la longitud del arco AA', puede expresarse como:

$$AA' = L \gamma$$

Pero geoméricamente también se cumple que:

$$AA' = \rho \phi, \text{ (ver fig. 1.4c).}$$

Igualando estas dos expresiones, se tiene:

$$L \gamma = \rho \phi$$

Despejando la deformación de corte γ

$$\gamma = \rho \phi / L ;$$

(1.4)

En ésta ecuación ϕ están expresado en radianes y ρ y L en metros.

La ecuación 1.4 muestra como se dijo antes, que la deformación de corte γ , en un punto dado del árbol sometido a torsión es proporcional al ángulo de torsión ϕ . También muestra que γ es proporcional a la distancia ρ desde el eje del árbol hasta el punto considerado e inversamente proporcional a L . En otras palabras, la deformación de corte de un árbol circular varía linealmente con la distancia al eje de dicho árbol.

Se deduce de la ecuación 1.4, que la deformación de corte es máxima en la superficie del árbol, en donde $\rho = c$; por lo que:

$$\gamma_{\max} = c \phi / L ; \quad (1.5)$$

Eliminando ϕ de las ecuaciones 1.4 y 1.5, la deformación de corte γ a una distancia ρ del eje del árbol, puede expresarse como:

$$\gamma = \rho \gamma_{\max} / c ; \quad (1.6)$$

1.3.- Esfuerzo Cortante.

Considerando el caso en que el momento de torsión T , es tal que los esfuerzos cortantes en un árbol permanecen por debajo de la resistencia de fluencia (τ_y). Como para propósitos prácticos, lo anterior implica que los esfuerzos en el árbol permanecerán por debajo del límite de proporcionalidad y del límite elástico; la ley de Hooke será aplicable y no habrá deformaciones permanentes.

De la ecuación 1.1 se tiene que,

$$\tau = G \gamma$$

Multiplicando por G ambos miembros de la ecuación 1.6.

$$G \gamma = \rho \quad G \gamma_{\max}/c$$

Pero,

$$G \gamma = \tau$$

Por lo tanto:

$$\tau = \rho \quad \tau_{\max}/c ; \quad (1.7)$$

La ecuación 1.7 muestra que, mientras el punto de fluencia o el límite de proporcionalidad no sea excedido en ninguna parte del eje circular, el esfuerzo cortante en el árbol varía linealmente con la distancia ρ , medida desde el eje del árbol. La figura 1.5a, muestra la distribución de esfuerzos en un árbol circular sólido de radio c ; en la figura 1.5b, la distribución de esfuerzos en un árbol hueco de radio interno c_1 y externo c_2 . Para el árbol hueco, de la ecuación 1.7 se tiene que:

$$\tau_{\min} = (c_1/c_2) \tau_{\max} ; \quad (1.8)$$

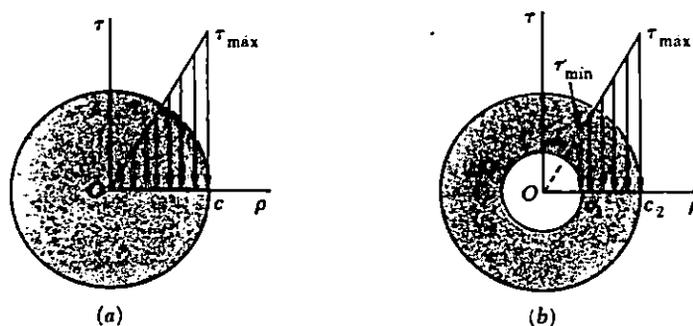


Fig. 1.5.- Distribución de esfuerzo en un árbol cargado a Torsión; (a) sólido y (b) hueco.

1.3.1.- Relación entre Torque T y el Esfuerzo Cortante τ .

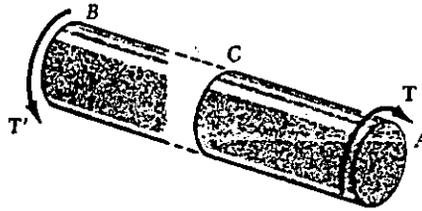


Fig. 1.6.- Árbol sometido a Torsión.

Considerando el árbol AB, sometido en A y B a momentos de torsión iguales y opuestos T y T' , haciendo un corte perpendicular al eje del árbol en el punto arbitrario C (ver figura 1.6). El diagrama de cuerpo libre del segmento BC del árbol debe incluir las fuerzas cortante elementales dF perpendiculares al radio del árbol, que la parte AC ejerce en BC cuando el árbol es sometido a torsión (ver fig. 1.7). Pero las condiciones de equilibrio de BC, requieren que el sistema de fuerzas elementales sean equivalentes a un momento de torsión interna T , igual y opuesto a T' (ver fig. 1.7).

Designando por ρ la distancia perpendicular de la fuerza dF al eje del árbol y expresando que la suma de los momentos de las fuerzas cortantes dF con respecto al eje del árbol es igual en magnitud al momento de torsión T , se tiene que:

$$\int \rho \, dF = T$$

Pero, $dF = \tau \, dA$

Entonces

$$\int \rho \, (\tau \, dA) = T ; \quad (1.9)$$

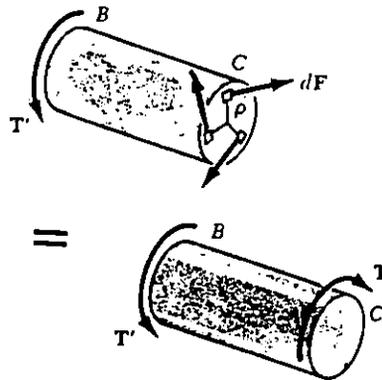


Fig. 1.7.- Fuerzas cortantes elementales en un Arbol sometido a Torsión.

Debe tenerse en cuenta que no puede haber esfuerzos cortantes en un plano únicamente. El momento de torsión aplicado produce esfuerzos cortantes en las caras perpendiculares a dicho árbol.

Las condiciones de equilibrio requieren la existencia de esfuerzos iguales en las caras formadas por los planos que contienen al eje del árbol (ver fig. 1.8).

De las ecuaciones 1.7 y 1.9 se tiene:

$$T = \int \rho (\tau \, dA) = (\tau_{\max}/c) \int \rho^2 \, dA$$

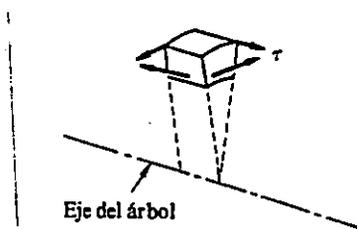


Fig. 1.8.- Esfuerzos Cortantes en la dirección del eje del Arbol para mantener el equilibrio de los Esfuerzos Tangenciales aplicados.

La integral del último miembro representa el momento polar de inercia J de la sección transversal con respecto al centro O ; por lo que:

$$T = \tau_{\max} J/c$$

De donde:

$$\tau_{\max} = T c/J ; \quad (1.10)$$

Sustituyendo τ_{\max} de la ecuación 1.10, en la ecuación 1.7, se obtiene el esfuerzo cortante a cualquier distancia ρ del eje del árbol:

$$\tau = T \rho/J ; \quad (1.11)$$

El momento polar de inercia de un círculo de radio c es igual a $J = 0.5 \pi c^4$ (ver Anexo B-8). Para un árbol circular hueco, cuyos radios son c_1 y c_2 , el momento polar de inercia es: $J = 0.5 \pi (c_2^4 - c_1^4)$. En todas las ecuaciones anteriores, T se expresa en N-m, ρ en m y J en m^4 .

1.4.- Deformaciones Plásticas en Árboles de Sección Transversal Circular.

Cuando el diseño de componentes se basa en la teoría elástica, por ejemplo la flexión simple o la teoría de la torsión, las dimensiones de los componentes se disponen de modo que los esfuerzos máximos que puedan presentarse bajo condiciones de carga de servicio no

excedan el esfuerzo permisible de trabajo del material, ni en tensión ni en compresión local. El esfuerzo permisible de trabajo se considera el esfuerzo de fluencia del material dividido entre un factor de seguridad conveniente (que suele basarse en los reglamentos de diseño o en experiencias anteriores), de modo que se tome en cuenta un incremento inesperado del nivel de las cargas de servicio. Si es probable que el esfuerzo máximo en el componente exceda al esfuerzo permisible de trabajo, el componente se considera inseguro, aunque es evidente que existen pocas probabilidades de que se presente una falla completa del componente aun si se alcanza el esfuerzo de fluencia en las fibras exteriores (siempre que cierta porción del elemento permanezca elástica y capaz de soportar cargas); es decir, la resistencia de un componente normalmente será mucho mayor que la supuesta con base en la fluencia inicial en cualquier posición. Por consiguiente, para tomar ventaja de la resistencia adicional inherente, se emplea un procedimiento de diseño que a menudo se conoce como diseño al límite plástico.

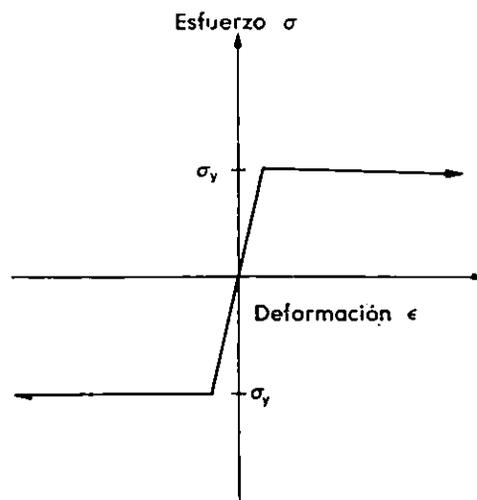


Fig. 1.9.- Curva de esfuerzo - deformación supuesta por la teoría plástica.

El método de análisis de barras sometidas a momentos de torsión suficientes para iniciar la deformación plástica del material es semejante al que se utiliza para la flexión plástica de vigas; es decir, suele suponerse una curva de esfuerzo - deformación para el material de la barra de la forma que se muestra en la figura 1.9, donde el esfuerzo es proporcional a la deformación hasta que se alcanza el límite elástico y continua siendo constante después de alcanzarse éste. También se supone que las secciones transversales planas permanecen planas y que cualquier línea radial en la sección permanecerá recta.

Considere por tanto la sección transversal de la barra que se muestra en la figura 1.10, con su distribución de esfuerzo cortante correspondiente. Mientras la barra permanezca elástica esta distribución seguirá siendo lineal, y conforme se incrementa el momento de torsión el esfuerzo cortante en la fibras exteriores eventualmente alcanzará el esfuerzo de fluencia al corte del material, τ_y . En este punto el momento de torsión será el máximo que puede resistir la barra mientras continúe siendo completamente elástica.

Con base en la teoría de la torsión,

$$T/J = \tau/r , \quad (r = \rho = c).$$

Por lo tanto, el momento de torsión elástico máximo,

$$T_E = (J/R) \tau_y = (1/2) \pi R^4/R \tau_y$$

$$T_E = (1/2) \pi R^3 \tau_y \tag{1.12}$$

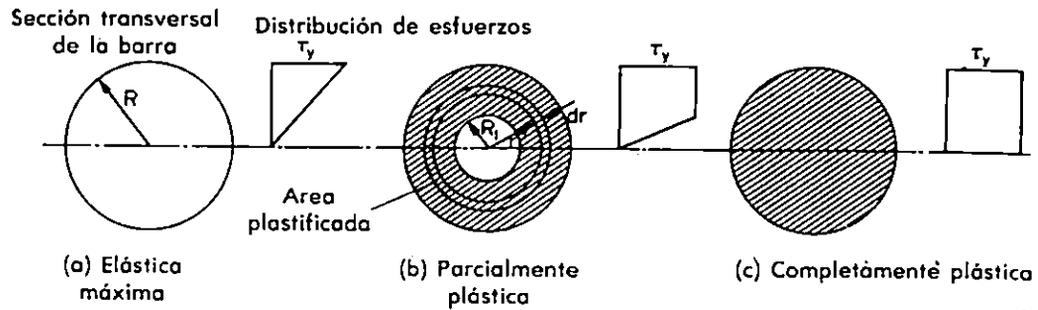


Fig. 1.10.- Torsión plástica de una barra circular.

Si ahora se incrementa un poco más el momento de torsión, se supone que, en lugar de que el esfuerzo en la fibra exterior se incremente más allá de τ_y , cada vez más y más material se plastificará llegando al esfuerzo τ_y , con lo que se tiene la distribución de esfuerzos que se muestra en la figura 1.10b. Considere el caso en el cual el material fluyó hasta el radio R_1 ; entonces:

El momento de torsión parcialmente plástico es igual a:

T_{pp} = momento de torsión debido al núcleo elástico + momento de torsión debido a la sección plástica.

La primera parte se obtiene directamente a partir de la ecuación (1.12), donde R_1 sustituye a R ; es decir:

$$(1/2) \pi R_1^3 \tau_y$$

Para la segunda parte considere un elemento de radio r y espesor dr , que soporta un esfuerzo τ_y (véase la fig. 1.10b):

$$\text{fuerza en el elemento} = (2 \pi r dr) \tau_y$$

$$\begin{aligned} \text{Contribución al momento de torsión} &= \text{fuerza} \cdot \text{radio} \\ &= ((2 \pi r dr) \tau_y) r \\ &= 2 \pi r^2 dr \tau_y \end{aligned}$$

Por lo tanto:

$$\begin{aligned} \text{contribución total} &= \int_{R_1}^R 2 \pi \tau_y r^2 dr \\ &= (2/3) \pi \tau_y [r^3]_{R_1}^R \\ &= (2/3) \pi \tau_y [R^3 - R_1^3] \quad (1.13) \end{aligned}$$

Por lo tanto, el momento de torsión parcialmente plástico es:

$$T_{pp} = (1/2) \pi \tau_y R_1^3 + (2/3) \pi \tau_y [R^3 - R_1^3] \quad (1.14)$$

En la figura 1.10c, el momento de torsión se ha incrementado hasta que toda la sección transversal fluye, es decir, se vuelve plástica. El momento de torsión necesario para alcanzar esta situación se calcula fácilmente a partir de la ecuación (1.14), dado que $R_1 = 0$.

Por lo tanto, el momento de torsión completamente plástico es:

$$T_{fp} = (2/3) \pi \tau_y R^3 \quad (1.15)$$

Así, existe una capacidad de momento de torsión considerable más

allá de la que se necesita para producir la fluencia inicial; la relación entre el momento de torsión completamente plástico y el momento de torsión máximo elástico es:

$$(T_{FP}/T_E) = ((2/3) \pi R^3 \tau_y) / ((1/2) \pi R^3 \tau_y)$$

$$(T_{FP}/T_E) = 4/3 \quad (1.16)$$

Por lo tanto, el momento de torsión completamente plástico para una barra sólida será un 33% mayor que el momento de torsión máximo elástico. Como en el caso de las vigas, esto puede considerarse en los procedimientos de diseño a fin de incrementar el momento de torsión permisible que puede soportar la barra, o bien como un factor de seguridad adicional. En cualquier caso, debe tomarse en cuenta que si los esfuerzos en la barra exceden al límite de fluencia del material, entonces se presentará alguna deformación permanente.

1.5.- Estado de Esfuerzo de un Árbol sometido a Torsión.

En la figura 1.11, se ilustra el estado de esfuerzo plano en la superficie de un árbol sometido a torsión.

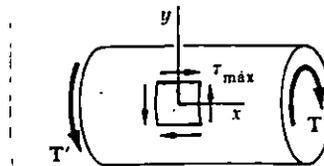


Fig. 1.11.- Estado de Esfuerzos de un elemento superficial de un árbol sometido a torsión.

Puede observarse en esta figura que el elemento superficial considerado está sometido a cargas puramente cortantes.

En ausencia de esfuerzos normales; se tiene que para el elemento considerado, $\sigma_x = \sigma_y = 0$ y el esfuerzo cortante τ_{xy} es máximo. Esta información es suficiente para graficar los puntos $X(\sigma_x, -\tau_{xy})$ y $Y(\sigma_y, +\tau_{xy})$ y poder construir así el círculo de Mohr (ver fig. 1.12).

De las consideraciones anteriores, se tienen:

$$\tau_{xy} = \tau_{\max} = (T \ c) / J.$$

Puede observarse en la figura 1.12, que los puntos X y Y , están localizados en el eje τ y el círculo de Mohr tiene radio:

$$R = T \ c / J, \text{ centrado en el origen.}$$

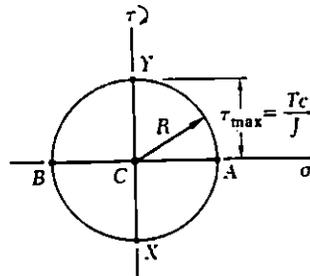


Fig. 1.12.- Círculo de Mohr para un Elemento cargado a Torsión.

1.5.1.- Esfuerzos Principales.

Considere el elemento que se muestra en la fig. 1.13, al que se le han aplicado esfuerzos cortantes en los lados AB y CD .

Entonces, se tienen esfuerzos cortantes complementarios de igual valor pero de efectos contrarios en los lados AD y BC, los cuales evitan que el elemento gire. Como los esfuerzos cortantes aplicados y complementarios tienen igual valor sobre los planos x y y, los dos se representan mediante el símbolo τ_{xy} . Considere ahora el equilibrio de la sección PBC.

Determinando las fuerzas normales a PC, hecha la suposición de que el elemento tiene profundidad unitaria,

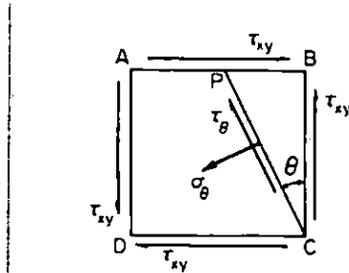


Fig. 1.13.- Esfuerzos que actúan en un elemento sometido a esfuerzo cortante puro.

$$\begin{aligned}
 \sigma_{\theta} \text{ PC} &= \tau_{xy} \text{ BC} \text{ sen } \theta + \tau_{xy} \text{ PB} \text{ cos } \theta \\
 &= \tau_{xy} \text{ PC} \text{ cos } \theta \text{ sen } \theta + \tau_{xy} \text{ PC} \text{ sen } \theta \text{ cos } \theta \\
 \sigma_{\theta} &= \tau_{xy} \text{ sen } 2\theta ; \qquad (1.17)
 \end{aligned}$$

Cuando $\theta = 45^\circ$, el valor máximo de σ_{θ} es τ_{yx} .

De modo similar, determinando las fuerzas paralelas a PC,

$$\begin{aligned}
 \tau_{\theta} \text{ PC} &= \tau_{xy} \text{ PB} \text{ sen } \theta - \tau_{xy} \text{ BC} \text{ cos } \theta \\
 &= \tau_{xy} \text{ PC} \text{ sen}^2 \theta - \tau_{xy} \text{ PC} \text{ cos}^2 \theta \\
 \tau_{\theta} &= -\tau_{xy} \text{ cos } 2\theta ; \qquad (1.18)
 \end{aligned}$$

El signo negativo significa que el sentido de τ_θ es contrario al que se supone en la figura 1.13.

Cuando $\theta = 0^\circ$ o 90° el valor máximo de τ_θ es τ_{xy} , y ese valor es cero cuando $\theta = 45^\circ$; esto es, en los planos de esfuerzo normal máximo.

Una consideración adicional de las ecuaciones 1.17 y 1.18 muestra que el sistema de esfuerzo cortantes puros producen un sistema de esfuerzos normales equivalentes, como el que se muestra en la figura 1.14, donde se tiene una serie de compresión y otra de tensión, cada una a 45° con respecto a las direcciones originales del esfuerzo cortante, y de igual magnitud al esfuerzo cortante aplicado.

Esto resulta de gran importancia al medir esfuerzos cortantes o momentos de torsión empleando calibradores de deformación, cuando estas barras están adaptadas para registrar deformaciones normales a 45° con respecto al eje de la varilla.

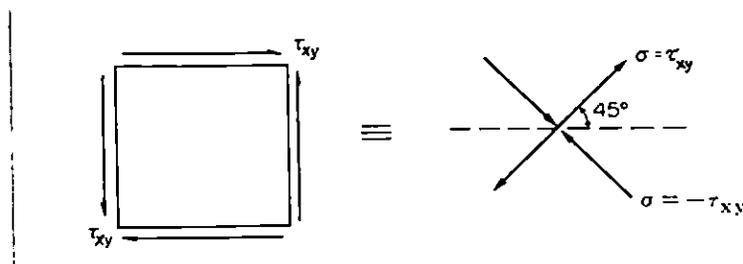


Fig. 1.14.- Esfuerzos normales debidos a esfuerzo cortante.

Un estado de esfuerzo cortante puro, como el producido por la torsión de barras, equivale a un sistema de esfuerzo normales biaxiales, uno de tensión y otro de compresión, de valor igual y a 45°

con respecto al eje de la barra, como se muestra en la figura 1.15; estos resultan ser entonces los esfuerzos principales.

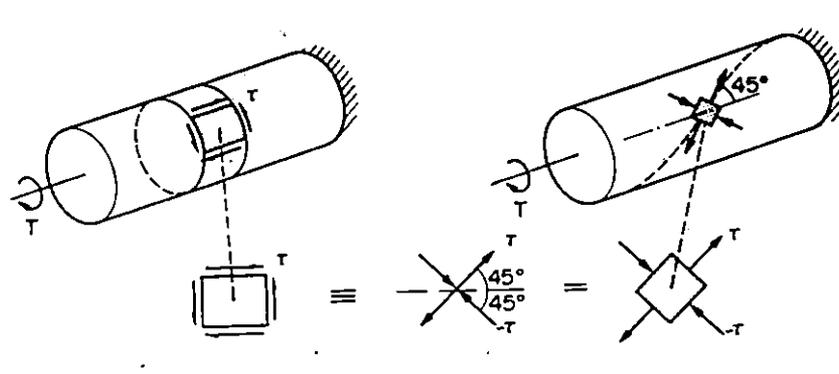


Fig. 1.15.- Esfuerzos cortante y principal en una barra sometida a torsión

1.6.- Energía de Deformación en la Torsión.

La energía se define normalmente como la capacidad para realizar un trabajo, y puede existir en cualquiera de diversas formas, por ejemplo mecánica (potencial o cinética), térmica, nuclear, química, etc. La energía potencial de un cuerpo es la forma de energía que se acumula en virtud del trabajo que se ha realizado previamente en dicho cuerpo, por ejemplo el levantarlo a cierta altura por encima de un nivel de referencia; el trabajo realizado sobre el cuerpo está almacenado como energía potencial gravitatoria. La energía de deformación es otra forma particular de la energía potencial, que se acumula en los materiales que han sido sometidos a deformación: esto es, por algún cambio en sus dimensiones. El material es entonces capaz de realizar un trabajo (equivalente a la cantidad de energía de deformación acumulada) cuando recupera su dimensión original no deformada.

Por consiguiente, la energía de deformación se define como la energía acumulada dentro de un material cuando se ha realizado un trabajo en dicho material. En este caso se supone que el material permanece elástico mientras se realiza el trabajo, de modo que toda la energía es recuperada y no se presenta una deformación permanente debido a la fluencia del material; es decir, energía de deformación $U =$ trabajo realizado.

De éste modo, para una carga aplicada en forma gradual, el trabajo realizado para deformar el material estará dado por el area sombreada en la gráfica de la figura 1.16, y se expresa mediante la siguiente relación:

$$U = 1/2 P \delta. \quad (1.19)$$

Donde: P , es igual a la carga aplicada, [N-m] y

δ , es la deformación del material, [rad].

La energía de deformación por unidad de volumen hasta el límite elástico con frecuencia se conoce como resiliencia. Entonces, el valor de la resiliencia en el límite de fluencia o en el esfuerzo de prueba para materiales no ferrosos se denomina resiliencia de prueba. El área no sombreada que aparece por encima de la línea OB de la figura 1.16, se conoce como energía complementaria.

Ahora, si el elemento que se considera es sometido a un momento de torsión T , como se muestra en la figura 1.17, lo que produce un

ángulo de torsión de $d\theta$ radianes.

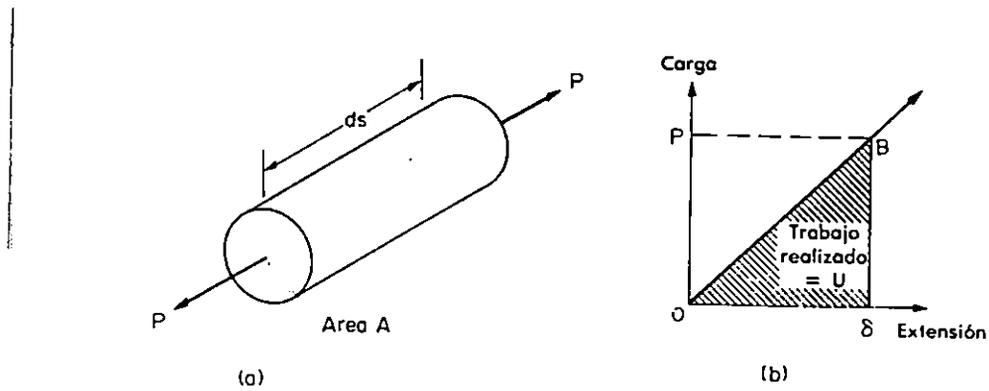


Fig. 1.16.- Trabajo realizado por una carga aplicada gradualmente.

Energía de deformación = trabajo realizado = $1/2 T d\theta$.

Pero, con base en la teoría de la torsión simple,

$$T/J = G d\theta/ds \quad \text{y} \quad d\theta = (T ds)/GJ$$

Por lo tanto, la energía total de deformación que resulta de la torsión,

$$U = \int_0^L (T^2 ds)/(2 G J) = (T^2 L)/(2 G J) \quad (1.20)$$

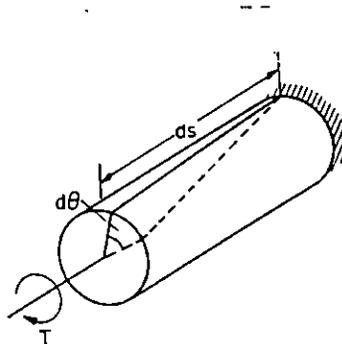


Fig. 1.17.- Torsión.

En vista de que para la mayor parte de las aplicaciones prácticas T es constante. En general para los cuatro tipos de carga (directa, por fuerza cortante, flexión y torsión), la forma de las expresiones de energía de deformación es idéntica. Es decir, la energía de deformación es:

$$U = (\text{"carga" aplicada})^2 L / (2 \text{ producto de dos constantes relacionadas}).$$

Las constantes se relacionan con el tipo de carga considerado. Por ejemplo, en la flexión las constantes significativas que aparecen en la teoría de la flexión son I y E , mientras que para la torsión son G y J . De este modo, las ecuaciones estándar para la energía de deformación podrán recordarse fácilmente.

1.7.- Naturaleza de la Falla.

En las teorías microscópicas de solidez se diferencian dos tipos de destrucción.

- 1).- Rotura, como resultado de la acción de tensiones de tracción.
- 2).- Cortadura por acción de tensiones tangenciales.

En la tabla 1.1, se exponen los esquemas correspondientes para una serie de pruebas. Empleando esta tabla se puede determinar, por el aspecto exterior de las muestras destruidas, el tipo de destrucción (rotura o cortadura). Este fenómeno es llamado Fractura, la cual consiste en la separación de un cuerpo sujeto a un esfuerzo en dos o más partes, y esta puede clasificarse en frágil y dúctil.

La fractura frágil generalmente comprende la rápida nucleación y propagación de una fisura, con el mínimo de absorción de energía y de deformación plástica.

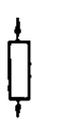
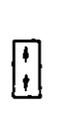
Tipo de prueba	Esquema de cargas	Dirección de acción de tensiones		Tipo de destrucción	
		normales	tangenciales	rotura	cortadura
Tracción					
Compresión *					
Torsión					
Flexión					

TABLA 1.1.- Esquemas de destrucción mediante rotura y cortadura en distintas pruebas mecánicas.

La fractura dúctil ocurre después de una considerable deformación plástica previa a la falla, es difícil la nucleación y la propagación de fisuras (gran absorción de energía).

1.7.1.- Fractura de Materiales Frágiles.

Este es el tipo de destrucción más peligroso que se desarrolla catastróficamente rápida, bajo la acción de tensiones comparativamente pequeñas. Por ello, el conocimiento del mecanismo de la fractura frágil y las condiciones que la facilitan o dificultan, es muy importante. En

este caso, la falla no se origina de ninguna deformación plástica. La grieta de cizallamiento en la destrucción intergranular se expande comúnmente a lo largo del plano cristalográfico de pequeños índices.

A simple vista esta fractura es en general reluciente o tiene un color de fases que se ubican en los límites de los granos. En la superficie de la rotura generalmente hay peldaños que dan a la estructura un aspecto de volutas fluviales (ver Fig.1.18).

En la mayoría de los casos la falla frágil es debida a la propagación de una fisura, en este caso, la causa de la formación de gradas puede ser la intersección de la grieta con las dislocaciones en espiral que se hallan en el camino de expansión del frente de la grieta.

En el proceso de desarrollo de la grieta estas gradas pueden agrandarse, como resultado de la intersección de un conjunto de dislocaciones surgen gradas cuya altura es suficiente para ser reveladas por el análisis microscópico (ver Fig.1.18).

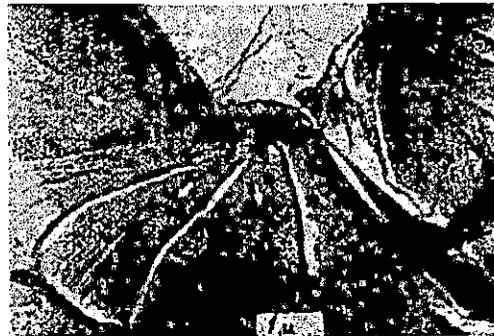


Fig. 1.18.- Remolinos en la superficie de cizallamiento frágil de hierro policristalino.

Otro mecanismo posible para el surgimiento de gradas en la superficie de fractura, es la aparición de microgrietas en otro plano y su paso gradual al plano de rotura con la formación de una serie de gradas. Normalmente, en este tipo de falla la superficie de fractura es plana y perpendicular al esfuerzo aplicado en una prueba de tracción (ver fig. 1.19).



Fig. 1.19.- Fractura frágil de una barra de acero 1080 sometido a tensión. Debido a que la micro estructura es martensita por completo, se obtiene una superficie plana en la fractura.

Si la falla ocurre por clivaje, cada grano fracturado es plano, orientado diferentemente y proporciona una apariencia cristalina o de azúcar cristalizada (ver fig. 1.20).

Otra característica común es el patrón galoneado (ver fig. 1.21) producidos por frentes de grietas separadas que se propagan en diferentes niveles. Se extiende desde el origen de la grieta un patrón de arcos superficiales radiales.

El patrón galoneado es visible a simple vista y ayuda a identificar tanto la fractura frágil del proceso de falla como el origen de la misma.

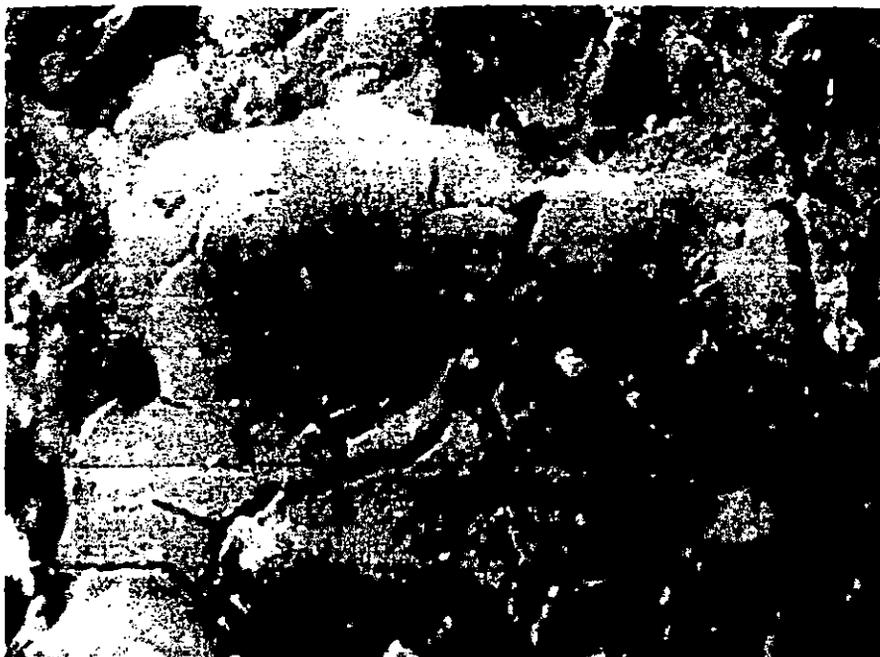


Fig. 1.20.- Micrografía electrónica de barrido de una superficie de fractura frágil en un acero 1080 templado.



Fig. 1.21.- Patrón Galoneado que se presenta en un acero 4340 templado.

1.7.2.- Fractura en Materiales Dúctiles.

Este es el tipo de falla menos peligroso y por eso no se le da la importancia adecuada a la fractura frágil. El análisis de este tipo de falla nos permite conocer mejor el mecanismo de destrucción frágil y lograr medidas para su eliminación.

La fractura dúctil es importante, ya que sirve para analizar el comportamiento de los metales trabajados a presión, donde se crea deformaciones plásticas de consideración.

Un ejemplo típico de fractura dúctil es la formación de la fractura de copa en el cuello de una muestra traccionada (ver fig. 1.22).

El cuello se forma después de un alargamiento uniforme de la muestra y es el resultado de la localización de las dislocaciones en un volumen limitado.

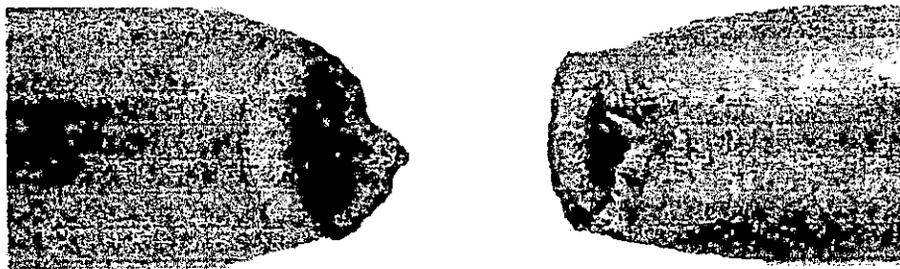


Fig. 1.22.- Formas de fractura de las muestras durante la destrucción viscosa después de la tracción.

La característica típica en la etapa inicial de la falla dúctil, es la presencia de muchas grietas pequeñas que se concentran principalmente en la parte central de la sección del cuello, a medida que aumenta la tracción estos poros se juntan formando poros mas grandes (ver fig. 1.23), finalmente en el centro del cuello aparece una grieta, cuyo plano, en macro escala se ubica como normal a los esfuerzos de tracción externos.

El examen microscópico de la fractura a gran aumento puede

evidenciarnos una superficie rugosa. Las rugosidades son huellas de los micro huecos producidos durante la fractura. Normalmente estos micro huecos son redondeados, o equiaxiales, cuando un esfuerzo de tensión produce la falla (ver fig. 1.24).

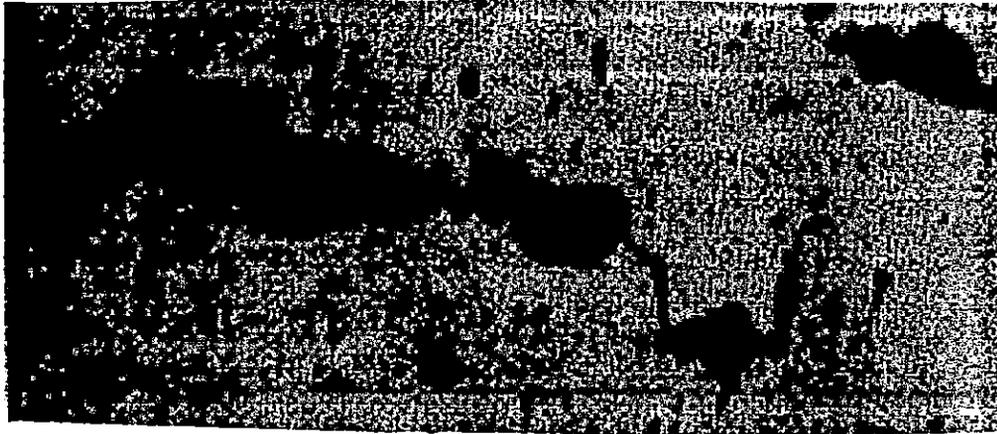


Fig. 1.23.- Poros y formación de una grieta central en el cuello de una muestra de cobre traccionada.

Fuera del caso ya visto, es posible la formación de fractura de otra forma. Esta depende de la geometría de la muestra, del carácter de su deformación y del grado de plasticidad.

Independientemente de la geometría, la fractura dúctil en el cuello se caracteriza por una serie de particularidades comunes de su estructura. A simple vista, la fractura comúnmente es de color mate, irregular, generalmente con huellas de deformación plástica en formación de bandas ásperas de deslizamiento.

Las fracturas dúctiles son el resultado de esfuerzos de corte máximos perpendiculares a los esfuerzos ténsiles principales, que producen deformaciones plásticas a lo largo de ciertos planos cristalográficos, estas se presentan cuando el material es sometido a

la aplicación de un esfuerzo excesivo.

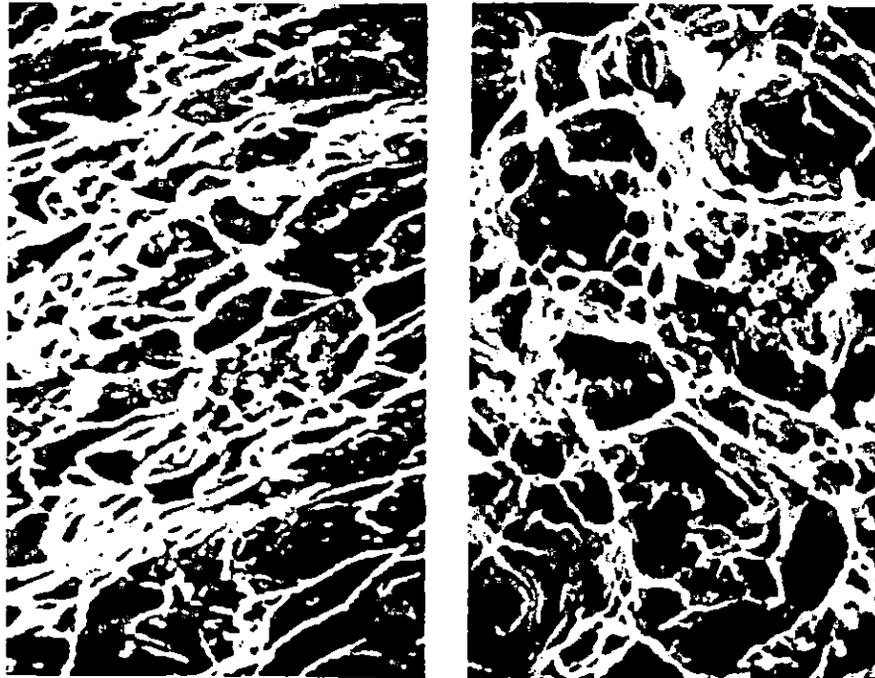


Fig. 1.24.- Micrografías electrónicas de barrido de un acero 1018 recocido, que muestran una falla dúctil en un ensayo de tensión.
 (a) Poros equiaxiales en el centro plano de la copa y del cono, y
 (b) Poros alargados en el labio de corte.

La deformación por deslizamiento que se presenta en la fractura dúctil de un material, ocurre cuando el esfuerzo cortante resultante alcanza el valor del esfuerzo cortante crítico y que los esfuerzos cortantes son mayores a un ángulo de 45° con el esfuerzo de tensión aplicado. La simple observación macroscópica de la ruptura puede ser suficiente para identificar la falla como dúctil.

1.7.3.- Comportamiento de Materiales en Torsión.

Las barras de materiales quebradizos sometidas a torsión son mas

débiles en esfuerzos axiales que en esfuerzos cortantes (por ejemplo hierro colado), fallarán agrietándose a lo largo de una hélice inclinada a 45° con respecto al eje de la barra. Esto puede demostrarse de un modo muy sencillo torciendo una pieza de yeso hasta llegar a la fractura (ver fig. 1.25b).

Sin embargo, los materiales dúctiles que son mas débiles al esfuerzo cortante fallan en planos de corte a ángulos rectos con el eje de la barra (ver fig. 1.25a).

En algunos casos, por ejemplo en el caso de la madera la falla se presenta por agrietamiento a lo largo de los planos de corte paralelos al eje de la barra debido a la naturaleza del material, con fibras generalmente paralelas al eje, lo que produce un debilitamiento longitudinal mas que transversal por el esfuerzo cortante.



Fig. 1.25.- Elementos de barra circular sometidos a torsión.

1.8.- Ejemplos de Sistemas Mecánicos que involucran Cargas Torsionales.

Las fallas torsionales son más comunes en elementos que transmiten potencia como el caso de ejes, cigüeñales, barras de torsión y ejes de vehículos.

Las fallas por torsión ocurren a lo largo del plano de tensión máxima. El máximo esfuerzo de corte ocurre a lo largo del eje de la flecha, como en la figura 1.26.

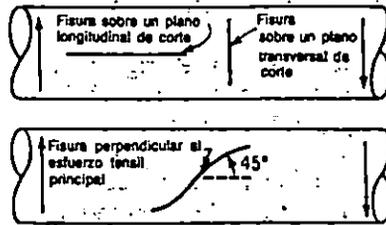


Fig. 1.26.- La fatiga torsional se puede producir paralela a los esfuerzos de corte principales o perpendiculares a los esfuerzos ténsiles principales.

Mientras que el esfuerzo máximo ténsil actúa en un ángulo de 45° respecto a los dos esfuerzos cortantes, como se presenta en la figura 1.27.

La figura 1.28, muestra esquemáticamente los tipos básicos de fracturas torsionales.

Tipo de falla	Patrón básico	Variaciones de patrones básicos	
		(a)	(b)
Tenail 1	45°	Patrón tipo estrecha 45°	Diente de sierra debido a la concentración de esfuerzos en el filo
Corte transversal 2		Escalón pequeño 	Escalón grande
Corte longitudinal 3		45°	90°

Fig. 1.27.- Fracturas básicas torsionales.

En una pieza sin concentraciones de esfuerzos localizados, la fractura que ocurrirá, dependerá de los valores relativos de la resistencia de corte y de la resistencia ténsil. Los valores de resistencia ténsil son una función del material y de su condición.

En el acero, la resistencia de corte es aproximadamente la mitad de la resistencia ténsil; por tanto, el esfuerzo cortante alcanzará la resistencia de corte del acero mucho antes de que el esfuerzo ténsil alcance la resistencia ténsil, y resultará una falla del tipo de corte.

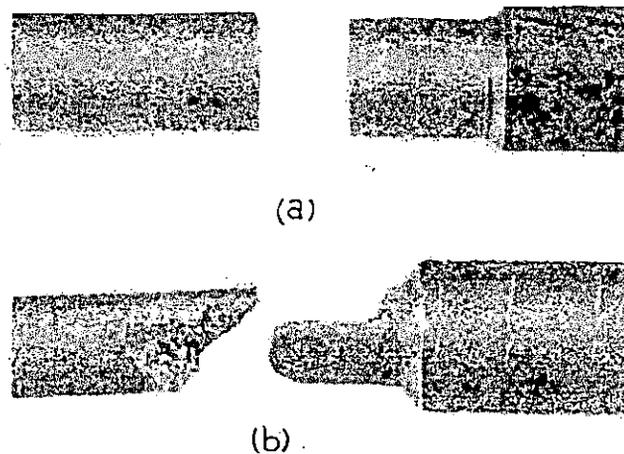


Fig. 1.28.- (a) Falla transversal de corte en una barra de acero 1045 ensayada en torsión. (b) Falla tipo ténsil a lo largo de un ángulo espiral en una barra de hierro fundido, ensayada en torsión.

Las fisuras transversales predominan más que las fisuras longitudinales, debido a que las marcas del esmerilado o de maquinado están orientados en una dirección transversal. La figura 1.28a muestra una falla transversal y la figura 1.28b muestra una falla de tipo ténsil; los agujeros para aceite, filetes y ranuras en una flecha tienden a concentrar los esfuerzos y producir una fractura de tipo

ténsil.

1.9.- Teorías de Falla de los Materiales sometidos a Carga Estática.

En muchos casos, una máquina falla cuando el material empieza a ceder plásticamente. En algunos casos, se pueden tolerar cambios pequeños en el dimensionado y permitir se exceda la carga correspondiente al valor del esfuerzo en el punto de cedencia. La fractura que ocurre a la resistencia última constituirá la falla del material. El criterio para falla puede estar basado ya sea en esfuerzos normales o en esfuerzos de corte.

Otras formas de falla son deflexiones elásticas excesivas en algunas partes, logrando con esto una menor utilización de la máquina o una falla de la pieza por pandeo.

El mecanismo de falla en un elemento máquina puede ser complicado; cada teoría de falla es solamente un intento para modelar dicho mecanismo para una clase específica de materiales. En cada caso, se emplea un factor de seguridad. La magnitud del factor de seguridad depende de la exactitud de las suposiciones, del riesgo y costo de la falla y de otras condiciones de diseño.

1.9.1.- Teoría del Esfuerzo Normal Máximo.

La teoría del esfuerzo normal máximo establece que la falla suele ocurrir siempre que uno de los tres esfuerzos principales sea igual a la resistencia. Suponiendo que se ordenan los tres esfuerzos

principales para cualquier estado de esfuerzo, en la forma:

$$\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$$

Luego, ésta teoría anticipa que el desperfecto sucede siempre que,

$$\sigma_1 = S_t \text{ o bien } \sigma_3 = -S_c \quad (1.21)$$

Donde S_t y S_c son las resistencias a la tensión y a la compresión, que puede ser de fluencia o última (ver Anexo A-4).

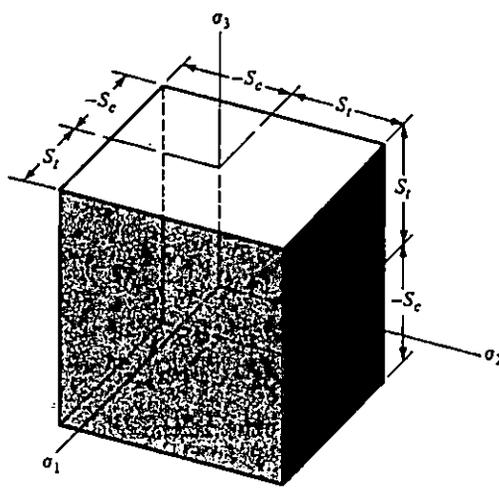


Fig. 1.29.- Teoría del esfuerzo normal máximo en tres dimensiones.

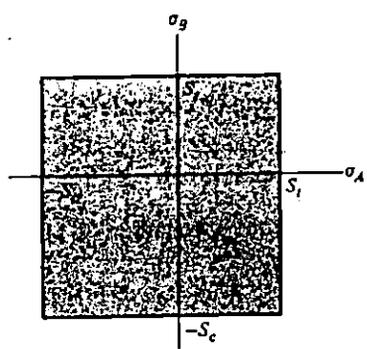


Fig. 1.30.- Gráfica de la teoría de falla del esfuerzo normal máximo de estados de esfuerzos biaxiales. Los estados de esfuerzos en la gráfica son seguros.

Las figuras 1.29 y 1.30, muestran estados de esfuerzos asociados con la seguridad y con la falla. El prisma rectangular recto de la figura 1.29, contiene todos los valores seguros de cualquier combinación de componentes de esfuerzo.

1.9.2.- Teoría del Esfuerzo Cortante Máximo.

Esta teoría afirma que se inicia la fluencia siempre que en cualquier elemento el esfuerzo cortante máximo se vuelva igual al esfuerzo cortante máximo en una probeta a tensión, cuando ese espécimen empieza a ceder (ver Anexo A-4).

Si se ordenan los esfuerzos normales como $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$, entonces la teoría de esfuerzo cortante máximo anticipa que la fluencia ocurrirá siempre que,

$$\tau_{\max} \geq S_y \quad \text{o bien,} \quad \sigma_1 - \sigma_3 \geq S_y \quad (1.22)$$

Esta teoría señala a si mismo que la resistencia de fluencia en cortante está dada por la ecuación,

$$S_{Sy} = 0.50 S_y \quad (1.23)$$

Para lograr un mejor entendimiento de esta teoría, los esfuerzos cortantes principales son los siguientes:

$$\begin{aligned} \tau_{1/2} &= (\sigma_1 - \sigma_2) / 2 \\ \tau_{2/3} &= (\sigma_2 - \sigma_3) / 2 \\ \tau_{1/3} &= (\sigma_1 - \sigma_3) / 2 \end{aligned} \quad (1.24)$$

Estas ecuaciones indican que la falla es previsible cuando alguno de estos tres esfuerzos cortantes es máximo.

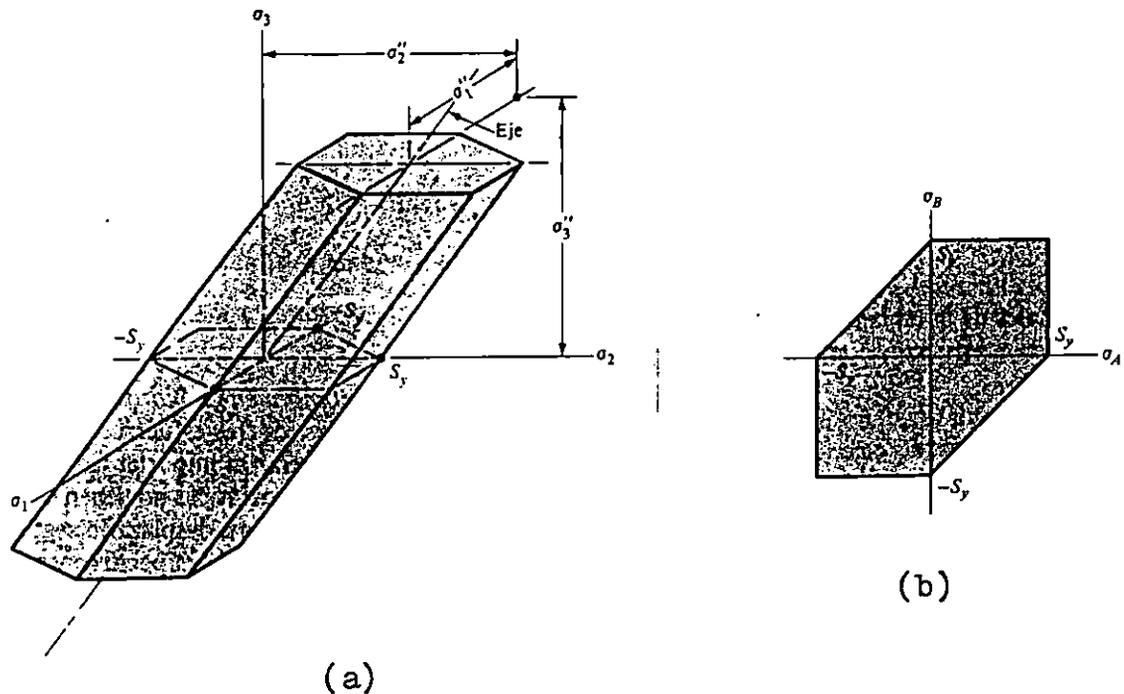


Fig.- 1.31.- Teoría del esfuerzo cortante máximo representada gráficamente. (a) Para estado de esfuerzo triaxiales. (b) Para esfuerzos biaxiales.

1.9.3.- Teoría de la energía de la distorsión.

La teoría de la energía de distorsión anticipa que la fluencia se producirá siempre que la energía de distorsión sea igual a la energía de distorsión en el mismo volumen cuando se le someta a esfuerzo uniaxial hasta el valor de la resistencia de fluencia. En el caso de un ensayo a la tensión simple,

$$\sigma_1 = \sigma', \quad \sigma_2 = \sigma_3 = 0. \quad (1.25)$$

El criterio de falla se puede representa por la siguiente ecuación:

$$\sigma' = ((\sigma_1 - \sigma_2)^2 / 2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 / 2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 / 2)^{1/2} \quad (1.26)$$

En consecuencia, se prevé que ocurrirá fluencia cuando,

$$\sigma' \geq S_y \quad (1.27)$$

Al esfuerzo σ' se le debe dar un nombre especial, puesto que representa el estado de esfuerzo completo σ_1 , σ_2 y σ_3 . Las denominaciones elegidas son esfuerzo efectivo y esfuerzo de Von Mises.

Para el estado de esfuerzo biaxial, σ_A y σ_B son los dos esfuerzos principales distintos de cero luego de la ecuación 1.25, se obtiene:

$$\sigma' = (\sigma_A^2 - \sigma_A \sigma_B + \sigma_B^2)^{1/2} \quad (1.28)$$

La teoría de la energía de distorsión recibe también los siguientes nombres:

- Teoría de la energía de cortante.
- Teoría de Von Mises - Hencky.
- Teoría de esfuerzo cortante octaédrico.

La teoría de la energía de distorsión se presenta gráficamente en las figura 1.32.

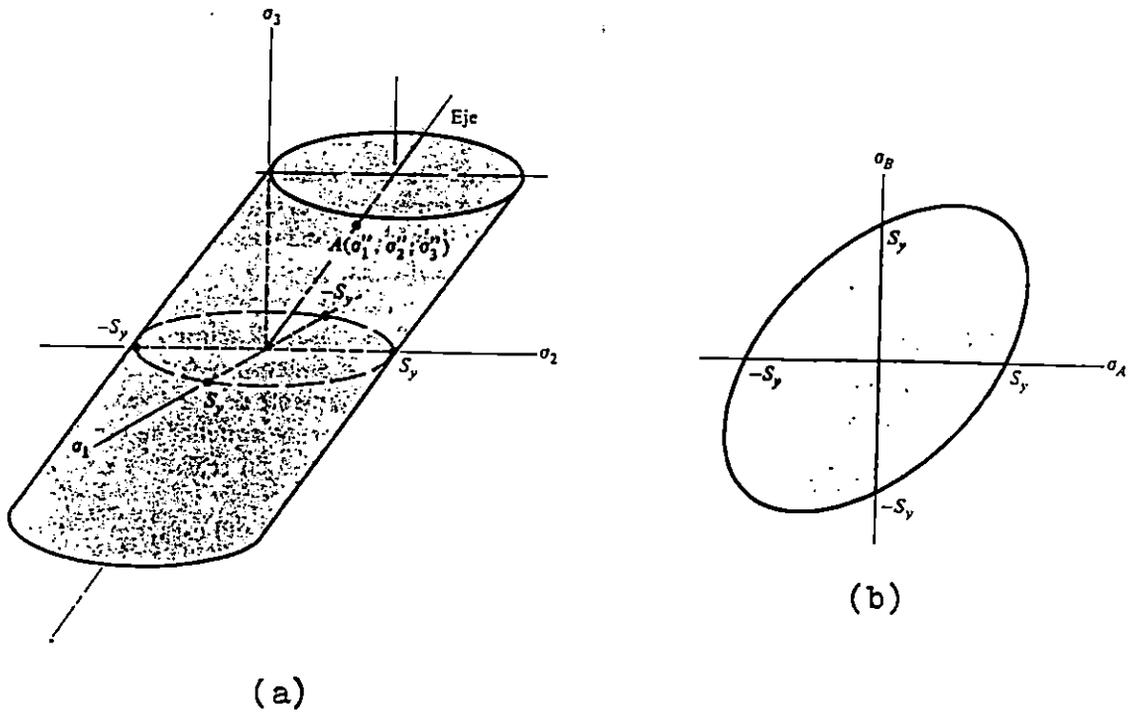


Fig. 1.32.- Teoría de la energía de distorsión. (a) Estado de esfuerzo triaxial. (b) Estado de esfuerzo biaxial.

CAPITULO II
ENSAYOS DE TORSIÓN ESTÁTICA

2.1.- Descripción del Ensayo.

En una máquina para ensayos de torsión, una probeta de forma y dimensiones conocidas, es sometida a un momento de torsión, el cual se aplica a velocidad constante en forma continua hasta que ocurre la falla. A intervalos de tiempo que permitan la toma de datos, se hacen las siguientes lecturas; se observa en el dinamómetro y se toma la lectura del momento de torsión, en el mismo instante se toma la lectura correspondiente, en el torsiómetro, de la deformación de corte o del ángulo de torsión; según la medición que indique el torsiómetro.

Para cada dato de momento de torsión se calcula con la Ec. 1.11 ($\tau = pT/J$), el esfuerzo cortante en las fibras perimetrales de la probeta (en el radio máximo). Con los valores de esfuerzo cortante y las correspondientes deformaciones de corte, se traza el diagrama de esfuerzo - deformación de corte.¹

Del gráfico esfuerzo - deformación de corte se determina el módulo de rigidez del material probado, la resistencia de fluencia al corte, la resistencia máxima en torsión, el esfuerzo de rotura en cortante, la deformación máxima angular, etc.

2.2.- Diagrama Esfuerzo - Deformación de Corte.

Al ensayar los materiales, las cargas se aplican y miden por medio de máquinas de ensayos. En el ensayo de torsión, la "carga" puede

¹En mucha de la bibliografía consultada se a observado que en lugar del diagrama esfuerzo - deformación de corte, se traza el diagrama de torque - ángulo de torsión.

expresarse en términos de momentos, por ejemplo, libras-pulgadas (lb-plg.). Las cargas pueden medirse con una exactitud de cuando menos 1%, (pág.46, /4/).

Dentro del rango elástico, los esfuerzos pueden evaluarse por medio de las deformaciones medidas, y mediante el uso del módulo de elasticidad en cortante (módulo de corte). En los ensayos de torsión se acostumbra medir la deformación como un ángulo de torsión entre dos secciones especificadas; al considerar las dimensiones de la pieza, el ángulo de torsión en una pieza cilíndrica puede convertirse a términos de deformación por corte.

Corrientemente la deformación unitaria se define como el cambio por unidad de longitud en una dimensión lineal de un cuerpo, la cual va acompañada por un cambio en el estado de esfuerzo.

Las deformaciones lineales se miden por medio de un deformímetro, un término utilizado para denotar cualquier instrumento medidor de deformaciones. Una forma de medir la deformación es mediante la consideración del tramo calibrado, a lo largo del cual se instala el deformímetro.

Es muy útil mostrar la relación entre el esfuerzo y la deformación por medio de un diagrama de esfuerzo y deformación, el cual es un diagrama trazado con valores de esfuerzo como ordenadas y valores de deformación como abscisas. Sin embargo, el uso del término diagrama de esfuerzo y deformación se extiende para abarcar diagramas en los cuales las ordenadas son valores de carga aplicada o momento

aplicado y las abscisas son valores de extensión, compresión, deflexión o torsión.

El procedimiento usual para obtener un diagrama de esfuerzo y deformación consiste en tomar los datos de una serie de lecturas de cargas y los correspondientes valores de las lecturas de un deformímetro. En algunos casos, los diagramas de esfuerzo y deformación se obtienen directamente por medio de un dispositivo graficador de la máquina de ensayo.

Al planear un ensayo que requiera datos de esfuerzos y deformaciones, es necesario elegir el incremento de carga o la lectura del deformímetro a usar entre lecturas sucesivas. En la fig. 2.1, se muestra un diagrama idealizado de esfuerzo y deformación, se ilustran dos métodos de tabular las lecturas de esfuerzo y deformación. La fig. 2.1a, ilustra el método que emplea incrementos iguales de cargas y la fig. 2.1b ilustra el método que emplea incrementos de deformaciones iguales.

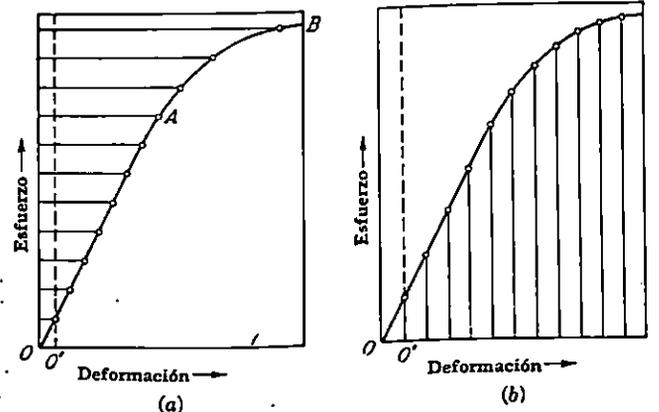


Fig. 2.1.- Determinación de las relaciones de esfuerzo y deformación.
 (a) Incrementos de esfuerzos iguales; (b) Incrementos de deformaciones iguales.

El uso de incrementos de cargas en lugar de incrementos de deformación ha sido práctica común porque, en términos generales, es más simple tabular los incrementos de carga que los de las lecturas del deformímetro, (pág. 50, /4/).

2.3.- Propiedades Determinadas a partir del Ensayo de Torsión.

Este ensayo tiene por objeto, determinar el comportamiento de un acero al ser sometido a la torsión, y obtener las siguientes propiedades torsionales:

- 1.- El límite proporcional cortante teórico (usando la fórmula de la torsión).
- 2.- El límite proporcional cortante real.
- 3.- La resistencia a la cedencia con una desviación de 0.001 radianes por pulgada de tramo de calibración (usando la fórmula de la torsión), o según se asigne.
- 4.- El módulo de ruptura en cortante.
- 5.- La probable resistencia real al corte.
- 6.- El módulo de rigidez o módulo de corte.
- 7.- El promedio de energía absorbida por unidad de volumen en el límite proporcional verdadero (resiliencia al corte).
- 8.- El porcentaje de alargamiento aproximado en las fibras más alejadas.
- 9.- El probable límite proporcional a la tensión.

Los tipos de ensayos de corte de uso común son el ensayo de corte directo y el ensayo de torsión. La representación más precisa de las

propiedades del corte, se obtienen a través del ensayo de torsión (ver Anexos A-2, A-6 y A-7), empleando probetas, ya sean sólidas o huecas de sección circular. En éste ensayo, la probeta tendrá una longitud a la cual un deformímetro pueda acoplarse para posibilitar las determinaciones del límite proporcional y la resistencia de cedencia en esfuerzo, resiliencia al corte y el módulo de rigidez o módulo de elasticidad en corte, obteniéndose el segundo del ángulo de torsión y el torque aplicado.

Usualmente se obtiene la resistencia última al corte o módulo de ruptura por corte. La ductilidad del material es determinada de la cantidad de torsión hasta la ruptura, la tenacidad (capacidad del material para absorber energía y deformarse plásticamente antes de la ruptura), está representada por la cantidad de torsión y la resistencia, y la uniformidad es indicada por el espaciamiento, la distribución y la apariencia de las líneas de torsión. Para la determinación exacta de la resistencia elástica, debe usarse una probeta tubular de ensayo.

El ensayo de torsión puede ser de utilidad especial en la investigación de la conducta de secciones no circulares o de secciones circulares que posean varias irregularidades superficiales, tales como cuñeros y ranuras. En esos casos, el objeto es encontrar la resistencia a la torsión de la pieza particular, no la resistencia al corte del material. Los ensayos de torsión también se usan en las investigaciones del efecto de varias operaciones de tratamiento térmico, particularmente para las partes sometidas a tratamientos que tienden a producir un mayor efecto sobre el metal en la región más próxima a la

superficie que al interior del miembro. Para tales estudios es importante someter a ensayos piezas de tamaño natural. Por ejemplo en el caso de las piezas de vehículos, que han sido sometidos a ensayos de torsión.

El método de torsión es inaplicable para la determinación de la resistencia al corte de los materiales quebradizos, tales como el hierro fundido, ya que una probeta hecha de este material fallaría por tensión diagonal antes de que se alcanzara la resistencia al corte, aunque el ensayo de torsión ha sido aplicado al hierro fundido y al concreto para determinar otras propiedades del corte o la resistencia nominal total a la torsión.

Es conveniente señalar que, en servicio, las piezas que están sometidas a un par son usualmente parte de máquinas y deben resistir carga de impacto y las inversiones del esfuerzo.

2.3.1.- Procedimiento General de Realización del Ensayo.

1.- Con un calibrador micrométrico se determina el diámetro medio de la probeta cerca de la longitud media. Suponiendo que el límite de proporcionalidad cortante es del 60% del límite de proporcionalidad a la tensión y el módulo cortante de ruptura es igual a la resistencia a la tensión, así se calculan incrementos de carga que arrojen, cuando menos diez valores (de torque y ángulo de torsión) más allá del límite de proporcionalidad.

2.- Anótense el tramo de calibración y la lectura mínima del torsiómetro. Sujétese firmemente el instrumento a la probeta,

cerciorándose de que los ejes del torsiómetro y de la pieza de ensayo coincidan y el torsiómetro esté en posición adecuada para leerse fácilmente.

3.- Ajústese la máquina de torsión para leer cero y luego insértese la probeta en los dos cabezales. Asegúrese de que cada extremo quede centrado dentro de cada cabezal. Ajústense gradualmente los mandriles de los cabezales hasta lograr un contacto firme y uniforme, teniendo cuidado de no desplazar la probeta. Si al apretar los mandriles, éstos producen algún torque, opérese la máquina en normal y reversa a modo de reducirlo a cero.

4.- Retírese la barra separadora del torsiómetro y ajústese el instrumento para leer cero.

5.- Aplíquese la carga a baja velocidad. Tómense lecturas del torque y de la torsión simultáneamente sin parar la máquina. Después de que la probeta muestre signos de cedencia, aplíquese la carga a la velocidad más alta hasta que ocurra la falla. Se debe observar el carácter de la fractura.

2.3.2.- Errores en la Realización del Ensayo.

Los errores en la ejecución de la prueba influyen en gran medida en los resultados obtenidos y se pueden clasificar de la siguiente forma:

1.- Errores en el montaje de la probeta.

El montaje inadecuado en la probeta, puede inducir en la misma

cargas axiales o de flexión y alterar así el estado de esfuerzo en la probeta; por lo que la falla no sería provocada por cortante puro y se modificaría la naturaleza de la fractura.

2.- Errores en el desarrollo de la prueba.

Si la máquina es de accionamiento manual, no se tiene mayor control sobre la velocidad de giro de las mordazas de la máquina por lo que los resultados obtenidos (para un mismo material) por diferentes operarios o por máquinas accionadas por un motor eléctrico pueden diferir.

3.- Errores generados por los instrumentos de medición.

Si los instrumentos de medición no están bien calibrados, generarán resultados erróneos.

2.4.- Tipos de Máquinas para el Ensayo de Torsión.

Existen diversos tipos de máquinas para el ensayo de torsión estática, las hay de diferentes formas, tamaños y capacidad de carga según el torque máximo que la máquina pueda aplicar como por ejemplo, existen máquinas con capacidad torsionante de 30 N-m y otras de mayor capacidad (200 N-m). Una alta capacidad torsionante de una máquina ofrece la posibilidad de hacer pruebas con Probetas de diferentes diámetros (5 a 25 mm) o hacer pruebas en materiales de alta resistencia; mientras que en una máquina de baja capacidad torsionante es más reducido el rango de pruebas que pueden realizarse pero su costo es más bajo.

Las máquinas para el ensayo de torsión estática pueden ser accionadas manualmente, por un sistema hidráulico o por un motor eléctrico, en todos los casos debe procurarse que la velocidad de giro sea constante y aproximadamente igual a 0.01 r.p.m. A continuación se describen diferentes tipos de máquinas.

2.4.1.- Máquina Amsler.

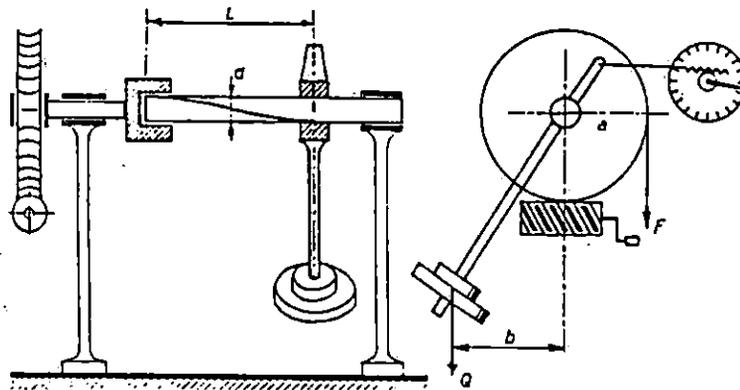


Fig. 2.2.- Máquina Amsler para Ensayos de Torsión.

La Máquina Amsler para ensayos de torsión estática, se muestra en la figura 2.2, su funcionamiento es el siguiente:

Un extremo de la probeta se fija en un eje de arrastre y el otro se ajusta a un péndulo del dinamómetro. El momento de torsión se aplica a la probeta por medio del sistema de engrane rueda helicoidal - tornillo sin fin con relación de transmisión pequeña; el giro de la probeta desvía al péndulo de su posición vertical, haciendo así un momento que se equilibra con el momento aplicado.

El desplazamiento del péndulo, proporcional al momento de torsión, se transmite a través de una cremallera y piñón a un indicador que señala directamente sobre un cuadrante graduado, el valor del

momento en Kg-m.

Relacionado con la cremallera hay una plumilla o punta de trazar, que se desplaza paralelamente al eje del tambor que a su vez tiene un movimiento de rotación procedente de la probeta; puesto que el desplazamiento de la punta es proporcional al momento de torsión, mientras el giro del tambor lo es al ángulo de torsión, el gráfico que se obtiene representa el diagrama de momento - ángulo de torsión.

Una de las limitantes de ésta máquina es el máximo brazo de palanca para la medición del torque.

Durante la prueba se va observando el dinamómetro y se toma la lectura del momento de torsión; en el momento en que el índice del medidor de torque realiza una detección súbita, el valor de ese momento representa el límite de fluencia a la torsión.

Prosiguiendo la prueba hasta la rotura, se obtiene el momento de torsión a rotura, luego por medio de la Ecuación 1.11 ($\tau = \rho T / J$), se calculan los esfuerzos tangenciales de fluencia y rotura.

2.4.2.- Máquina Riehle.

Puede observarse en la figura 2.3, que la máquina Riehle posee una cabeza móvil, la cual puede desplazarse para probar especímenes de diferente longitudes. Aparece también en la figura 2.3, el tablero de control desde donde se acciona la máquina y se toman las lecturas de torque y deformación de corte.

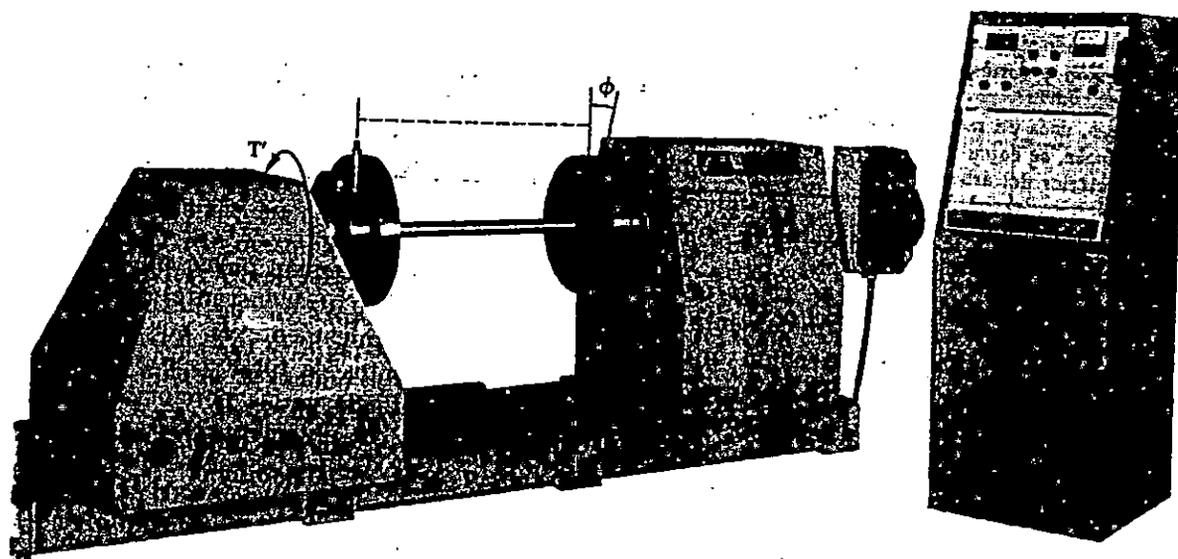


Fig. 2.3.- Máquina Riehle para ensayos de torsión.

2.4.3.- Máquina Tecquipment.

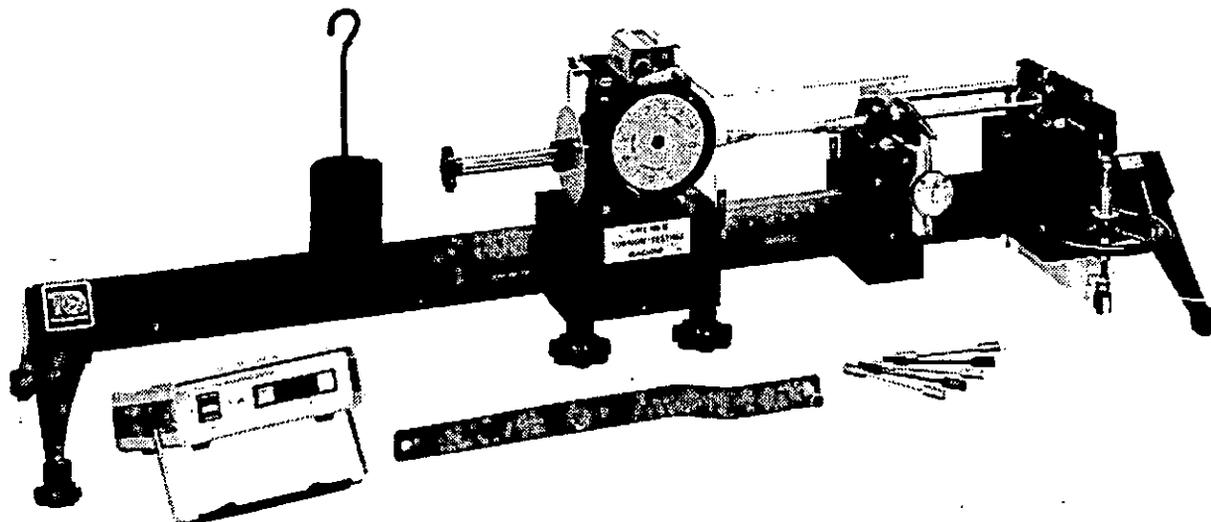


Fig. 2.4.- Máquinas para ensayos de torsión TecEquipment, modelo SM1
(30 N-m).

La máquina para ensayos de torsión estática, mostrada en la Fig. 2.4, posee las siguientes características:

- Capacidad de torque: 30 N-m.

- Lecturas directas de torque y deformación.
- Apta para pruebas de especímenes hasta la destrucción.
- Capacidad Cargante en ambos sentidos de giro.
- Acomodamiento de especímenes de longitudes hasta de 750 mm.
- Especímenes sujetados por cavidades estándares hexagonales de arrastre.
- Amplio rango de pruebas en especímenes estándares.
- Mediciones de deformación en los rangos elástico y plástico.

El funcionamiento de la máquina se describe a continuación:

La máquina para pruebas de torsión SM1 posee un sistema de medida de torque digital y además facilita la realización de ensayos de especímenes de diferentes longitudes y está compuesta por los siguientes elementos:

Un tubo cuadrado rígido de aluminio el cual es soportado a cada extremo por apoyos de aluminio, el tubo lleva una cabeza de deformación en un extremo y un medidor de torque al otro extremo.

Una cabeza de deformación que tiene una reducción de 60 : 1 y consiste en un gusano acoplado a una caja de engrane montada en una plataforma especial de aluminio extruido que desliza a lo largo del tubo cuadrado y puede asegurarse en cualquier posición. El árbol de salida es libre de desplazarse en una cavidad en la caja de engranes, para acomodarse a cualquier cambio en la longitud del espécimen durante la prueba y para facilitar el montaje del espécimen. La reacción al torque aplicado al espécimen es proporcionada por el árbol de torsión

que se apoya a cada extremo por cojinetes autoalineadores.

Los especímenes de prueba se sostienen a cada extremo por cavidades hexagonales de arrastre en la caja de engranes y en el árbol de torsión. Un brazo se ajusta a cada extremo del árbol de torsión, el uno al extremo lejano siendo localizado por una manivela, para ajustar la posición angular del árbol de torsión. Un potenciómetro lineal se ajusta entre los dos brazos y proporciona una salida proporcional al ángulo de torsión del eje. El potenciómetro es conectado a un medidor digital en el que se lee directamente el torque en N-m y/o Lbf.pulg. Un brazo de calibración y un conjunto de pesos se proporciona para verificar o recalibrar el medidor, si así es requerido.

La deformación del espécimen es medida, para mayor exactitud, por un torsiómetro; también se registran las revoluciones totales.

Experimentos Realizables:

- Comprobación de la ecuación de la torsión elástica ($\tau = G \gamma$).
- Determinación del módulo de rigidez (G) y resistencia de fluencia por cortante (τ_y).
- Determinación de los esfuerzos superior e inferior de fluencia para especímenes de acero normalizado.
- Investigación del comportamiento de materiales bajo la deformación plástica y el fenómeno de endurecimiento por trabajado.
- Si los medios de tratamientos térmicos están disponibles, una amplia gama de pruebas puede llevarse a cabo para demostrar los

efectos de tratamientos térmicos y los esfuerzos residuales en la resistencia torsional.

2.4.4.- Máquina Tinius Olsen.

Una ilustración de éste tipo de máquina de ensayo de torsión se muestra en la Fig. 2.5.

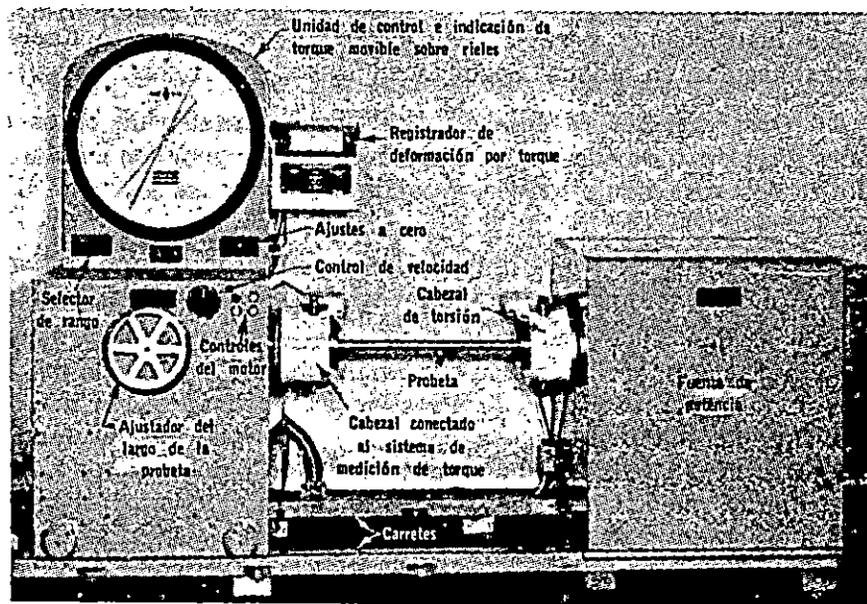


Fig. 2.5.- Máquina Tinius Olsen, con indicador de carga de palanca de par.

Un mecanismo propulsor adecuado mueve un mandril con mordazas dentadas y endurecidas, y el par aplicado es transmitido a través de la probeta a un mandril similar en el cabezal de medición lo cual acciona algún tipo de indicador del torque. Por un método, un sistema de palanca acciona una vigueta sobre la cual un contrapeso móvil puede hacerse viajar; la vigueta está graduada en unidades de torque, digamos libras pulgadas.

En algunas máquinas, el sistema de medición involucra un péndulo conectado a la manecilla de una carátula, la cual está graduada en libras pulgadas; a medida que el par es transmitido a través de la probeta, el péndulo gira desde su posición de equilibrio vertical hasta que su momento estático contrarreste el torque aplicado.

En otros tipos de máquina, una palanca o un brazo acoplado al mandril acciona:

1.- una cápsula hidráulica conectada a una carátula de carga
o,

2.- una serie de palancas conectadas a una pequeña vigueta, la deflexión de la cual es transmitida electrónicamente a la carátula de carga como en la máquina mostrada en la Fig. 2.5. Para dejar margen para la deformación longitudinal de una probeta durante el ensayo, así como para acomodar probetas de varias longitudes, la parte de la máquina que porta el mecanismo indicador de cargas se ajusta en posición y frecuentemente está montada sobre rodamientos.

Este arreglo evita la superposición del esfuerzo debido a cualquier carga axial sobre el corte debido a la torsión.

Se usan varios dispositivos para medir la deformación o la torsión angular en una probeta de torsión. Estos indicadores de torsión o torsiómetros ordinariamente consisten en dos collarines sujetos a la probeta a una distancia o tramo de calibración de separación dada, con algún medio para medir el desplazamiento angular relativo de los collarines.

En un tipo, un vernier acoplado a un collarín se mueve alrededor de un círculo graduado acoplado al otro collarín, en otro tipo se acoplan espejos a los collarines, y las observaciones se hacen con telescopio y escalas.

Un medidor de torsión muy simple consiste de largos brazos radiales acoplados a los collarines, arreglándose los brazos para mover alrededor de arcos graduados a medida que la probeta se tuerce.

La precisión del primer y tercer tipos pueden ser de aproximadamente ± 0.0005 radianes, pero los torsiómetros del tipo de espejo han sido hechos para arrojar una precisión de ± 0.00005 radianes.

La sección transversal de una probeta de torsión debe medirse hasta 1 parte en 1000, dentro del límite proporcional del material, la velocidad del cabezal de torsión no debe exceder de aproximadamente 0.01 r.p.m. por plg de longitud de la probeta, aunque la velocidad puede aumentarse después de haberse alcanzado el punto de cedencia.

CUADRO COMPARATIVO DE TIPOS DE MAQUINAS PARA ENSAYOS DE TORSIÓN ESTÁTICA.

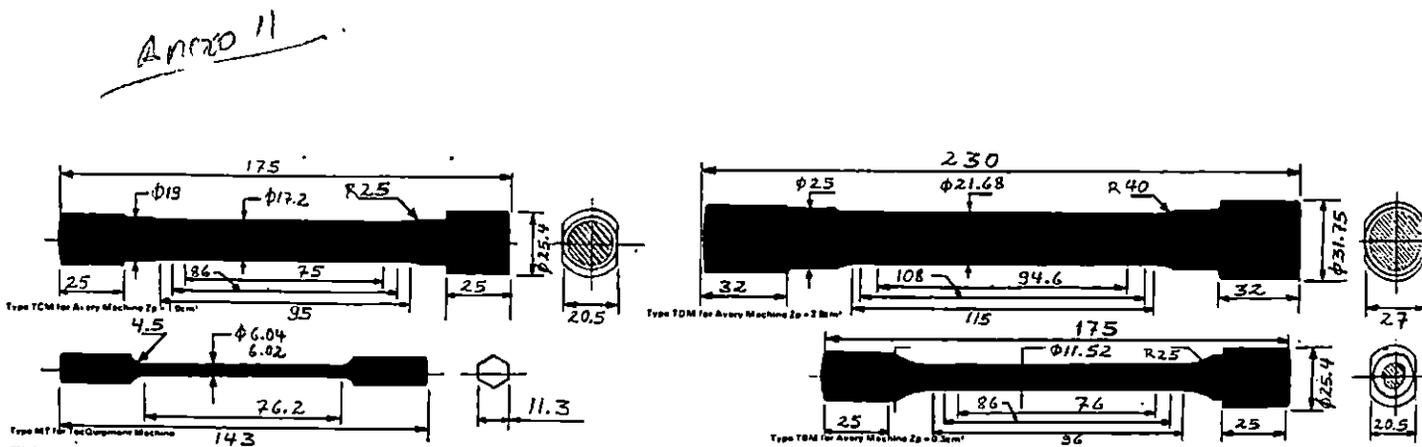
CARACTERÍSTICAS.	MAQUINA.			
	AMSLER	RIEHLE	TECQUIPMENT	TINIUS OLSEN
Estructura.	Liviana.	Pesada (bancada de Ho. fundido).	Liviana (bancada de aluminio).	Pesada (bancada de Ho. fundido).
Acondicionamiento	Sistema de transmisión por tornillo sin fin accionado manualmente.	Caja de transmisión para variación de velocidad, condicionado por motor eléctrico.	Sistema de transmisión por tornillo sin fin accionada manualmente.	Caja de transmisión para variación de velocidad accionada por motor eléctrico.
Mordazas de Sujeción.	De cavidad constante.	De cavidad variable (ajustable).	De cavidad hexagonal constante.	De cavidad variable (ajustable).
Distancia entre mordazas.	Constante.	Ajustable.	Ajustable.	Ajustable.
Medición de ángulo.	Forma gráfica.	Torsiómetro, mide la longitud del arco barrido por el ángulo de torsión.	Torsiómetro, mide directamente el valor de la deformación de corte en rango elástico y plástico.	Torsiómetro mide la deformación de corte.
Medición de torque.	Sistema pendular.	Sistema pendular y potenciómetro (salida digital)	Barra de torsión y potenciómetro (salida digital)	Sistema de palancas.

2.5.- Probetas para el Ensayo de Torsión.

La probeta para el ensayo de torsión estática, generalmente es una barra sólida de sección transversal circular, a pesar de la complicación presentada por la variación del esfuerzo con el radio.

Si se usan como probetas tubos de pared delgada, las deformaciones alcanzadas son muy pequeñas porque el tubo entra rápidamente en inestabilidad, perdiéndose de esta manera una de las grandes ventajas del ensayo de torsión (grandes deformaciones).

Diferentes tipos de probetas normalizadas se presentan en la figura 2.6.



COTAS: [mm]

Fig. 2.6.- Probetas normalizadas para el ensayo de torsión.

Aunque teóricamente el proceso debiera efectuarse sin variación de las dimensiones de la probeta, lo cierto es que por causas que se ignoran, algunos de los materiales se acortan (la mayoría de los aceros) y otros se alargan (aluminio) durante el ensayo de torsión. Esto obliga a algunos mecanismos a aplicar cargas axiales durante el ensayo, por lo que los esfuerzos en la probeta dejan de ser de cortante puro. Trabajos realizados en la Universidad de Stanford han comprobado que probetas axialmente libres de deformarse permiten un mejor análisis de la torsión.²

2.5.1.- Naturaleza de la Falla por Torsión.

La fractura por corte es muy diferente de la de tensión o compresión; no hay reducción localizada del área o alargamiento.

Para los materiales que se rompen en el ensayo de corte o torsión, la ruptura en varillas sólidas es plana y normal al eje de la pieza, como se muestra en la Fig. 2.7a. Para los aceros dúctiles, la fractura es usualmente de textura sedosa, y el eje alrededor del cual el torcido final se verificó puede usualmente observarse. Como las superficies de la ruptura pueden no ser lisas, las porciones exteriores, al rebasarse mutuamente, actúan como levas, rompiendo la pieza en la dirección de su longitud. Las porciones centrales no rotas aún por el corte posiblemente se rompan o quiebren en tensión por esta acción de leva, dentro de sus fibras; en latones, bronces y hierro fundido.

²Tomado de la referencia número 6.

La ruptura de un material para el cual la resistencia a la tensión sea menor que la resistencia al corte ocurre por separación en tensión a lo largo de una superficie helicoidal. Este tipo de ruptura ocurre cuando el hierro fundido o el concreto ordinario son sometidos a la torsión. La silueta de la fractura hace una revolución completa en la barra, quedando unidos los extremos de la hélice por una línea aproximadamente recta como se muestra en la Fig. 2.7b. El tipo de fractura helicoidal puede fácilmente obtenerse quebrando una pieza de fundición gris en torsión con los dados.

Las probetas tubulares de pared delgada de un material dúctil que posean una sección reducida de mayor longitud que el diámetro fallan por flambéo como se muestra en la Fig. 2.7c, pero las que poseen una sección reducida corta fallan en torsión en una sección recta, como se muestra en la Fig. 2.7d.

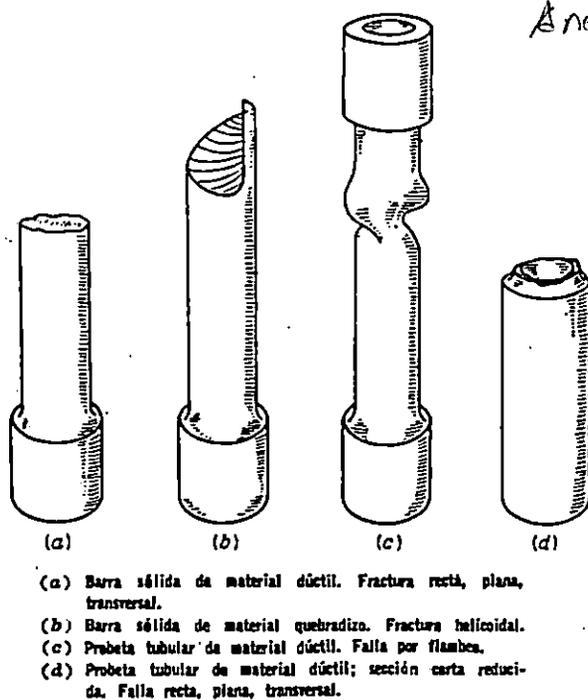


Fig. 2.7.- Tipos de falla en torsión.

2.5.2.- Preparación de Probetas para el Ensayo de Torsión.

Al preparar probetas de metal, si una "muestra" áspera es afectada por corte, perforación, o corte por soplete, la probeta terminada no debe contener parte alguna de metal dañado. La superficie terminada de probetas cortadas debe quedar a cuando menos 1/4 de plg de distancia de las superficies cortadas con soplete.

Debe tenerse cuidado de no doblar la pieza, porque la deformación del metal tiende a cambiar sus propiedades; en ensayos de probetas cortadas de secciones tubulares, el aplastamiento de las probetas ocurre frecuentemente.

El corte final en probetas metálicas maquinadas debe hacerse torneando, cepillando, o laminando y debe arrojar una superficie suficientemente fina para no influir en la falla.

El tamaño de la probeta terminada está, en general, gobernada por el de la pieza o del producto del cual se le tome y por la capacidad de la máquina de ensayo disponible para ensayarla. En muchos materiales el grado de homogeneidad o uniformidad estructural del material puede dictar el tamaño de la probeta que puede usarse.

Finalmente, debe concederse atención al marcaje y a la identificación de las probetas, así como al método para relacionar las muestras de ensayo con el lote o los lotes de material que representan.

2.5.3.-Fabricación de Probetas.

En la fabricación de probetas, es de gran importancia considerar ciertos aspectos que conllevan a obtener resultados con un mínimo margen de error. Una mala fabricación de la probeta implicaría una pérdida de material, tiempo, dinero y resultados erróneos.

Para poder evitar lo anterior es recomendable no alterar las propiedades del material del cual se está fabricando la probeta; para ello se debe realizar un mecanizado que genere los menores esfuerzos residuales posibles en la superficie del material, esto significa que la profundidad, avance y velocidad de corte deben ser los mínimos con los cuales la máquina (torno) puede trabajar, para este caso no existen datos experimentales recomendados que nos puedan dar los resultados que se esperan en la probeta ya que este factor constituye un estudio muy amplio, que implicaría fabricar probetas con diferentes profundidades, avances y velocidades de corte, seguido de un estudio metalográfico para poder determinar el tamaño de grano y conocer el efecto de cada variable en el comportamiento del material en torsión.

La fabricación de la probeta demanda un trabajo que se debe desarrollar de tal manera que la profundidad de corte vaya reduciéndose gradualmente a medida que se avance en el maquinado. Para el caso de una probeta fabricada a partir de una barra de acero 1020, de diámetro 5/8 de plg., los primeros cortes circunferenciales son de 0.5 mm de profundidad de tal forma que los últimos cortes sean de 0.0508 mm de profundidad.

La región más crítica de la probeta durante el mecanizado, lo constituye la garganta, es aquí donde se debe tener un mayor control del mecanizado.

El calentamiento originado por la operación de corte debe ser mínimo por lo que se debe aplicar un fluido refrigerante (taladrina), parte de este calor es evacuado en la viruta, en la herramienta de corte y otro porcentaje aumenta la temperatura del material de la probeta. Con una profundidad de corte pequeña, también se disminuyen los esfuerzos residuales originados por el mecanizado en la superficie y si es acompañado con un avance y velocidad de corte también pequeño, se logra un mínimo calentamiento.

La fabricación de la probeta comprende fundamentalmente cuatro operaciones:

- 1.- Desbastar o cilindrar.
- 2.- Maquinar la región de análisis.
- 3.- Maquinar los extremos de sujeción (cabezas).
- 4.- Pulir y realizar el acabado final a la superficie de análisis.

Las probetas son elaboradas manualmente, haciendo uso de un torno, teniendo en cuenta que todas las probetas deben ser lo más idénticas posibles.

2.6.- Normalización de la Prueba de Torsión Estática.

La máquina de pruebas de torsión estática, usualmente provee puntos de centrado entre las mordazas de los mandriles, es decir pequeños orificios o cavidades donde se inserta la probeta; por lo que ésta puede centrarse exactamente en la máquina.

Es prácticamente imposible determinar la resistencia al corte hasta el límite proporcional de las fibras extremas de una probeta de torsión, sólida. Es preferible una delgada probeta tubular para la determinación de esta propiedad.

Las probetas tubulares para determinaciones de la resistencia última al corte deben tener secciones cortas reducidas con una razón entre el largo de la sección reducida y el diámetro (L/D) alrededor de 0.5 y una razón entre el diámetro y el grueso (D/t) de aproximadamente 10 a 12.

Para determinaciones de la resistencia a la cedencia cortante y del módulo de rigidez, una probeta hueca que posea una longitud de cuando menos 10 diámetros y una razón entre el diámetro y el grueso de pared de aproximadamente 8 a 10, debe preferirse para su sección reducida. Para razones mayores entre el diámetro y el grueso existe una tendencia a la ocurrencia de la falla por flambeo (ver Fig. 2.7c), debido a los esfuerzos compresivos inclinados; esto afectaría apreciablemente el valor determinado para la resistencia a la cedencia. Las dimensiones reales de la probeta usada comúnmente se eligen de acuerdo con el tamaño y tipo de la máquina de ensayo disponible, así

como el producto a ensayar.

2.6.1.- Selección de Probetas.

Las probetas deben seleccionarse y prepararse con el propósito de arrojar una indicación confiable de las propiedades de los materiales o las partes que representen. Existen dos problemas involucrados en la selección de probetas:

1.- El establecimiento de procedimientos físicos para obtener muestras y,

2.- La determinación del número de probetas o la frecuencia de los ensayos necesarios.

En lo referente al primer problema, especificaciones normales para muestreo han sido especialmente preparadas por la ASTM para un número de materiales de ingeniería.

En cuanto al segundo problema, la teoría del muestreo prevé una guía, aunque en muchos casos el número de probetas o ensayos a utilizar se basa en la costumbre o la experiencia. Aunque para el ensayo rutinario y la inspección el procedimiento de muestreo es usualmente prescrito de manera definitiva, resulta, no obstante, deseable que el inspector (encargado de realizar los ensayos de los materiales), posea suficientes conocimientos generales de la producción de un material particular para que sepa qué constituye una muestra realmente representativa. Sobre todo el sentido común debe usarse tanto en la

selección como en la preparación de probetas.

Los criterios principales para la selección de la probeta de torsión son que:

1.- Las probetas deben ser de tal tamaño que permitan que las mediciones de deformación deseadas se logren con exactitud adecuada.

Y,

2.- De tales proporciones que durante la toma de mediciones, se puedan eliminar aquellas partes de su geometría que tengan un efecto de concentración de esfuerzos; por ejemplo, los radios de acuerdo en los extremos de sujeción (cabezas). Los extremos deben ser tales que puedan sujetarse y asegurarse sin desarrollar esfuerzos suficientemente localizados para causar la falla en las mordazas. Ordinariamente las mordazas de los mandriles de la máquina adoptan la forma de bloques o transmisiones, algunos tipos de los cuales automáticamente aprietan según el torque es aplicado. Debe tenerse cuidado al sujetar la probeta para no introducir flexión.

El ensayo de torsión de metales se realiza en una máquina especial de ensayo, diseñada con este propósito. Una ilustración de un tipo de máquina de ensayo de torsión se muestra en la Fig. 2.5.

CAPITULO III

ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA MAQUINA DE
TORSIÓN ESTÁTICA

3.1.- GENERALIDADES DEL DISEÑO.

3.1.1.- COMPONENTES DE LA MAQUINA DE TORSIÓN ESTÁTICA.

La máquina para ensayos de torsión estática, es una máquina especial la cual debe garantizar: un adecuado centraje de la muestra, suavidad en el proceso de aplicación de carga, la ausencia de fuerzas de flexión y la posibilidad de calcular y medir con suficiente exactitud la magnitud del torque y del ángulo de torsión. La función de la máquina para ensayos de torsión estática, la desarrollan los siguientes componentes o sistemas:

1.- El Sistema de Transmisión de Potencia (Eje, Engrane Helicoidal, Tornillo Sinfín, Manivela y Rodamientos), el cual está constituido básicamente, por un engrane de tornillo sinfín, y se encarga de transmitir el torque a la probeta.

2.- El Sistema de Sujeción de la Probeta (Porta mordazas, Mordazas, Cuñas, Tornillo de Avance y Manivela), es el que se encarga de alojar y sujetar a la probeta.

3.- El Sistema de Medición de Carga (Báscula o dinamómetro y Palanca de Fuerza), tiene como función registrar la magnitud de la fuerza o torque aplicado a la probeta durante el ensayo.

4.- El Sistema de Medición de Deformación (Indicador de Carátula y Mecanismo del Medidor "torsiómetro"), éste sistema consiste de un medidor llamado torsiómetro el cual se sujeta firmemente a la probeta y

mide la deformación de corte por torsión en la probeta.

Elementos que constituyen la máquina:

- | | |
|--------------------------------------|--|
| 1.- Probeta. | 11.- Caja de Engrane. |
| 2.- Engrane de sinfín. | 12.- Soporte Fijo. |
| 3.- Tornillo sinfín. | 13.- Eje del Soporte Fijo. |
| 4.- Manivela del Tornillo Sinfín. | 14.- Rodamientos del Tornillo de Avance. |
| 5.- Eje de Engrane. | 15.- Tuercas del Tornillo de Avance. |
| 6.- Porta mordaza. | 16.- Palanca de Fuerza. |
| 7.- Mordaza. | 18.- Estructura de la Máquina |
| 8.- Tornillo de Avance. | A,B,C,D: Rodamientos para Eje. |
| 9.- Manivela del Tornillo de Avance. | E,F: Rodamientos para el Sinfín |
| 10.- Soporte del tornillo de avance | |

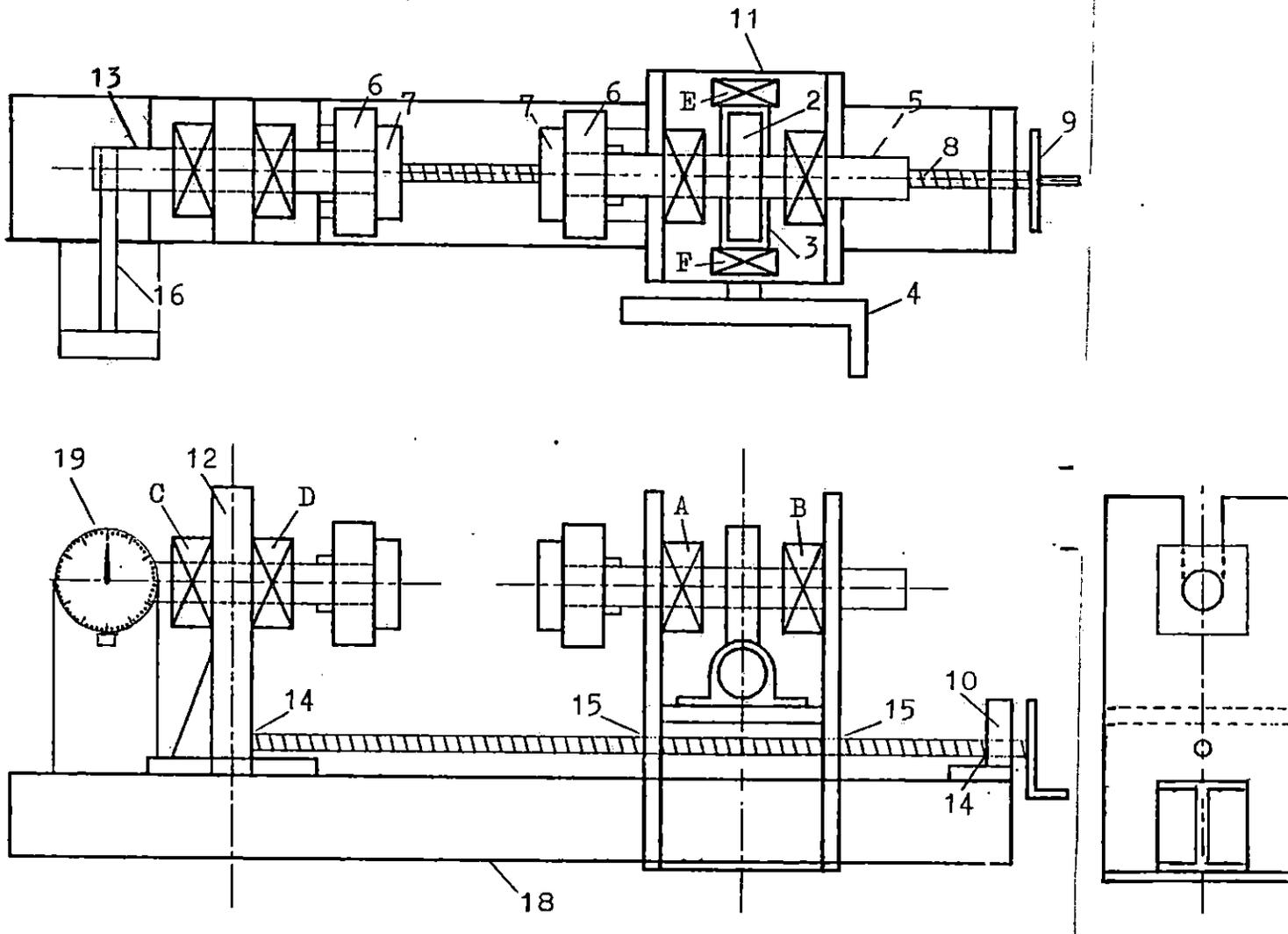


Fig. 3.1.- Componentes de la Máquina para Ensayos de Torsión Estática.

3.1.2.- DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA MÁQUINA.

La capacidad máxima de la máquina para ensayos de torsión se define como el torque máximo que ésta pueda aplicar; para la determinación de ese torque se analizará una probeta mecanizada de alta resistencia.

Propiedades mecánicas del material seleccionado (pág. 482, /6/):

- Material: Acero al 1% de carbono.
- Tratamiento térmico : Templado en aceite.
- Resistencia de fluencia a la tensión : 140 KPSI.
- Resistencia última a la tensión : 220 KPSI.
- Resistencia última al corte por torsión (τ_u): 185 KPSI.
: 1275.575 MPa.
- Resistencia de cedencia al corte por torsión (τ_y): 84 KPSI.
: 579.18 MPa.
- Módulo de elasticidad en tensión : 30 MPsi
- Módulo de elasticidad (rigidez) en torsión : 12 MPsi.
- Dureza Brinell : 430 \cong 45.5 DRC.

El diagrama de cuerpo libre para la probeta, se muestra en la siguiente figura:

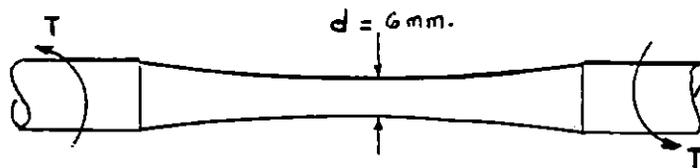


Fig. 3.2: Diagrama de cuerpo libre para la probeta.

Por simple inspección puede determinarse que la sección más crítica de la probeta es la de menor diámetro ($d=0.006$ m).

Aplicando la teoría de la torsión, presentada en el capítulo 1 (sección 1.4), la cuál establece que el esfuerzo es proporcional a la deformación hasta que se alcanza el límite elástico y continúa siendo constante después de alcanzar éste. Por lo tanto podemos conocer:

a).- El Momento de Torsión Elástico Máximo (T_E):

$$T_E = (\pi \tau_y c^3)/2 ; (\text{Pág. 128, /7/}).$$

$$T_E = 24.564 \text{ N}\cdot\text{m}.$$

Donde: $c = 0.5(d)$.

b).- El Momento de Torsión Completamente Plástico (T_{FP}):

Es el valor de torque máximo necesario para deformar plásticamente la probeta, y está dado por:

$$T_{FP} = 2/3 \pi \tau_y c^3$$

$$T_{FP} = T_{max} = 32.75 \text{ Nm}$$

c).- El Momento de Torsión de Ruptura (T_u):

Justo en el momento de la ruptura de la probeta, se tiene que $\tau = \tau_u$, por lo que $T = T_u = T_{max}$; por tanto:

$$T_{max} = (\pi \tau_u c^3)/2$$

$$T_{\max} = 54.1 \text{ N.m}$$

Este valor de torque máximo ha sido calculado asumiendo una relación de proporcionalidad entre T y ϕ , hasta la ruptura. El diagrama de Torque - Ángulo de torsión, describe teóricamente una línea recta, lo cual no es totalmente cierto, ya que no se toman en cuenta los esfuerzos de fricción.

Los valores calculados para T_{Pp} y T_u (32.75 y 54.1 N.m respectivamente), dan una idea de la capacidad que debe poseer la máquina. Se seleccionará un valor mayor o igual a los 54.1 N.m ya que de ésta forma la máquina tendrá una mayor rigidez para ensayos en probetas cuya resistencia al corte por torsión sea menor o igual a 185 KPSI. Por lo tanto la capacidad de la máquina será de **55 N.m**

3.2.- DISEÑO DEL SISTEMA DE APLICACIÓN DE CARGA.

El mecanismo de tornillo sinfín con rueda helicoidal se utiliza para transmitir movimiento y potencia entre flechas o ejes que no se interceptan, por lo general se encuentran a 90 grados entre sí. El impulsor consiste de un gusano o tornillo sinfín en la flecha de alta velocidad cuyo aspecto general es el de un tornillo de potencia roscado: la cuerda o rosca es helicoidal.

El tornillo sinfín impulsa un engranaje de tornillo sinfín, cuyo aspecto es similar al de un engrane helicoidal (ver, fig. B-1 y B-2, en Anexo). En ocasiones se hace mención al mecanismo de engranaje de

tornillo sinfín como rueda de gusano o solo rueda o engrane.

Los engranes pueden ser de simple o de doble envolvente. En el conjunto de envolvente simple, el ancho del engrane helicoidal esta cortado con superficie cóncava, de este modo envuelve parcialmente al sinfín al tiempo de estar engranado. Y el de doble envolvente tanto el engrane como la longitud del sinfín están cortados con superficies cóncavas.

Todos los engranes de tornillo sinfín deben quedar cuidadosamente montados para asegurar el funcionamiento adecuado. La instalación del sinfín es sencilla en alguna medida debido a que la alineación axial no es de importancia crítica. Sin embargo el engrane debe alinearse axialmente con todo cuidado para aprovechar la acción envolvente.

3.2.1.- DISEÑO DEL SISTEMA ENGRANAJE DE TORNILLO SINFIN.

3.2.1.1.- SIMBOLOGIA DEL CONJUNTO DE ENGRANAJE DE SINFIN.

r_v = relación de velocidades.

N_G = número de dientes del engrane.

N_W = número de dientes del sinfín.

n_G = velocidad del engrane (rpm).

n_W = velocidad del sinfín (rpm).

c = distancia entre centros.

d_W = diámetro de paso del sinfín.

d_G = diámetro de paso del engrane.

p_{tG} = paso circular del engrane conectado.

p_{xW} = paso axial del sinfín.

L = Avance.

λ = Ángulo de avance del sinfín.

ϕ_n = Ángulo de presión normal.

ψ_G = Ángulo de la hélice del engrane.

P_G = Paso diametral del engrane.

F_G = Ancho de cara del engrane.

μ = coeficiente de fricción.

P_{nG} = Paso diametral normal del engrane.

w_G = velocidad angular del engrane.

V_G = Velocidad en la línea de paso del engrane.

w_W = velocidad angular del sinfín.

V_W = Velocidad en la línea de paso del sinfín.

V_s = Velocidad de deslizamiento.

w^x, w^y, w^z = Componentes ortogonales de la fuerza.

W_{tG} = Fuerza tangencial en el engrane.

W_{rG} = Fuerza radial en el engrane.

W_{aG} = Fuerza axial en el engrane.

W_{tW} = Fuerza tangencial en el sinfín.

W_{rW} = Fuerza radial en el sinfín.

W_{aW} = Fuerza axial en el sinfín.

T_G = Momento de torsión del eje de la rueda.

σ_B = Esfuerzo por flexión admisible.

L_W = Longitud axial del sinfín.

3.2.1.2.- GEOMETRÍA DE TORNILLO SINFÍN Y ENGRANE HELICOIDAL.

Un requisito básico del conjunto de tornillo y engrane es que el paso axial del sinfín debe ser igual al paso circular del engrane para que enlacen debidamente.

El paso axial, se define como la distancia desde un punto en la cuerda del sinfín hasta el punto correspondiente en la siguiente cuerda adyacente, medido de manera axial en el cilindro de paso. Al igual que antes, el paso circular para el engrane se define como la distancia desde un punto en un diente del círculo de paso del engrane hasta el punto correspondiente en el diente siguiente adyacente, medido a lo largo del círculo de paso.

Los tornillos sinfín pueden tener una cuerda única, como un tornillo común, o cuerdas múltiples, por lo regular dos o cuatro.

El desplazamiento de un tornillo sinfín es la distancia axial que se moverá un punto del sinfín conforme este gire una revolución o giro completo. El desplazamiento está relacionado con el paso axial.

El ángulo de desplazamiento es el ángulo entre la tangente hacia la cuerda del sinfín y la línea perpendicular al eje del mismo.

La velocidad de la línea de paso es la velocidad lineal de un punto en la línea de paso para el sinfín o engrane, estos valores de velocidad no son iguales. A la relación de velocidad del tornillo sinfín y engrane se le denomina relación de velocidad de salida.

Casi todos los engranes disponibles en el mercado se fabrican con ángulos de presión de 14.5, 20, 25 ó 30 grados. Los ángulos de presión bajos se emplean con tornillos que tienen un ángulo de desplazamiento bajo y/o un paso diametral bajo.

3.2.1.3.- ECUACIONES CINEMATICAS DEL CONJUNTO DE ENGRANAJE DE SINFIN.

Relación de velocidades (relación de transmisión i):

$$r_v = n_w/n_G = N_G/N_w \quad (3.1)$$

Asumiendo una relación de transmisión de:

$$r_v = 1/40$$

$$\therefore N_G = 40 \text{ dientes}$$

$$N_w = 1 \text{ diente}$$

Asumiendo una distancia entre centros:

$$c = 10 \text{ cm.} \equiv 100 \text{ mm.}$$

Utilizando la siguiente ecuación /1/:

$$\frac{c^{0.875}}{2.67} \leq d_w \leq \frac{c^{0.875}}{1.503} \quad (3.2)$$

$$\frac{(10)^{0.875}}{2.67} \leq d_w \leq \frac{(10)^{0.875}}{1.503}$$

$$2.81 \leq d_w \leq 4.99$$

Seleccionando un valor de diámetro de paso del sinfín (d_w) igual a:

$$d_w = 4 \text{ cm.} \equiv 40 \text{ mm.}$$

La distancia entre centros está dada por:

$$c = \frac{d_w + d_G}{2} \quad (3.3)$$

∴ El diámetro de paso del engrane (d_G):

$$d_G = 2C - d_w \quad (3.4)$$

$$d_G = 2(10) - (4)$$

$$d_G = 16 \text{ cm.} \approx 160 \text{ mm.}$$

Paso diametral del engrane (P_G):

$$P_G = \frac{N_G}{d_G} \quad (3.5)$$

$$P_G = 40/16 = 2.5 \text{ dientes/cm.}$$

Paso circular del engrane (P_{tG}) es igual al paso axial del sinfín (P_{xw}).

$$P_{tG} = \frac{\pi}{P_G} \quad (3.6)$$

$$P_{tG} = \pi/2.5 = 1.257 \text{ cm.} \approx 12.57 \text{ mm.}$$

Sugerencia:

Con respecto al paso axial del sinfín, la AGMA sugiere el valor estándar de 1.27 cm. En el caso particular del engranaje de sinfín analizado se utilizará el valor calculado:

$$P_{tG} = 1.257 \text{ cm.}$$

$$\therefore P_{xw} = P_{tG} = 1.257 \text{ cm.} \approx 12.57 \text{ mm.}$$

Módulo del engrane (m):

$$m = \frac{d_G}{N_G} \quad (3.7)$$

$$m = 160/40 = 4 \text{ mm/diente}$$

El avance (L):

$$L = P_{xw} N_w \quad (3.8)$$

$$L = (12.57)(1) = 12.57 \text{ mm.}$$

Ángulo de avance del sinfín (λ_w):

$$\lambda_w = \tan^{-1} \left(\frac{L}{\pi d_w} \right) \quad (3.9)$$

$$\lambda_w = \tan^{-1} \left(\frac{12.57}{\pi(40)} \right) = 5.71^\circ$$

Para un ángulo entre ejes de 90°, el ángulo de avance en el sinfín (λ_w) y el ángulo de hélice en el engrane (ψ_G) son iguales, es decir:

$$\lambda_w = \psi_G = 5.71^\circ$$

Paso diametral normal del engrane (P_{nG}):

$$P_{nG} = \frac{P_G}{\cos \psi_G} \quad (3.10)$$

$$P_{nG} = \frac{0.25}{\cos(5.71^\circ)} = 0.251 \text{ dientes/mm.}$$

Considerando una velocidad de rotación máxima de 225 grados/min.
en el sinfín (W_w):

$$W_w = 225 \frac{\text{grados}}{\text{seg.}} * \frac{1 \text{ rev}}{360 \text{ grados}} * \frac{2\pi \text{ rad}}{1 \text{ rev.}}$$

$$W_w = 3.927 \text{ rad/seg.}$$

Velocidad en la línea de paso del sinfín (V_W):

$$V_W = W_W r_W \quad (3.11)$$

$$V_W = (3.927) (40/2) ; \text{ mm/seg.}$$

$$V_W = 78.525 \text{ mm/seg.} \approx 15.469 ; \text{ pie/min.}$$

Velocidad en la línea de paso del engrane (V_G):

$$V_G = V_W \tan \lambda_W \quad (3.12)$$

$$V_G = (78.525) (\tan 5.71) ; \text{ mm/seg.}$$

$$V_G = 7.852 \text{ mm/seg.} \approx 1.547 \text{ pie/min.}$$

Velocidad de deslizamiento (V_s):

$$V_s = \frac{V_W}{\cos \lambda_W} \quad (3.13)$$

$$V_s = \frac{78.525}{\cos(5.71^\circ)} ; \text{ mm/seg.}$$

$$V_s = 78.916 \text{ mm/seg.} \approx 15.542 \text{ pie/min.}$$

Para una velocidad de deslizamiento comprendida entre $3 < V_s < 70$; pie/min., el coeficiente de fricción (μ) se define por la siguiente ecuación (pág. 656, /1/):

$$\mu = \frac{0.155}{V_s^{0.2}} \quad (3.14)$$

$$\mu = \frac{0.155}{(15.542)^{0.2}} = 0.0895$$



Ángulo de presión normal (ϕ_n), de tabla A-1 (ver, Anexo), para un

ángulo de avance $\lambda_w = 5.71^\circ$

$$\phi_n = 14.5^\circ$$

Una porción razonable del ancho de la cara del engrane es que el ancho no sea mayor que el radio del círculo exterior del sinfín (pág. 660, /1/).

3.2.1.4.- PARÁMETROS DE DISEÑO PARA LA GEOMETRÍA DEL CONJUNTO DE ENGRANAJE DE SINFÍN.

Diámetro externo del sinfín (D_{OW}) es:

$$D_{OW} = d_w + 2(0.3183) (p_{xw}) \quad (3.15)$$

$$D_{OW} = 40 + 2(0.3183) (12.57); \text{ mm.}$$

$$D_{OW} = 48 \text{ mm.}$$

∴ El ancho de la cara del engrane (F_G) es:

$$F_G = 1/2 [d_w + 2(0.3183) (p_{xw})] \quad (3.16)$$

$$F_G = 1/2 [40 + (2)(0.3183) (12.57)]$$

$$F_G = 24 \text{ mm.}$$

Diámetro de raíz del sinfín (D_{rw}) es:

$$D_{rw} = d_w - 2(0.3683) (p_{xw}) \quad (3.17)$$

$$D_{rw} = 40 - (2)(0.3683) (12.57); \text{ mm.}$$

$$D_{rw} = 30.741 \text{ mm.}$$

La raíz (b) es:

$$b = 0.3683 (p_{xw}) \quad (3.18)$$

$$b = (0.3683)(12.57); \text{ mm.}$$

$$b = 4.629 \text{ mm.}$$

Diámetro de garganta del engrane (D_t) es:

$$D_t = d_G + 2(0.3683)(p_{xw}) \quad (3.19)$$

$$D_t = 160 + 2(0.3683)(12.57); \text{ mm.}$$

$$D_t = 169.26 \text{ mm.}$$

Longitud axial del sinfín (L_W) es:

$$L_W = 2[(D_t/2)^2 - d_G/2 - (0.3183)(p_{xw})] \quad (3.20)$$

$$L_W = 2[(168/2)^2 - (160/2) - (0.3183)(12.57)^2]^{1/2}; \text{ mm.}$$

$$L_W = 71.554 \text{ mm.}$$

Diámetro de raíz del engrane (D_{rG}) es:

$$D_{rG} = d_G - 2(0.3683)(p_{xw}) \quad (3.21)$$

$$D_{rG} = 160 - 2(0.3683)(12.57); \text{ mm.}$$

$$D_{rG} = 150.741 \text{ mm.}$$

Profundidad de trabajo (h_K) es:

$$h_K = 2/P_G \quad (3.22)$$

$$h_K = 2/0.25; \text{ mm.}$$

$$h_K = 8 \text{ mm.}$$

Profundidad total (h_t) es:

$$h_t = 2.157/P_G \quad (3.23)$$

$$h_t = 2.157/0.25; \text{ mm.}$$

$$h_t = 8.628 \text{ mm.}$$

3.2.1.5.- ESFUERZO EN LOS DIENTES DEL CONJUNTO DE ENGRANAJE DE SINFÍN.

Esfuerzo por flexión admisible (σ_B) es:

$$\sigma_B = \frac{T_G(1.5)N_G}{(d_G)^2 F_G \cos \psi_G} \quad (3.24)$$

$$\sigma_B = \frac{(55 \text{ N-m}) (1.5) (40)}{(0.16)^2 (0.024) \cos(5.71)} ; \text{ N/m}^2$$

$$\sigma_B = 5.398 \times 10^6 \text{ N/m}^2 \cong 5.398 \text{ MPa}$$

Con σ_B y la tabla A-3 (ver, anexo), seleccionamos el material para el Engrane: **BRONCE AL FÓSFORO** (fundido en molde de arena).

Para el sinfín se puede seleccionar desde acero AISI 1020 hasta un AISI 1060, debido a que las propiedades mecánicas de estos materiales, principalmente la dureza cumple con ser mayor que la del material del engrane, obteniéndose con ello un mejor deslizamiento entre las cuerdas del sinfín y los dientes del engrane.

\therefore EL SINFÍN SE FABRICARA DE **ACERO AISI 1045**, EN ESTADO DE ENTREGA.

3.2.1.6.- SISTEMA DE FUERZAS EN EL CONJUNTO DE ENGRANAJE DE SINFÍN.

Procedimiento para calcular las fuerzas que actúan en un sistema de engranajes de sinfín. Una vez determinado:

- El Torque de salida en el eje del engrane (T_G):

$$T_G = 55 \text{ N m.}$$

- La velocidad de salida en el eje del engrane (W_G):

$$W_G = 5.889 \text{ rad/min.}$$

- Diámetro de paso del engrane (d_G):

$$d_G = 160 \text{ mm} \equiv 0.16 \text{ m.}$$

- Coeficiente de fricción (μ):

$$\mu = 0.0895$$

- Ángulo de avance del sinfín (λ_W):

$$\lambda_W = 5.71^\circ.$$

- Ángulo de presión normal (ϕ_n):

$$\phi_n = 14.5^\circ.$$

Calculando la Fuerza Tangencial en el Engrane (W_{tG}):

$$W_{tG} = (2 T_G) / d_G. \quad (3.25)$$

$$W_{tG} = 110 / 0.16 ; N$$

$$W_{tG} = 687.5 \text{ N.}$$

Calculando la fuerza axial en el engrane (W_{aG}):

$$W_{aG} = W_{tG} \left(\frac{\cos \phi_n \operatorname{sen} \lambda_W + \mu \cos \lambda_W}{\cos \phi_n \cos \lambda_W - \mu \operatorname{sen} \lambda_W} \right) \quad (3.26)$$

$$W_{aG} = 687.5 \left(\frac{\cos (14.5) \operatorname{sen} (5.71) + (0.0895) \cos (5.71)}{\cos (14.5) \cos (5.71) - (0.0895) \operatorname{sen} (5.71)} \right)$$

$$W_{aG} = 133.5525 \text{ N.}$$

Calculando la fuerza radial en el engrane (W_{rG}):

$$W_{rG} = W_{tG} \frac{\text{sen } \phi_n}{(\cos \phi_n \cos \lambda_w - \mu \text{sen } \lambda_w)} \quad (3.27)$$

$$W_{rG} = 687.5 \frac{\text{sen } (14.5)}{(\cos (14.5) \cos (5.71) - (0.0895) \text{sen } (5.71))}$$

$$W_{rG} = 180.3607 \text{ N.}$$

3.2.2.- SELECCIÓN DE MANIVELA DEL TORNILLO SINFIN.

La manivela del tornillo sinfin, es el elemento por medio del cual se aplica, manualmente, la carga de entrada a la máquina de torsión.

Las fuerzas actuantes sobre la manivela, son: la fuerza tangencial en el tornillo y la carga externa (F) aplicada. En la fig. 3.2, se presenta el diagrama de cuerpo libre de la manivela.

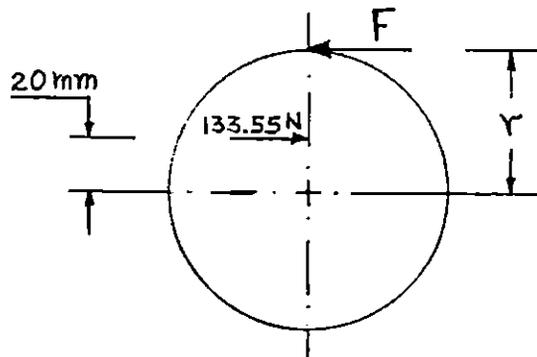


Fig.3.3.- Diagrama de cuerpo libre de la manivela

Si la manivela gira con un velocidad constante, se tendrá un equilibrio dinámico y puede escribirse la siguiente ecuación:

$$F(r) = 20(133.550); \quad r [\text{mm}] \text{ y } F [\text{N}] \quad (3.28)$$

$$F = 2653.44/(r).$$

Asumiendo distintos valores para el radio de la manivela, pueden encontrarse diversos valores de carga necesarios para accionar la máquina; en la tabla No. 3.1, se representan diversos valores.

Radio de Manivela. [mm]	Fuerza Aplicada.	
	[N]	[Lbf]
50	53.069	11.930
100	26.534	5.965
150	17.690	3.977
200	13.267	2.982

Tabla No. 3.1.- Diferentes valores de fuerza externa para diversos valores de radio de la manivela.

En la tabla No. 3.1, puede observarse que a medida se incrementa el radio de la manivela, disminuye la carga externa aplicada. Se seleccionará una manivela de radio tal que la fuerza externa aplicada sea pequeña, y que su tamaño proporcione buena apariencia a la máquina.

Considerando lo antes mencionado, se seleccionará una manivela de 150 mm de radio a la cual deberá aplicársele una fuerza externa de 17.690 N (3.977 Lbf) para fracturar la probeta de máxima resistencia

considerada.

La transmisión de torque entre la manivela y el tornillo sinfín se logrará utilizando una chaveta.

El diseño por resistencia mecánica, de la manivela del tornillo sinfín, no es de gran relevancia, ya que las cargas externas aplicadas a éste elemento son muy bajas. La selección de forma y demás dimensiones, obedecen a la obtención de bajo peso, buena ergonomía y apariencia.

3.3.- DISEÑO DEL EJE DE ENGRANE.

El eje de engrane, es el elemento a través del cual se transmite el momento de torsión desde el engrane helicoidal hasta el porta mordazas. La forma escalonada del eje, obedece a la facilidad de localización axial de cada uno de los elementos que sobre él se montarán. En la Fig. 3.4, se muestra el eje con sus respectivas dimensiones.

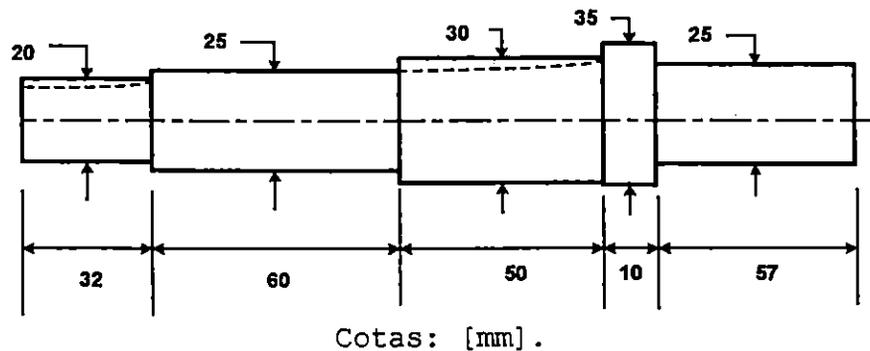


Fig. 3.4.- Eje de Engrane.

Mediante un proceso de análisis de esfuerzo, se determinará la resistencia que debe poseer el material del cual debe construirse el eje.

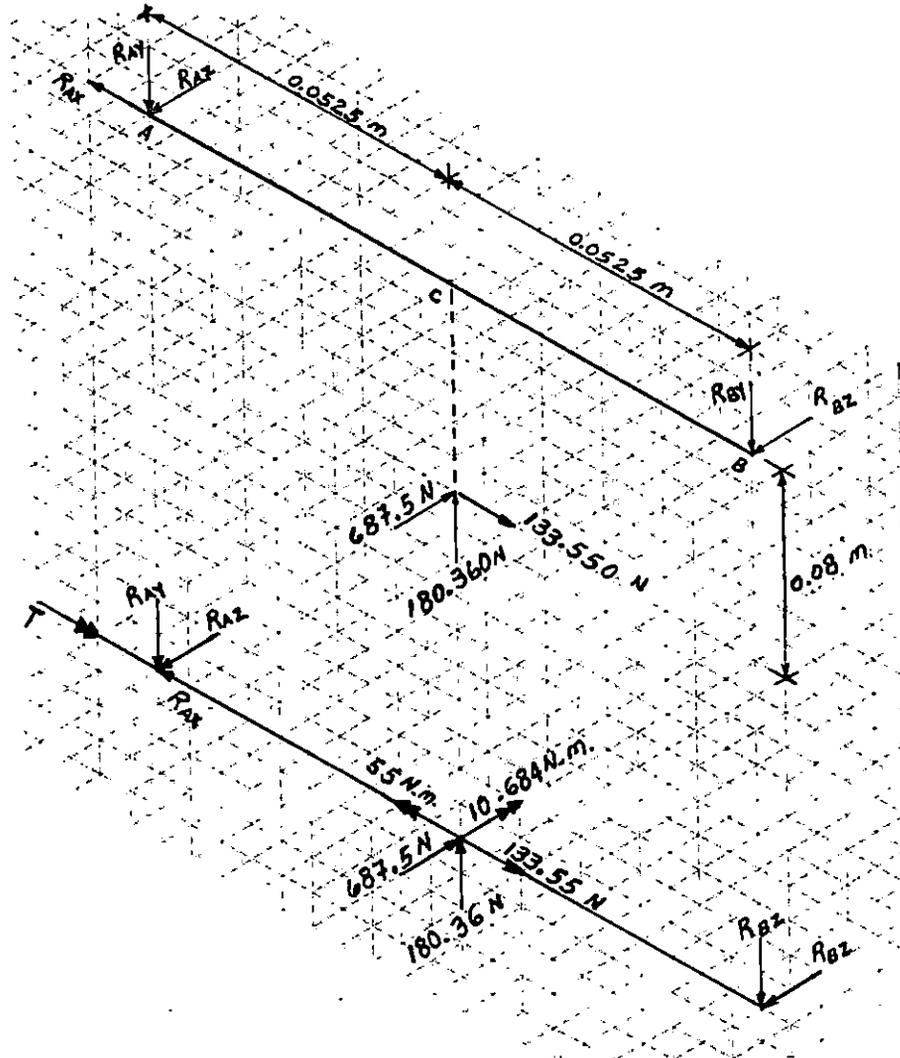


Fig. 3.5.- Diagrama de cuerpo libre del conjunto eje y engrane helicoidal.

La figura 3.5, representa un croquis isométrico de las fuerzas actuantes sobre el eje y el engrane helicoidal y las respectivas reacciones en los cojinetes A y B del eje del engrane. En la parte inferior de la figura 3.4, se representa un diagrama del cuerpo libre

equivalente, habiéndose trasladado las fuerzas y su respectivo momento hasta el eje.

3.3.1.- ANÁLISIS DE FUERZAS.

Para la determinación de las reacciones en los cojinetes A y B, se utiliza el diagrama de cuerpo libre (DCL) del conjunto de EJE-ENGRANE, de donde se toman momentos con respecto a los ejes X, Y y Z y se encuentra el torque T en el eje X, las reacciones R_{By} y R_{Bz} en el cojinete B, luego haciendo sumatoria de fuerzas en los tres ejes coordenados se determinan las reacciones en el cojinete A.

$$+\curvearrowright \Sigma M_x = 0 \quad (3.29)$$

$$T - 55 = 0$$

$$T = 55 \text{ Nm.}$$

$$+\curvearrowright \Sigma M_z = 0 \quad (3.30)$$

$$R_{By} = 11.53 \text{ N.}$$

$$+\curvearrowright \Sigma M_y = 0 \quad (3.31)$$

$$R_{Bz} = 343.75 \text{ N.}$$

$$+\uparrow \Sigma F_y = 0 \quad (3.32)$$

$$R_{Ay} = 168.83 \text{ N.}$$

$$+\downarrow \Sigma F_z = 0 \quad (3.33)$$

$$R_{Az} = 343.75 \text{ N.}$$

$$\rightarrow \Sigma F_x = 0 \quad (3.34)$$

$$R_{Ax} = 132.672 \text{ N.}$$

Fuerza radial en el cojinete A (F_{Ar}): Utilizando el teorema de Pitágoras, se tiene:

$$F_{Ar} = \sqrt{(R_{Ay}^2 + R_{Az}^2)} \quad (3.35)$$

$$F_{Ar} = 382.97 \text{ N.}$$

Fuerza axial en el cojinete A (F_{Aa}):

$$F_{Aa} = R_{Ax} \quad (3.36)$$

$$F_{Aa} = 133.55 \text{ N.}$$

Fuerza radial en el cojinete B (F_{Br}):

$$F_{Br} = \sqrt{(R_{By}^2 + R_{Bz}^2)} \quad (3.37)$$

$$F_{Br} = 343.94 \text{ N.}$$

Fuerza axial en el cojinete B (F_{Ba}): Este cojinete no está soportando carga axial, por lo tanto:

$$F_{Ba} = 0$$

3.3.2.- ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN EL EJE.

El análisis de esfuerzos en el eje permitirá conocer la

resistencia mínima que debe poseer el eje, para poder transmitir el momento de torsión (T) de 55 N m, sin sobrepasar su límite de fluencia.

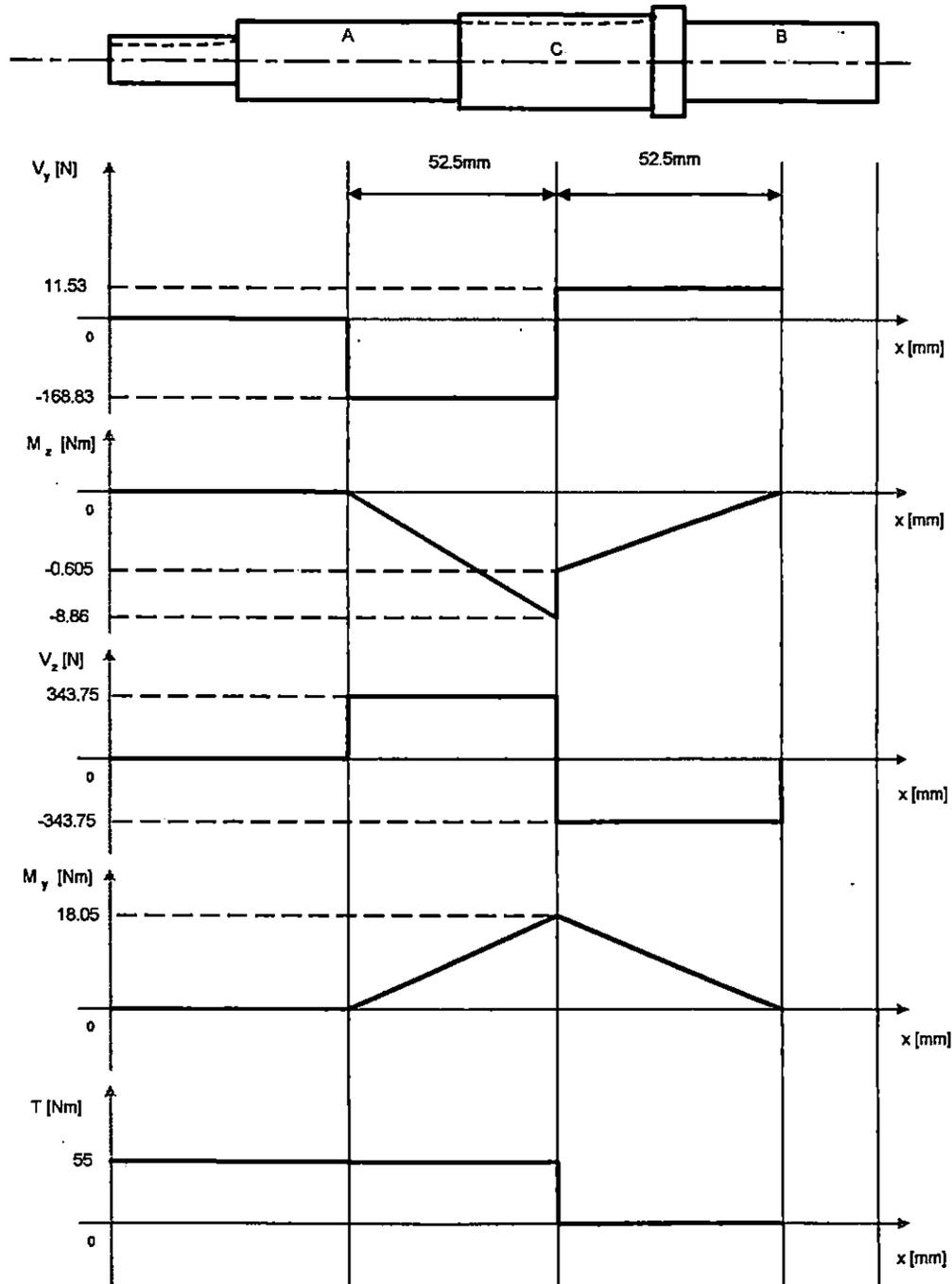


Fig. 3.6.- Diagrama de Cortante y Momento Flexionante.

La Fig. 3.6, muestra esquemáticamente el eje con su geometría, En la misma figura, se representan los diagramas de cortante (V) y momento flexionante (M) en los ejes coordenados Y y Z respectivamente; además se muestra el diagrama del momento de torsión (T) en el eje X.

3.3.2.1.- Determinación del punto más crítico del eje.

El punto más crítico será el punto de mayor esfuerzo; dicho de otra forma, será el punto del eje que tiene mas posibilidades de fallar.

POSIBLES PUNTOS CRÍTICOS:

I.- PUNTO C:

Este punto podría estar sometido a un esfuerzo máximo porque está sujeto a los efectos del momento flexionante máximo, el torque y la concentración de esfuerzos por el chavetero; aunque el diámetro en este punto es mayor que en otras secciones, véase fig. 3.5.

Momento flexionante en C:

$$M_c = \sqrt{(M_{zmáx.}^2 + M_{ymáx.}^2)} \quad (3.38)$$

$$M_c = \sqrt{((8.39)^2 + (16.406)^2)}$$

$$M_c = 20.11 \text{ Nm}$$

Concentración de esfuerzos:

Los factores de concentración de esfuerzos para chaveteros,

dependen de los valores del radio de entalle en el fondo y en los extremos del chavetero; para entalles cortados con fresa de máquina fresadora estándar, los diagramas de Peterson dan un $K_t = 2.14$ para flexión y un $K_{ts} = 2.65$ para torsión (pág. 417, /2/). La carga axial que actúa entre el engrane y el cojinete A es de tensión; además es muy pequeña, por lo que puede ignorarse el efecto de la concentración de esfuerzos para carga axial.

Momento de torsión:

El momento de torsión entre A y C es constante y tiene un valor de:

$$T = 55 \text{ Nm, (ver, fig. 3.5).}$$

Carga axial:

La carga axial entre A y C es de tensión y tiene un valor constante de:

$$F = 133.55 \text{ N.}$$

CRITERIO DE FALLA A UTILIZAR:

El criterio de falla que se utilizará para analizar el eje es el criterio de TRESCA o Teoría de Esfuerzo Cortante Máximo, dado que se pretende fabricar el eje de un material dúctil y de baja dureza; de tal forma que se facilite el maquinado del mismo.

Los esfuerzos en un punto de la superficie de un eje macizo, de diámetro d , que se somete a cargas de flexión, axiales y de torsión son:

$$\sigma_x = 32M/\pi d^3 + 4F/\pi d^2 \quad (3.39)$$

$$\tau_{xy} = 16T/\pi d^3 \quad (3.40)$$

Donde la componente axial puede ser aditiva o sustractiva (tensión o compresión). Según la teoría del esfuerzo cortante máximo se tiene que:

$$\tau_{\text{máx.}} = \sqrt{((\sigma_x/2)^2 + (\tau_{xy})^2)} \quad (3.41)$$

Sustituyendo los valores de σ_x y τ_{xy} e introduciendo los efectos de la concentración de esfuerzos por flexión y por torsión, se tiene:

$$\tau_{\text{máx.}} = \sqrt{(((16K_t M/\pi d^3) + (2F/\pi d)^2)^2 + (16K_{ts} T/\pi d^3)^2)} \quad (3.42)$$

La teoría del esfuerzo cortante máximo establece que:

$$\tau_{\text{máx.}} = S_{sy}/n = S_y/2n \quad (3.43)$$

Donde: n = factor de seguridad.

Sustituyendo $\tau_{\text{máx.}}$ en la ecuación 3.42, y despejando la resistencia de fluencia S_y .

$$S_y = 2n \sqrt{(((16K_t M/\pi d^3) + (2F/\pi d)^2)^2 + (16K_{ts} T/\pi d^3)^2)} \quad (3.44)$$

Con esta ecuación, se determina el valor de resistencia mínima que debe poseer el eje.

Evaluando la ecuación 3.44 para los siguientes valores de carga, concentradores de esfuerzos y el factor de seguridad:

$$M = M_c = 18.427 \text{ Nm.}$$

$$T = 55 \text{ Nm.}$$

$$F = 133.55 \text{ N.}$$

$$K_t = 2.14$$

$$K_{ts} = 2.62$$

$$n = 2$$

$$d = 0.030 \text{ m.}$$

Encontramos que :

$$S_y = 113.6 \text{ Mpa.}$$

II.- PUNTO UBICADO EN EL CAMBIO DE SECCION (de 35 mm a 25 mm de diámetro):

Momento flexionante (M):

A una distancia igual a 0.0825 m. del centro del cojinete A (asumiendo un cojinete de 45 mm de ancho), se encuentra el cambio de sección transversal de 35 mm a 25 mm de diámetro. Refiriéndose a los diagramas de momento flexionante (Fig. 3.5), M_y y M_z , utilizando la relación de triángulos semejantes y el Teorema de Pitágoras, puede determinarse el momento flexionante equivalente (M) en la superficie del eje.

$$M = 7.74 \text{ Nm.}$$

Concentración de esfuerzos:

Determinando el concentrador de esfuerzo por flexión K_t .

$$K_t = ?$$

Con, $D/d = 1.4$; $r/d = 0.15$. Y utilizando la fig. B-6 (ver, anexo), se tiene:

$$K_t = 1.5$$

Determinando el concentrador de esfuerzos por torsión K_{ts} .

$$K_{ts} = ?$$

Con $D/d = 1.4$; $r/d = 0.15$. Y utilizando la fig. B-5 (ver, anexo), se tiene:

$$K_{ts} = 1.3$$

Momento de torsión (T):

El momento de torsión es constante y es igual a:

$$T = 0 \text{ Nm, (ver extremo derecho, fig. 3.6)}$$

Carga axial (F):

La carga axial no ejerce esfuerzos sobre el eje por lo que se tiene un valor igual a:

$$F = 0 \text{ N.}$$

Evaluando la ecuación 3.44, para los siguientes valores:

$$M = 7.897 \text{ Nm.}$$

$$T = 55 \text{ Nm.}$$

$$F = 0 \text{ N.}$$

$$K_t = 1.5$$

$$K_{ts} = 1.3$$

$$d = 0.025 \text{ m.}$$

$$n = 2$$

Se tiene que:

$$S_y = 15.14 \text{ Mpa.}$$

El punto ubicado en el área de cambio de la sección de 35 mm. a 25 mm., en el eje se requiere una menor resistencia que en el punto C (zona del engrane), por lo que este punto no se considera crítico.

III.- PUNTO UBICADO EN EL EXTREMO DEL EJE (área para el porta mordaza, d = 20 mm):

Momento flexionante y carga axial:

Los momento flexionantes y la carga axial son nulos en este punto; por lo que:

$$M = 0 \text{ y } F = 0$$

Concentrador de esfuerzos:

Esta parte del eje contiene un chavetero, por lo que se toman

los mismos concentradores de esfuerzos considerados en el punto C; es decir:

$$K_t = 2.14 \quad y$$

$$K_{ts} = 2.62$$

Momento de torsión:

El momento de torsión es constante e igual a:

$$T = 55 \text{ Nm.}$$

Sustituyendo todos estos valores en la ecuación 3.44, y utilizando un factor de seguridad de $n = 1.85$; se obtiene una resistencia igual a:

$$S_y = 339.43 \text{ MPa.}$$

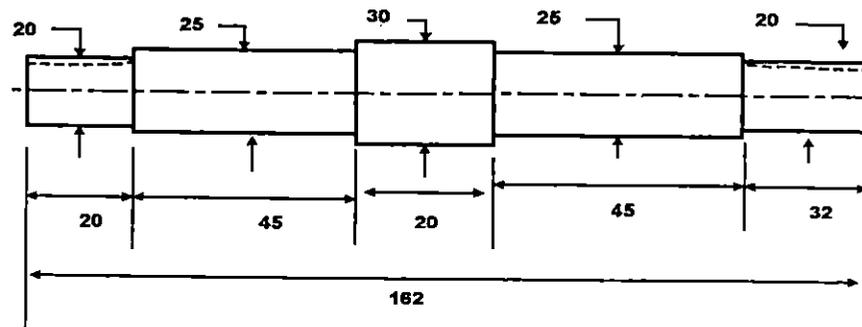
Este valor indica que la parte del eje que soporta el porta mordaza, requiere una resistencia de fluencia que sea mayor o igual a $S_y = 339.43 \text{ MPa.}$

Esta resistencia es mayor que los valores anteriormente calculados; por lo que la parte del eje que contiene al porta mordaza es el más crítico.

De la tabla A-5 (ver, anexo), de un proveedor local de acero, se selecciona, para el eje del engrane el acero AISI 1045, cuya resistencia de fluencia en estado de entrega es:

$$S_y = 343 \text{ MPa.}$$

3.4.- DISEÑO DEL EJE DE LA MORDAZA FIJA.



Cotas: [mm].

Fig.3.7.- Eje de Mordaza Fija.

El eje de mordaza fija soporta únicamente una carga torsional ($T = 55 \text{ Nm.}$), la sección más crítica, es la de menor diámetro ($d = 20 \text{ mm.}$); esta parte del eje es idéntica a la del porta mordaza en el eje del engrane; por lo que se utilizará para su construcción el **acero AISI 1045.**

3.5.- DISEÑO DEL SISTEMA DE SUJECIÓN DE LA PROBETA.

El sistema de sujeción de la probeta, es el encargado de acomodar y sujetar la probeta durante la realización de la prueba, para el caso del ensayo de torsión estática la forma de éste sistema depende de la forma de la cabeza que tenga la probeta normalizada la cual puede ser hexagonal o de caras planas. Esta geometría de sujeción garantiza la anulación del deslizamiento durante la prueba y proporciona la aplicación de una carga de torsión pura, que es justamente lo que se espera en el transcurso de la prueba.

Las mordazas de sujeción de la probeta, para ensayos de torsión,

deben poseer la capacidad de suministrar un arrastre angular a está, sin deslizamiento, mientras se aplica la carga torsionante.

Otra característica importante que predomina en las mordazas de sujeción es su material de fabricación, ya que este debe poseer la dureza suficiente para disminuir el desgaste y mantener el ajuste entre las mordazas y los extremos de la probeta, esto contribuye a obtener resultados satisfactorios con un margen de error mínimo.

Un criterio muy utilizado para la selección de la sección transversal de la zona de arrastre, es la facilidad del maquinado para obtener la forma geométrica.

El presente diseño trata la forma de sujeción a través de alojamientos de caras planas, y está constituido por los siguientes elementos:

3.5.1.- DISEÑO DE PORTAMORDAZAS.

El porta mordaza consiste de un disco de **acero AISI 1020**, el cuál posee cuatro agujeros pasados equidistantes de su centro a un determinado radio perimetral (los cuales sirven para sujetar la mordaza) y de un agujero - cubo con tornillo de centrar con alojamiento para cuñero en su centro, cuyo diámetro es igual al diámetro del eje y en el cual se monta.

Las dimensiones del disco porta mordaza y las propiedades mecánicas del material del cual es fabricado son tales que el efecto de

la torsión no ejerce ningún efecto sobre él, por lo que el punto crítico de esfuerzo lo constituyen los pernos que lo unen con la mordaza.

3.5.2.- DISEÑO DE MORDAZA.

La mordaza esta formada por un disco de acero **AISI 1045** con cuatro agujeros roscados que equidistan de su centro a un radio igual al que tienen los agujeros en el porta mordaza y en cuyo centro se encuentra la cavidad donde se sujeta la cabeza de la probeta la cuál está formada por caras planas y paralelas al eje de la misma. Las cabezas de la probeta se aseguran en la mordaza por medio de cuatro cuñas (dos cuñas por cabeza).

Las cuñas están sometidas a aplastamiento como consecuencia de la torsión producida en la probeta. La dureza del acero del cual se fabricarán las cuñas es de mayor dureza que el acero de la mordaza evitando así efectos de aplastamiento.

El acoplamiento de la mordaza al disco porta mordaza es a través de pernos. El análisis de las fuerzas que actúan sobre los pernos es un problema de estática, el par T , transmitido en el eje somete a los pernos a esfuerzo cortante y esfuerzo de aplastamiento. El par T , se opone al momento de las fuerzas cortantes en los pernos. Como todos los pernos equidistan del centro del eje, la fuerza en los pernos son iguales por lo tanto:

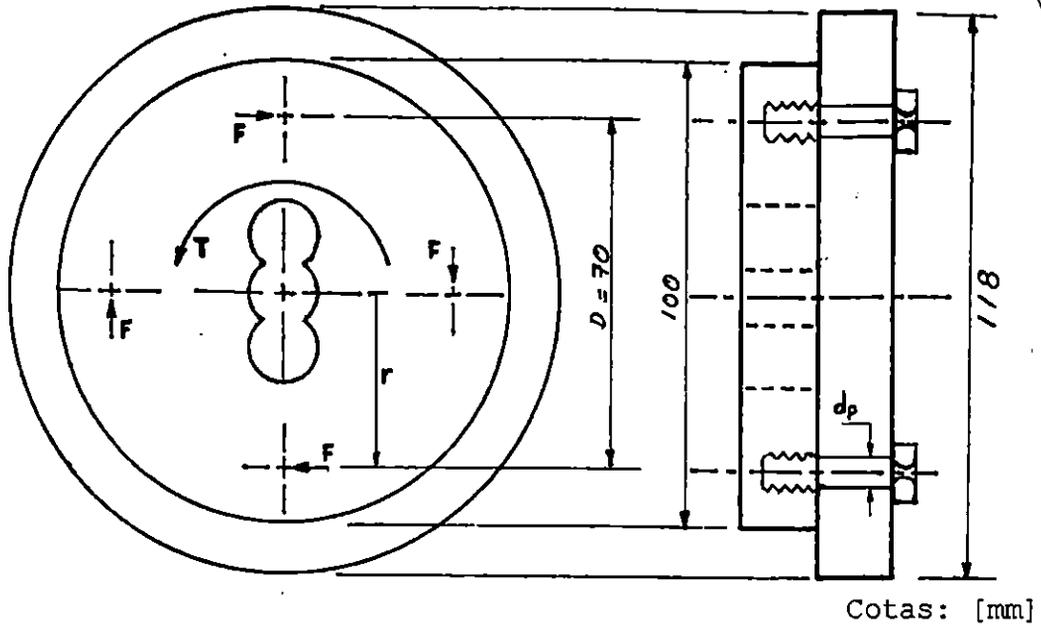


Fig. 3.8 .- Sujeción de la Mordaza al Porta mordaza.

$$\sum M_{\text{centro}} = 0 \quad (3.45)$$

$$T = n F r \quad (3.46)$$

Esfuerzo cortante de trabajo en los pernos τ_p :

$$\tau_p = F/A \quad (3.47)$$

$$F = 2T/D \quad (3.48)$$

$$A = (\pi d_p^2)/4 \quad (3.49)$$

Donde:

T = Par aplicado.

n = Número de pernos.

F = Fuerza cortante en cada perno.

r = Distancia de los pernos a partir del centro del eje.

D = Distancia diametral entre pernos.

A = Area transversal del perno.

d_p = Diámetro del perno.

Para un: $d_p = 0.010 \text{ m}$.

$$n = 4$$

$$D = 0.070 \text{ m}.$$

$$T = 55 \text{ Nm}.$$

Y relacionando las ecuaciones 3.47, 3.48 y 3.49 encontramos:

$$\tau_p = (8T) / (\pi n D d_p^2) \quad (3.50)$$

Sustituyendo valores en la ecuación 3.50:

$$\tau_p = (440) / (8.8 \times 10^{-0.5}); \text{ N/m}^2$$

$$\tau_p = 5.0 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

De la ecuación 3.46, la fuerza cortante en cada perno es igual a:

$$F = \frac{55}{(4) (0.035)} ; \text{ N}$$

$$F = 392.857 \text{ N}$$

Por lo tanto se seleccionará un perno cuyo esfuerzo cortante permisible sea mayor que el esfuerzo cortante de trabajo ($5.0 \times 10^6 \text{ N/m}^2$), (por ejemplo un perno **SAE Grado 5**).

3.6.- DISEÑO DEL TORNILLO DE AVANCE Y SU MANIVELA.

El tornillo de avance, es el elemento por medio del cual se dará movimiento axial a la caja de engrane, para efectos de montaje y desmontaje de la probeta o para poder realizar pruebas en probetas de diferentes longitudes.

El tornillo de avance será de rosca cuadrada, sesgo izquierdo y podrá accionarse con una manivela.

Si se desea desplazar una carga, ya sea en la dirección vertical hacia arriba o en dirección horizontal, se tiene que generalmente donde debe aplicarse mayor fuerza será en el movimiento de la carga en dirección vertical hacia arriba ya que en este caso el movimiento es en dirección opuesta a la fuerza gravitatoria; mientras que en el desplazamiento horizontal de una carga, la dirección del movimiento es perpendicular a la dirección de la fuerza gravitatoria y solo se opone al movimiento, el efecto de la fuerza de fricción y las pequeñas aceleraciones; aún que el tornillo de avance deberá desplazar la caja de engrane (masa de la caja = 20 Kg.) en la dirección horizontal; para el análisis del tornillo, se asumirá el movimiento de la carga verticalmente hacia arriba, ya que este representa el caso más crítico.

El momento de torsión (T) que debe aplicarse al tornillo para elevar la carga esta dado por la siguiente ecuación, (pág. 374, /2/):

$$T = \frac{(F d_m)}{2} \frac{(1 + \pi \mu d_m)}{(\pi d_m - \mu l)} \quad (3.51)$$

Donde:

T = Momento de torsión aplicado al tornillo.

d_m = Diámetro medio del tornillo.

l = Avance; que es igual al producto del paso y el número de entradas del tornillo.

μ = Coeficiente de fricción entre el tornillo y la tuerca.

F = Carga a elevar.

Si se utiliza una manivela de radio r para accionar el tornillo; la fuerza externa (F_{ext}) que deberá aplicarse, será igual a:

$$F_{ext} = T/r \tag{3.52}$$

Diversas combinaciones de las variables torque, diámetro de tornillo, fuerza externa y radio de manivela son mostrados en la tabla 3.2; Para llenar dicha tabla se evaluaron las ecuaciones 3.51 y 3.52, además se consideró que:

1.- El tornillo será de acero seco (no lubricado) y la tuerca será de bronce, para los cuales el coeficiente de fricción será $\mu = 0.19$.

2.- Las roscas cuadradas tendrán las siguientes dimensiones:

Diámet Nominal		Paso		Diámet. Menor		Diámet de Paso	
[plg]	[mm]	[plg]	[mm]	[plg]	[mm]	[plg]	[mm]
3/8	10	0.125	3.2	0.266	6.80	0.3205	8.40
1/2	13	0.154	4.0	0.366	9.30	0.433	11.15
3/4	19	0.200	5.0	0.575	14.60	0.6625	16.80
1	25	0.250	6.4	0.781	19.80	0.8905	22.40

Tabla 3.2. Dimensiones Nominales Para Rosca Cuadrada (pág. 787, /1/).

3.- La rosca será cuadrada, de una sola entrada y de sesgo izquierdo.

4.- La carga a desplazar será igual al peso de la caja de engrane ($F = (25)(9.8)=245 \text{ N}$).

d_m [mm]	T [Nm]	F_{ext}		r [mm]
		[N]	[Lbf]	
8.4	0.3278	8.20	1.84	40
11.15	0.4247	7.08	1.59	60
16.8	0.5967	7.46	1.68	80
22.4	0.7845	7.84	1.76	100

Tabla 3.3. Valores de Torque (T), Diámetro Medio (d_m), Fuerza Externa (F_{ext}) y Radio de Manivela para el Tornillo de Avance (r).

Para efectos de tener una mayor rigidez en la máquina se seleccionará un tornillo de potencia con las siguientes características:

- Rosca Cuadrada, sesgo izquierdo.
- Diámetro Mayor, 25 mm.
- Diámetro Medio, 22.4 mm.
- Diámetro Menor, 19.8 mm.
- Paso, 6.4 mm.
- Número de Entradas, 1.
- Material del Tornillo, Acero AISI 1020.
- Material de la Tuerca, Bronce Fosfórico.

Puede observarse en la tabla 3.3. que los valores de fuerza que deben aplicarse para desplazar la caja son muy bajos, por lo tanto se usará una manivela de radio igual a 100 mm, para accionar el tornillo de avance aplicando una fuerza igual a 7.46 N (1.76 Lbf).

3.7.- DISEÑO DE CAJA DE ENGRANAJE.

La caja de engrane, será de tales dimensiones, que permita alojar en su interior el tornillo sinfín, el engrane del sinfín y los rodamientos.

En la parte media de la caja se instalarán dos tuercas de rosca cuadrada para generar el movimiento axial de la caja con el tornillo de avance.

En la parte inferior de la caja se dejaron dos cavidades de sección rectangular, con el objeto de tener una rigidez torsional y facilitar el desplazamiento de la caja a lo largo de la estructura de la máquina. Mayores detalles de la caja pueden apreciarse en la figura No. 3.9, y en la lámina No. 13, de la sección de Dibujos Técnicos Mecánicos.

A medida que se incrementa el espesor de las placas para fabricar la caja, se incrementa el peso y la rigidez de la misma; aunque es deseable el incremento de rigidez, el incremento de peso limita la manipulación de la caja.

Si se utilizan placas de acero de 12 mm. de espesor, puede

estimarse la masa total de la caja de la siguiente forma:

$$M_c = M_c + M_{er} \tag{3.53}$$

$$M_c = V \rho + M_{er} \tag{3.54}$$

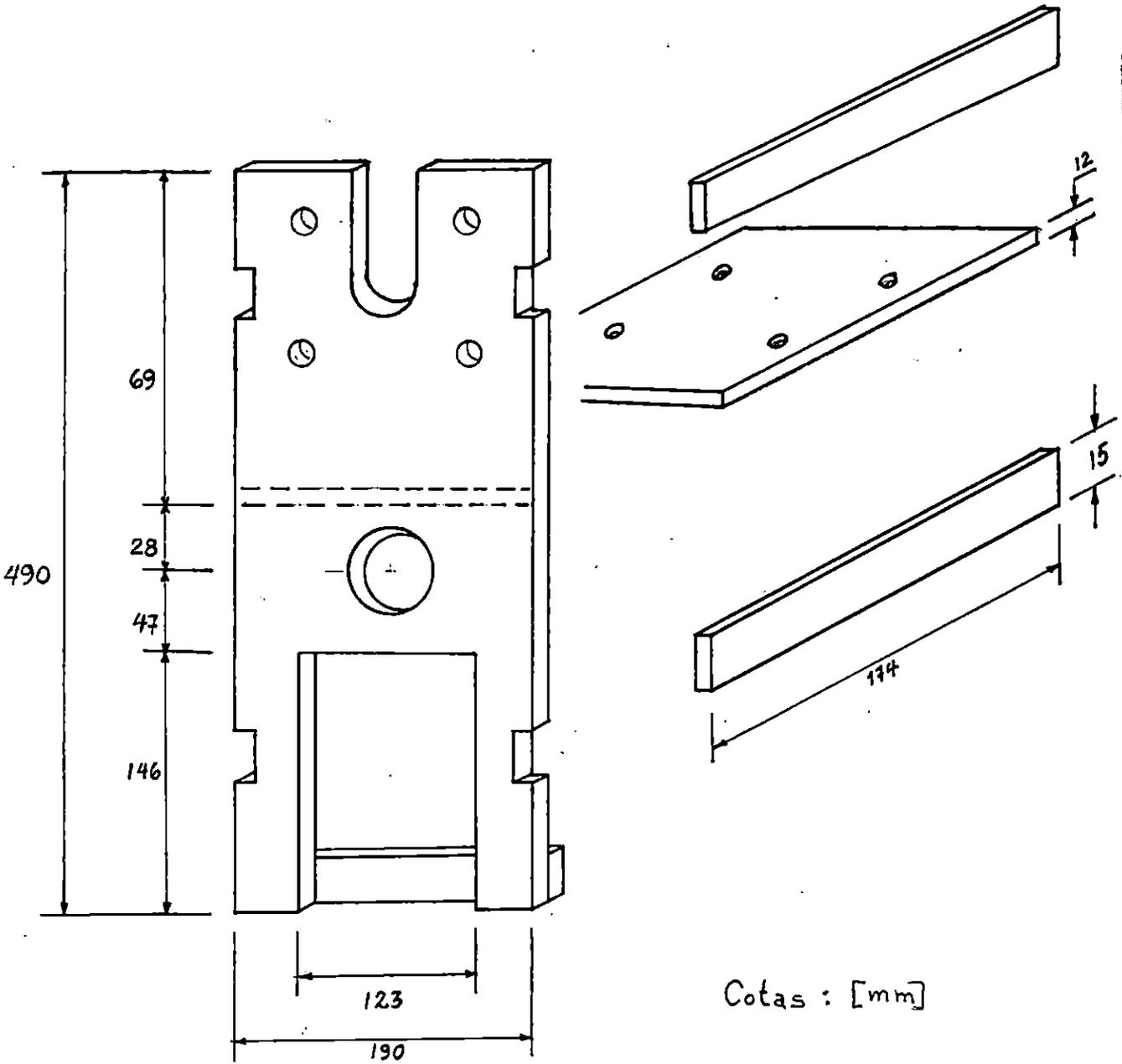


Fig. 3.9.- Caja de Engrane.

Donde:

V = volumen de las placas de acero que conforman la caja.

ρ = densidad del acero (7.85 gr./cm³).

M_{er} = masa de engrane y rodamientos.

M_t = masa total de la caja (Kg.)

Sustituyendo valores:

$$M_t = (7.85) [2 ((19)(1.2)(42.7) - (8.8)(1.2)(15) + (17.4)(1.2)(1.5)) + (19)(1.2)(17.4)] + M_{er}$$

$$M_t = 16.4 + M_{er} ; \text{ Kg.}$$

Suponiendo un peso de 5 Kg. para engrane y rodamientos, el peso total de la caja será de aproximadamente 22 Kg. Este peso es manipulable por cualquier persona adulta, por lo que la caja se construirá de acero laminado en caliente de 12 mm. de espesor.

3.8.- DISEÑO DE SOPORTE FIJO.

El soporte fijo, es el elemento que alojará al eje de la mordaza fija; éste soporte se sujetará con pernos a la estructura de la máquina.

Las cargas en este soporte no son altas y su función es básicamente alojar dos chumaceras de pared, sobre las cuales deberá montarse el eje (véase, fig. 3.10).

Se seleccionarán placas de acero laminado en caliente, de 19 mm. de espesor, para la construcción del soporte fijo. La utilización de un espesor considerablemente grande reducirá los riesgos de desalineamientos en el eje.

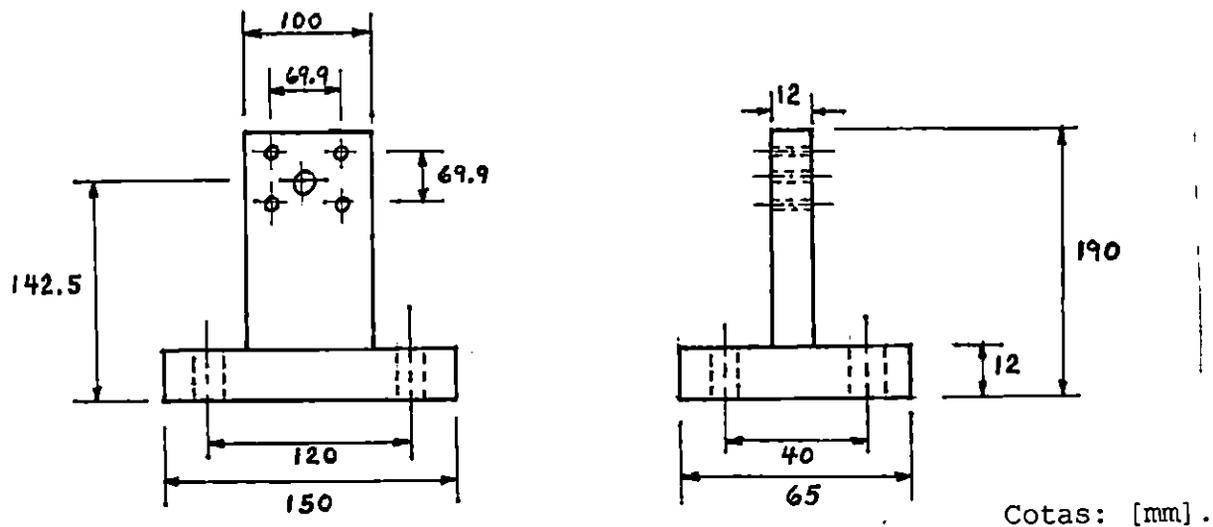


Fig. 3.10.- Soporte Fijo.

3.9.- SELECCIÓN DE RODAMIENTOS.

Los rodamientos estarán sujetos, básicamente, a cargas estáticas de magnitudes considerablemente bajas (menores o iguales a 0.6875 KN); por lo que la selección de los mismos estará limitada por el diámetro de los ejes, sin dar mayor atención a la magnitud de las cargas.

Dado que las cargas estáticas radiales y axiales aplicadas a los rodamientos son bajas, se seleccionarán en su mayoría, rodamientos de bola.

En las siguientes secciones se seleccionarán los rodamientos para los diferentes casos específicos.

3.9.1.- SELECCIÓN DE RODAMIENTOS DEL TORNILLO SINFIN.

- Carga radial en los rodamientos del sinfín (F_r).

Como las fuerzas aplicadas por el engrane al tornillo sinfín están localizadas al centro del eje longitudinal del tornillo, puede asumirse que la carga radial en los rodamientos, será igual a la mitad de la resultante de la suma vectorial de la fuerzas radial y tangencial en el tornillo; matemáticamente se tiene:

$$F_r = 0.5 \sqrt{(W_{tw})^2 + (W_{rw})^2} \quad (3.55)$$

Donde:

$W_{tw} = 133.55 \text{ N}$; fuerza tangencial en el tornillo.

$W_{rw} = 180.36 \text{ N}$; fuerza radial en el tornillo.

Evaluando con estos valores la ultima ecuación, se encuentra la fuerza radial en cada uno de los rodamientos, la cual es igual a:

$$F_r = 0.1122 \text{ KN.}$$

- Fuerza axial en los rodamientos del tornillo (F_a).

Al igual que para la fuerza radial, se asume que la carga axial en los rodamientos se distribuye equitativamente, por lo tanto:

$$F_a = 0.5 W_{aw} \quad (3.56)$$

Donde:

$W_{aw} = 687.5 \text{ N}$; carga axial en el tornillo.

Sustituyendo éste valor en la última ecuación, la carga axial en cada uno de los rodamientos del sinfín será:

$$F_a = 0.3437 \text{ KN.}$$

- Selección de los rodamientos del sinfín.

Según el Programa Estándar de Rodamientos FAG, cuando deban utilizarse rodamientos que soporten cargas estáticas radiales y axiales; deberá encontrarse una carga estática equivalente (P_o), y así poder utilizar el catálogo FAG; las ecuaciones para determinar P_o son las siguientes:

Para rodamientos rígidos con una hilera de bolas:

$$P_o = F_r \text{ ; [KN], para } (F_a/F_r) < 0.8 \quad (3.57)$$

$$P_o = 0.6 F_r + 0.5 F_a \text{ ; [KN], para } (F_a/F_r) > 0.8 \quad (3.58)$$

Evaluando:

$$F_a/F_r = 0.3437/0.1122$$

$$F_a/F_r = 3.06 > 0.8$$

Por tanto:

$$P_o = 0.6 F_r + 0.5 F_a$$

$$P_o = 0.6 (0.1122) + 0.5 (0.3437)$$

$$P_o = 0.2392 \text{ KN}$$

Con $P_o = 0.2392 \text{ KN}$ y un diámetro del eje del tornillo $d = 17 \text{ mm}$.

y tabla de página 494 de catálogo FAG, se seleccionan dos unidades FAG con denominación abreviadas SG16203 con una capacidad de carga estática igual a 4.5 KN.

3.9.2.- SELECCIÓN DE RODAMIENTOS DEL EJE DEL ENGRANE.

En la sección 3.3, para el diseño del eje de engrane se consideró que únicamente uno de los rodamientos estaba soportando carga axial y radial y el otro solo carga radial. Los rodamientos a utilizar para el eje serán de una hilera de bolas (los dos del mismo tipo). Se analizará únicamente el cojinete A (con carga axial y radial).

De la sección 3.3, se tiene que para el rodamiento A, las cargas radial y axial son las siguientes:

$$F_{Ar} = 0.38297 \text{ KN}$$

$$F_{Aa} = 0.13355 \text{ KN}$$

Evaluando:

$$F_{Aa}/F_{Ar} = 0.3487 < 0.8$$

Por lo que:

$$P_o = F_r = F_{Ar} = 0.38297 \text{ KN}$$

Con $P_o = 0.38297 \text{ KN}$, $d = 25 \text{ mm}$. y tabla de pág. 500 de catálogo FAG; se seleccionan dos unidades FAG con rodamiento S, de denominación abreviada FG16205 con capacidad de carga estática igual a 7.1 KN.

3.9.3.- SELECCIÓN DE RODAMIENTOS DEL EJE DEL SOPORTE FIJO.

El eje de soporte fijo no está sometido a cargas altas y las dimensiones donde van instalados los rodamientos son iguales a las del eje de engrane ($d = 25 \text{ mm.}$), por lo que se utilizarán rodamientos del mismo tipo (véase sección 3.9.2.); con denominación abreviada FG16205 y una capacidad de carga estática igual a 7.1 KN.

3.9.4.- SELECCIÓN DE RODAMIENTOS DEL TORNILLO DE AVANCE.

El tornillo de avance se montará sobre dos rodamientos de bola de 17 mm. de diámetro interior; estos rodamientos se montaran a presión al soporte fijo y al soporte del tornillo de avance; para mayores detalles véanse las láminas números 12 y 14 de la sección de Dibujos Técnicos Mecánicos.

3.10.- DISEÑO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE CARGA.

El sistema de medición de carga, es el encargado de mostrar las lecturas de fuerza y/o torque que se originan durante la realización de la prueba de torsión estática.

Este sistema consiste de un dinamómetro (báscula de resorte) el cual es accionado por un brazo de palanca que se encuentra unido rígidamente al eje de la máquina, y es así que entre éstos dos elementos se puede determinar el torque aplicado.

3.10.1.- DISEÑO DE LA PALANCA DE FUERZA.

La palanca de fuerza es un elemento de longitud definida, que se encuentra unido al eje y que su extremo libre (en voladizo), acciona el medidor de fuerza (báscula). Para éste elemento conocemos la fuerza aplicada, el tipo de material y la longitud a utilizar, así como su sección transversal (rectangular) para la cual necesitamos conocer las respectivas dimensiones:

Además, por ser parte de una estructura sometida a fuerza estática y estar fabricada de un material dúctil de propiedades y magnitudes de carga conocidas se utilizará un factor de seguridad igual a: $n = 2$. /3/

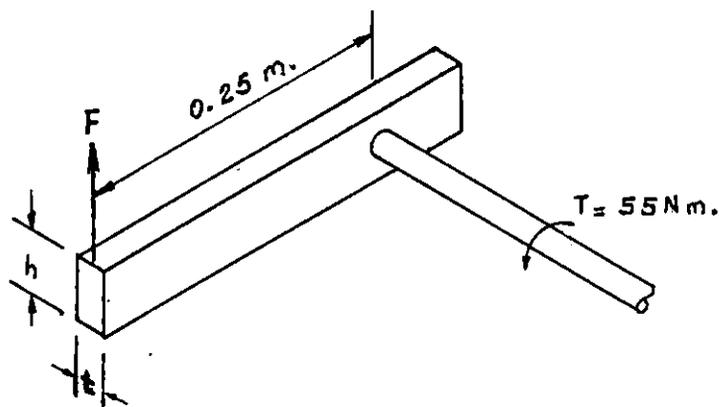


Fig. 3.11.- Palanca de Fuerza.

$$\Sigma M_{eje} = 0 \quad (3.59)$$

$$- 55 \text{ Nm} + 0.25 (F) \text{ m} = 0$$

$$F = (55 \text{ Nm}) / (0.25 \text{ m}) = 220 \text{ N.}$$

$$\equiv 49.45 \text{ Lbf.}$$

- De tabla A-4 (ver, anexo), para un acero AISI 1020 la resistencia de fluencia es:

$$S_y = 210 \times 10^6 \text{ Pa.}$$

Donde:

$$\text{Pa (pascales)} = \text{N/m}^2.$$

- Asumiendo un factor de seguridad de:

$$n = 2.$$

- Aplicando la teoría de la falla por tensión debida a esfuerzo de corte:

El esfuerzo de trabajo o permisible se define por:

$$\sigma_d = S_y/n \quad (3.60)$$

$$\sigma_d = 210 \times 10^6 / 2 = 105 \times 10^6 \text{ N/m}^2.$$

- Análisis de tensión: por flexión

$$\sigma_d = M/Z \quad (3.61)$$

Donde:

M = momento flector.

Z = módulo de sección.

$$Z = M/\sigma_d \quad (3.62)$$

$$Z = (55 \text{ Nm}) / (105 \times 10^6 \text{ N/m}^2).$$

$$Z = 5.238 \times 10^{-7} \text{ m}^3.$$

Además:

$$Z = (t h^2) / 6. \quad (3.63)$$

Para $h = 2 t$:

$$Z = t (2 t)^2 / 6 = 0.667 t^3$$

$$t = \sqrt[3]{(Z / 0.667)}$$

$$t = \sqrt[3]{(4.762 \times 10^{-7} \text{ m}^3 / 0.667)}$$

$$t = 0.009 \text{ m} = 9 \text{ mm.}$$

Por lo tanto:

$$h = 0.018 \text{ m} = 18 \text{ mm.}$$

3.10.2.- SELECCIÓN DEL MEDIDOR DE FUERZA.

La medición mecánica de la potencia (torque aplicado), es registrada por medio de un dinamómetro, en el cual se determina una fuerza a una distancia determinada (brazo de palanca) del eje de transmisión. El **dinamómetro** utilizado en el ensayo de torsión estática, es del **tipo báscula** de resorte, está fabricado con un resorte helicoidal apretadamente devanado, el cual puede usarse de forma directa para medir la carga.

El medidor de fuerza utilizado es un dinamómetro de absorción

debido a que absorbe la energía mecánica conforme se mide el momento de torsión, graduado en Lbs y Kgrs y con una capacidad máxima de 110 Lbs.

3.11.- DISEÑO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE DEFORMACIÓN.

Para la medición de la deformación de corte ó ángulo de torsión en el rango elástico de la probeta durante el ensayo, se utiliza un medidor de deformación angular o torsiómetro, éste instrumento estará constituido por dos collarines que se instalarán directamente a la probeta (ajustados de tal forma que se permita el movimiento relativo entre ellos) por medio de: galgas en los extremos que permiten se situé en la parte central (tramo calibrado de la probeta) y pernos los cuales contienen puntas de acero endurecido que permiten que el instrumento se fije firmemente a la probeta. Entre los dos collarines se instalará un indicador de carátula por medio del cual se censará la longitud del arco descrita por un punto de un collarín cuando la probeta se deforme angularmente.

El ángulo de torsión se calculará dividiendo la longitud del arco entre la distancia radial (ésta es de 50 mm de separación y se mantiene entre el centro del instrumento y el punto palpador) a la que está situado el palpador del indicador de carátula. El indicador de carátula será de graduaciones milimétricas con precisión de las centésimas (0.01 mm).

Este torsiómetro mecánico, está diseñado para ser instalado únicamente en la probeta seleccionada para el ensayo, y los datos que pueden obtenerse a partir de él son: medidas de deformación de corte y

ángulo de torsión en la región elástica.

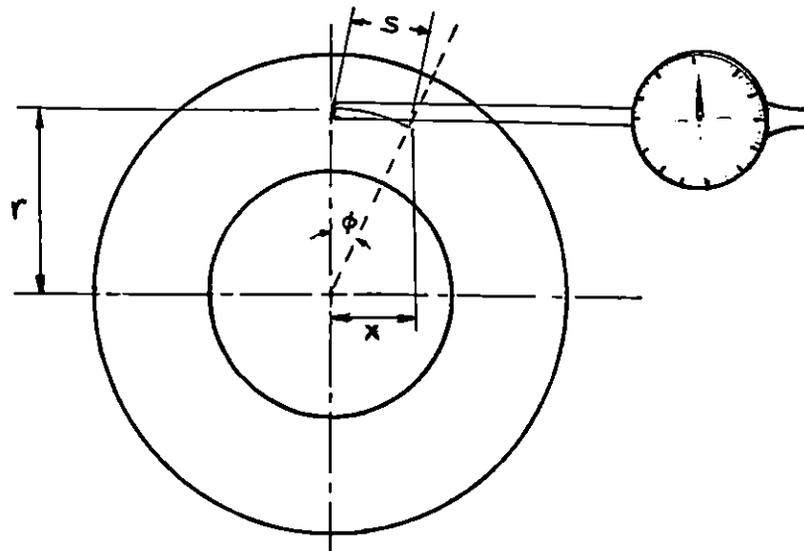


Fig. 3.12.- Principio de funcionamiento del torsiómetro.

Matemáticamente se tiene:

$$\phi = S/r ; \quad [\text{rad}] \quad (3.64)$$

Para valores suficientemente pequeños de desplazamiento angular:

$$\phi \rightarrow 0.$$

Entonces:

$$S = X$$

Por tanto

$$\phi = X/r \quad (3.65)$$

Donde:

X = valor de longitud censada por el comparador de carátula.

ϕ = ángulo de torsión.

En el rango elástico, las deformaciones generadas en la probeta son muy pequeñas y la longitud del arco descrita por un punto situado a una distancia radial conocida, puede aproximarse a una línea recta; esta aproximación será cada vez más exacta a medida que la distancia radial sea mayor. El palpador del torsiómetro a construir, estará situado a una distancia radial igual a 50 mm. ; esto con el objeto de facilitar la manipulación del mismo. La ecuación 3.65 puede escribirse como:

$$\phi = 180 x / (\pi 50) \quad (3.66)$$

Para el rango plástico, la magnitud de ϕ será leída directamente de la escala graduada (grados) ubicada en la mordaza motriz.

X [mm]	S [mm]	ϕ [grados]	% Error [$\times 10^{-3}$]
1	1.00006668	1.1460	0.0675
2	2.00053718	2.2924	0.0267
3	3.00180292	3.4398	0.0600
4	4.00427900	4.5886	0.1069
5	5.00837106	5.7392	0.1671
6	6.01449411	6.8921	0.2410
7	7.02307073	8.0478	0.3285
8	8.03453265	9.2069	0.4298
9	9.04932256	10.3698	0.5450
10	10.06789604	11.5370	0.6744

Tabla 3.4.- Comparación entre la longitud de arco medida (X) y la longitud de arco real (S).

$$\% \text{ Error} = \frac{S - X}{S} \times 100$$

MATERIAL	Resistencia de fluencia por torsión [Kpsi]	Módulo de Rigidez [Mpsi]	Longitud de arco máxima en rango [mm]. Probeta 6mm
Hierro lingotes, recocido, 0.02% C	15	12	1.0833
Hierro forjado, 0.10% C.	18	10	1.5600
Acero rolado en caliente, 0.20% C	24	12	1.7333
Acero rolado en frío, 0.20% C.	36	12	2.6000
Fundiciones Recocidas.	21	12	1.5167
Acero rolado en caliente, 0.60% C	37	12	2.6722
Acero rolado en caliente, 0.80% C	44	12	3.1778
Acero rolado en caliente, 1.0% C.	50	12	3.6111
Acero al 3.5% Ni y 0.40% C.	90	12	6.5000

Tabla 3.5.- Longitud de Arco Máxima, en el rango elástico, para diferentes materiales.

Para pruebas en el rango plástico la capacidad de medición del Torsiómetro es igual a 10 mm (90 lecturas ó datos).

Para pruebas en el rango elástico la capacidad mínima de medición del Torsiómetro es de 1 mm (10 lecturas ó datos).

El error cometido al medir longitudes de arco menores que 10 mm, es despreciables (% Error = 0.6744)

3.12.- DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE LA MAQUINA.

La estructura de la máquina la conformará básicamente, una viga de acero estructural de ala corta (viga tipo S) con denominación S150x25.7. Esta viga proporcionará suficiente rigidez a la máquina y permitirá un excelente alineamiento de las mordazas.

La viga se someterá a un proceso de rectificado en las caras, para garantizar el paralelismo de las mismas y por ende, la linealidad de los elementos. Para mayores detalles véase la lámina No. 15, de la sección de Dibujos Técnicos Mecánicos.

3.13.- ACABADOS SUPERFICIALES.

Los acabados superficiales de la máquina, dependerán de la función que cada uno de sus elementos desempeñan. Los acabados superficiales se harán de la siguiente forma:

- Las partes de la máquina que tengan movimientos de contacto relativos entre sí, tendrán un buen acabado (pulido) y deberán ser constantemente lubricadas para facilitar el movimiento y evitar la corrosión.

- Las partes de la máquina que no tengan movimiento de contacto deslizante o rodante, serán recubiertas con pintura martillada, la cual las protegerá de la corrosión y les dará un buen acabado.

CAPITULO IV

PROCESO CONSTRUCTIVO, MANUAL DE
MANTENIMIENTO Y DE OPERACION

4.1.- DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS.

Los sistemas y Mecanismos que componen la Máquina para Ensayos de Torsión Estática, tienen como función desarrollar satisfactoriamente la prueba de Torsión Estática en materiales metálicos, para lo cual es utilizada una probeta normalizada del material a ensayar.

Para cada uno de los elementos que componen la Máquina se ha desarrollado previamente un Estudio de Diseño, el cual ha dado como resultado las dimensiones, geometría y tipo de material a utilizar para cada uno de ellos. La máquina se compone de aproximadamente dieciocho elementos, tal como se muestra en la siguiente tabla.

Los materiales utilizados para la fabricación de los elementos, han sido comprados en nuestro medio y la construcción de la máquina realizada por personal técnico-mecánico especializado en el manejo de máquinas herramientas.

La fabricación de algunos de los componentes de la máquina requiere de mano de obra calificada y de especial cuidado en el montaje; como por ejemplo, el sistema de Engranaje Tornillo Sinfín y las Mordazas de Sujeción, ya que es a través de ellos que se transmite la potencia necesaria para romper la probeta.

Es de hacer notar que para ciertos elementos (manivelas y báscula), no se elaboraron hojas de proceso de fabricación debido a que se comprarán.

SISTEMA ó MECANISMO.	ELEMENTOS.	CORR
SISTEMA DE APLICACIÓN DE CARGA.	Engrane Helicoidal.	1
	Tornillo Sinfín.	2
	Manivela del Tornillo Sinfín.	(3)
	Eje del Engrane Helicoidal.	4
	Eje del Soporte Fijo.	5
	Porta-Mordaza.	6
	Mordaza.	7
SISTEMA DE MEDICIÓN DE CARGA.	Palanca de Fuerza.	8
	Báscula de Resorte.	(9)
SISTEMA DE MEDICIÓN DE LA DEFORMACIÓN.	TORSIOMETRO (Collarines, Galgas de Centrar, Tornillos de Sujeción, Dial o Comparador de Carátula).	10
MECANISMO DE MOVIMIENTO DEL SISTEMA DE ENGRANAJE DE TORNILLO SINFIN.	Tornillo de Avance.	11
	Tuercas del Tornillo de Avance.	12
	Manivela del Tornillo de Avance.	(13)
SISTEMA DE SOPORTE DE LOS ELEMENTOS DE LA MAQUINA.	Rodamientos.	(14)
	Soporte del Eje que mide la carga.	15
	Caja del Sistema de Engranaje.	16
	Soporte del Tornillo de Avance	17
SISTEMA DE BANCADA DE LA MAQUINA.	Viga Tipo "S".	18
	Banco estructural.	(19)

4.1.1.- Hojas de Proceso de Fabricación.

PROCESO DE FABRICACION DE ELEMENTOS.		
NOMBRE: ENGRANE HELICOIDAL.		CANTIDAD: 1
MATERIAL: BARRA de 171 mm ϕ X 50 mm de Long. BRONCE FOSFORICO.		
TIEMPO DE FABRICACION: 40 Horas.		
PASOS.	DESCRIPCIÓN.	MAQUINA Y HERRAMIENTAS.
1	<ul style="list-style-type: none"> - Montar pieza en el torno - Refrentar ambos caras de la barra. - Cilindrar hasta llevarlo al diámetro indicado, Ver plano No. 1. 	<ul style="list-style-type: none"> - Torno. - Buril para cilindrar. - Buril para refrentar. - Calibrador Pie de Rey. - Broca de Centro.
2	<ul style="list-style-type: none"> - Fabricar el cubo del Engrane. - Maquinar el agujero para el eje. 	<ul style="list-style-type: none"> - Torno. - Buril para cilindrar. - Barra para cilindrar interiores.
3	<ul style="list-style-type: none"> - Montar la pieza en la Fresadora. - Maquinar en el cubo el agujero para el prisionero. - Maquinar la cuna para el cuñero. 	<ul style="list-style-type: none"> - Fresadora. - Fresa vertical. - Machuelo. - Calibrador Pie de Rey.
4	<ul style="list-style-type: none"> - Seleccionar la relación de transmisión en la fresadora que permita obtener el No. de dientes requeridos. - Maquinar los dientes del engrane helicoidal. 	<ul style="list-style-type: none"> - Fresadora. - Fresa modulo 4, No. 6. - Micrómetro. - Calibrador Pie de Rey.

TABLA No: 1.

PROCESO DE FABRICACION DE ELEMENTOS.		
NOMBRE: TORNILLO SINFIN.		CANTIDAD: 1
MATERIAL: BARRA de 59 mm de ϕ x 200 mm de Long. Acero AISI 1020.		
TIEMPO DE FABRICACION:		Horas.
PASOS.	DESCRIPCIÓN.	MAQUINA Y HERRAMIENTAS.
1	- Maquinar en el torno hasta obtener un cilindro de 58.7 mm ϕ por 198 mm de longitud.	- Torno. - Broca de Centrar. - Buril.
2	- Maquinar los diversos escalones indicados en el plano No. 2. a excepción de las cuerdas del tornillo.	- Torno. - Buril.
3	- Maquinar el chavetero de 3x3x46 mm.	- Fresadora. - Fresa
4	- Montar la pieza en la fresadora. - Con la misma fresa que se fabricó el engrane helicoidal, se maquinarán las cuerdas del tornillo sinfin. Ver plano No. 2.	- Fresadora. - Cabezal divisor. - Fresa modulo 4, No. 6.

TABLA No: 2.

PROCESO DE FABRICACION DE ELEMENTOS.		
NOMBRE: EJE DEL ENGRANE HELICOIDAL.		CANTIDAD: 1
MATERIAL: BARRA de 41 mm de ϕ x 209 mm de Long. Acero AISI 1045.		
TIEMPO DE FABRICACION:		Horas.
PASOS.	DESCRIPCIÓN.	MAQUINA Y HERRAMIENTAS.
1	<ul style="list-style-type: none"> - Colocar la pieza en el plato de mordaza del torno. - Cortar y refrentar las caras de la barra a la medida indicada en el plano No. 3. - Hacer centro para contrapunto. 	<ul style="list-style-type: none"> - Torno. - Buril para cilindrar. - Buril para refrentar. - Sierra de corte manual. - Calibrador Pie de Rey. - Broca de centro.
2	<ul style="list-style-type: none"> - Maquinar la barra para conformar los escalones según medida establecidas en el plano No. 3. - Desmontar la pieza. - Pulido de la Pieza. 	<ul style="list-style-type: none"> - Torno. - Buril para cilindrar. - Calibrador Pie de Rey. - Lija No. 100.
3	<ul style="list-style-type: none"> - Montar la pieza en la fresadora. - Maquinar la cavidad para el chavetero de 3x3x27 mm, según detalle del plano No. 3. 	<ul style="list-style-type: none"> - Fresadora. - Fresa vertical 6 mm.

TABLA No: 3.

PROCESO DE FABRICACION DE ELEMENTOS.		
NOMBRE: EJE DEL SOPORTE FIJO.		CANTIDAD: 1
MATERIAL: BARRA de 41 mm de ϕ x 162 mm de Long. Acero AISI 1045.		
TIEMPO DE FABRICACION:		Horas.
PASOS.	DESCRIPCIÓN.	MAQUINA Y HERRAMIENTAS.
1	<ul style="list-style-type: none"> - Colocar la pieza en el plato de mordazas del torno. - Cortar y refrentar las caras de la barra a la medida indicada en el plano No. 4. -Hacer centro de contrapunto. 	<ul style="list-style-type: none"> - Torno. - Buril para cilindrar. - Buril para refrentar. - Sierra de corte manual. - Calibrador Pie de Rey. - Broca de centro.
2	<ul style="list-style-type: none"> - Maquinar la barra para conformar los escalones según medida establecidas en el plano No. 4. - Desmontar la pieza. - Pulido de la Pieza. 	<ul style="list-style-type: none"> - Torno. - Buril para cilindrar. - Calibrador Pie de Rey. - Lija No. 100.
3	<ul style="list-style-type: none"> - Montar la pieza en la fresadora. - Maquinar la cavidad para el chavetero de 3x3x27 mm que asegura al porta mordaza, según detalle del plano No.4. 	<ul style="list-style-type: none"> - Fresadora. - Fresa vertical 6 mm.
4	<ul style="list-style-type: none"> - Maquinar en el lado opuesto del eje la cavidad para el chavetero de 3x3x18 mm que asegura la palanca de fuerza, según detalle del plano No. 4 	

TABLA No: 4.

PROCESO DE FABRICACION DE ELEMENTOS.		
NOMBRE: PORTA-MORDAZA.		CANTIDAD: 2
MATERIAL: BARRA de 120 mm de ϕ x 30 mm de Long. Acero AISI 1045		
TIEMPO DE FABRICACION:		Horas.
PASOS.	DESCRIPCIÓN.	MAQUINA Y HERRAMIENTAS.
1	<ul style="list-style-type: none"> - Montar la pieza en el torno. - Cilindrar y refrentar hasta llevarla a las dimensiones indicadas. ver plano No. 5. - Hacer punto. 	<ul style="list-style-type: none"> - Torno. - Butil para cilindrar. - Butil para refrentar.
2	<ul style="list-style-type: none"> - Maquinar un escalón para conformar un cubo. - Maquinar un agujero de 20 mm ϕ en el centro para montarla al eje. Ver plano No. 5. 	<ul style="list-style-type: none"> - Torno. - Butil para cilindrar. - Broca de 20 mm ϕ.
3	<ul style="list-style-type: none"> - Maquinar cuatro agujeros pasados de 10mm ϕ, perpendiculares entre si y a una distancia radial de 35mm. 	<ul style="list-style-type: none"> - Taladro de columna. - Broca de 10 mm ϕ. - Calibrador Pie de Rey. - Escuadra y rayador
4	<ul style="list-style-type: none"> - Montar la pieza en la fresadora. - Maquinar cuna para un cuñero de 3x3x27 mm. - Maquinar agujero para un prisionero. 	<ul style="list-style-type: none"> - Fresadora. - Fresa. - Broca. - Machuelo

TABLA No: 5.

PROCESO DE FABRICACION DE ELEMENTOS.		
NOMBRE: MORDAZA.		CANTIDAD: 2
MATERIAL: BARRA de 105 mm de ϕ x 30 mm de Long. Acero AISI 1045		
TIEMPO DE FABRICACION: Horas.		
PASOS.	DESCRIPCIÓN.	MAQUINA Y HERRAMIENTAS.
1	<ul style="list-style-type: none"> - Montar la pieza en el torno. - Cilindrar y refrentar hasta llevarla a las dimensiones indicadas. ver plano No. 6. - Hacer punto. 	<ul style="list-style-type: none"> - Torno. - Buril para cilindrar. - Buril para refrentar.
2	<ul style="list-style-type: none"> - Maquinar en el centro de la pieza un agujero pasado de 13 mm de ϕ. - Maquinar sobre un eje diametral un agujero pasado a cada lado del agujero central y a una distancia de 11 mm del mismo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Taladro de columna. - Broca de 13 mm ϕ. - Calibrador Pie de Rey. - Centro Punto. - Escuadra y rayador.
3	<ul style="list-style-type: none"> - Maquinar cuatro agujeros roscados de 10 mm ϕ y de 15 mm de profundidad, perpendiculares entre si y a una distancia radial de 35mm. 	<ul style="list-style-type: none"> - Taladro de columna. - Broca de 10 mm ϕ. - Machuelo y batidor - Calibrador Pie de Rey. - Escuadra y rayador

TABLA No: 6.

PROCESO DE FABRICACION DE ELEMENTOS.		
NOMBRE: PALANCA DE FUERZA.		CANTIDAD: 1
MATERIAL: BARRA de 9 x 18 mm ² x 250 mm de Long. Acero AISI 1020.		
TIEMPO DE FABRICACION:		Horas.
PASOS.	DESCRIPCIÓN.	MAQUINA Y HERRAMIENTAS.
1	<ul style="list-style-type: none"> - Trazar en una placa de 12 mm de espesor las dimensiones del elemento requerido según plano No. 7. - Cortar de la placa en su longitud el elemento. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sierra de corte manual. - Escuadra y rayador
2	<ul style="list-style-type: none"> - Perforar un agujero de 5 mm de ϕ a 15 mm de distancia de uno de los extremos del elemento. - Perforar un agujero de 20 mm ϕ a 30 mm de distancia del extremo opuesto. 	<ul style="list-style-type: none"> - Taladro de columna. - Broca de 5 mm ϕ. - Broca de 20 mm ϕ.
3	<ul style="list-style-type: none"> - Montar la pieza en la fresadora. - Maquinar la pieza hasta obtener la dimensiones finales señaladas en el plano No. 7. - Pulir la superficie de la pieza 	<ul style="list-style-type: none"> - Fresadora. - Fresa de desbaste. - Lija No. 100.
4	<ul style="list-style-type: none"> - Maquinar la cavidad del cuñero de 3x3x18 mm. 	<ul style="list-style-type: none"> - Fresadora o Cepillo. - Buril.

TABLA No: 7.

PROCESO DE FABRICACION DE ELEMENTOS.		
NOMBRE: TORSIOMETRO (Collarín del Dial).		CANTIDAD: 1
MATERIAL: BARRA de 115 mm ϕ x 50 mm de Long. Acero AISI 1020.		
TIEMPO DE FABRICACION: Horas.		
PASOS.	DESCRIPCIÓN.	MAQUINA Y HERRAMIENTAS.
1	<ul style="list-style-type: none"> - Montar la pieza en el torno. - Cilindrar y refrentar hasta llevarla a las dimensiones indicadas. ver plano No. 8 A. - Hacer centro punto. 	<ul style="list-style-type: none"> - Torno. - Buril para cilindrar. - Buril para refrentar. - Calibrador pie de rey.
2	<ul style="list-style-type: none"> - Maquinar escalón externos e internos para conformar el elemento del plano 8 A. - Trazar ejes perpendiculares uno a 60 grados. - Marcar puntos para agujeros roscados y cavidades, indicadas en el plano 8 A. 	<ul style="list-style-type: none"> - Torno. - Buril para cilindrar. - Barra para cilindrado de interiores. - Calibrador pie de rey. - Escuadra y rayador.
3	<ul style="list-style-type: none"> - Perforar a 5 mm y roscar a 6 mm, paso = 1, también maquinar las cavidades, según lo indicado en plano 8 A. - Maquinar las cavidades 	<ul style="list-style-type: none"> - Taladro de columna. - Brocas de 5 mm de diámetro. - Juego de machuelos. - Fresadora. - Fresa de 18 mm
4	<ul style="list-style-type: none"> - Acabado superficial del elemento. - Pulir superficie interna de 64 mm de diámetro 	<ul style="list-style-type: none"> - Torno. - Lija de agua 300 y 400

TABLA No: 8A.

PROCESO DE FABRICACION DE ELEMENTOS.		
NOMBRE: TORSIOMETRO (Collarín del Palpador). CANTIDAD: 1		
MATERIAL: BARRA de 115 mm ϕ x 50 mm de Long. Acero AISI 1020.		
TIEMPO DE FABRICACION: Horas.		
PASOS.	DESCRIPCIÓN.	MAQUINA Y HERRAMIENTAS.
1	<ul style="list-style-type: none"> - Montar la pieza en el torno - Cilindrar y refrentar hasta llevarla a las dimensiones indicadas. ver plano No. 8 B. - Hacer centro punto. 	<ul style="list-style-type: none"> - Torno. - Buril para cilindrar. - Buril para refrentar. - Calibrador pie de rey.
2	<ul style="list-style-type: none"> - Maquinar escalón externos e internos para conformar el elemento del plano 8 B. - Trazar ejes perpendiculares uno a 45 grados. - Marcar puntos para agujeros roscados y cavidades, indicadas en el plano 8 B. 	<ul style="list-style-type: none"> - Torno. - Buril para cilindrar. - Barra para cilindrado de interiores. - Calibrador pie de rey. - Escuadra y rayador.
3	<ul style="list-style-type: none"> - Perforar a 5 mm y roscar a 6 mm, paso = 1, también perforar agujero de 6 mm de ϕ a 50 mm de radio sobre eje a 45 gados y maquinar las cavidades, según lo indicado en plano 8 B. - Maquinar las cavidades. 	<ul style="list-style-type: none"> - Taladro de columna. - Brocas de 5 y 6 mm de ϕ. - Juego de machuelos. - Fresadora. - Fresa de 18 mm.
4	<ul style="list-style-type: none"> - Realizar pulido de la superficie externa de 64 mm de diámetro. 	<ul style="list-style-type: none"> - Torno. - Lija de agua 300 y 400

TABLA No: 8B.

PROCESO DE FABRICACION DE ELEMENTOS.		
NOMBRE: TORNILLO DE AVANCE.		CANTIDAD: 1
MATERIAL: BARRA de 32 mm ϕ x 750 mm de Long. Acero AISI 1020.		
TIEMPO DE FABRICACIÓN:		
PASOS.	DESCRIPCIÓN.	MAQUINA Y HERRAMIENTAS.
1	<ul style="list-style-type: none"> - Montar la barra en el torno. - Refrentar un extremo de la barra. - Hacer centro para contrapunto. 	<ul style="list-style-type: none"> - Torno. - Butil para cilindrar. - Butil para refrentar. - Broca de centro.
2	<ul style="list-style-type: none"> - Maquinar la barra para llevarla a 25 mm ϕ por 700 mm de longitud. - Maquinar un escalón en cada extremo de la barra de los cuales ésta se sujeta a la máquina. 	<ul style="list-style-type: none"> - Torno. - Butil. - Calibrador Pie de Rey.
3	<ul style="list-style-type: none"> - Maquinar la cuerda de la rosca de sesgo izquierdo de 25 mm de diámetro exterior y 6.4 mm de paso. Según plano No. 9. 	<ul style="list-style-type: none"> - Torno. - Butil para rosca cuadrada.

TABLA No: 9.

PROCESO DE FABRICACION DE ELEMENTOS.		
NOMBRE: TUERCAS DEL TORNILLO DE AVANCE.		CANTIDAD: 2
MATERIAL: Barra perforada 41 x 18 mm. Long.: 55 mm. Bronce fosfórico.		
TIEMPO DE FABRICACION:		Horas.
PASOS.	DESCRIPCIÓN.	MAQUINA Y HERRAMIENTAS.
1	<ul style="list-style-type: none"> - Montaje de la pieza en el torno. - Refrentado de caras. - Maquinar la pieza a un diámetro externo de 41 mm. - Maquinar escalón, según se muestra en plano No. 10. 	<ul style="list-style-type: none"> - Torno. - Broca de centro. - Buril de corte. - Calibrador Pie de Rey.
2	<ul style="list-style-type: none"> - Maquinar un agujero de 19 mm ϕ al centro de la pieza. - Hacer rosca interna cuadrada para una profundidad de 5.5 mm, paso de 6.4 mm y una entrada. 	<ul style="list-style-type: none"> - Torno. - Broca de 14.5 mm ϕ. - Barra de roscado interno - Calibrador Pie de Rey.
3	<ul style="list-style-type: none"> - Corte de dos piezas de 20 mm de longitud. Ver Plano No. 10. - Refrentado de caras. - Montaje de estas piezas a los soportes de la máquina. 	<ul style="list-style-type: none"> - Torno. - Buril para refrentar. - Sierra de corte manual. - Prensa hidráulica. - Calibrador Pie de Rey.

TABLA No: 10.

PROCESO DE FABRICACION DE ELEMENTOS.		
NOMBRE: CAJETA PARA BALEROS.		CANTIDAD: 2
MATERIAL: Barra 55 mm de ϕ x 35 mm de Long.		Acero AISI 1020
TIEMPO DE FABRICACION: Horas.		
PASOS.	DESCRIPCIÓN.	MAQUINA Y HERRAMIENTAS.
1	<ul style="list-style-type: none"> - Montaje de la pieza en el torno. - Refrentado de caras. - Maquinar la pieza a un diámetro externo de 51 mm. - Maquinar escalón externo, según se muestra en plano No. 11. 	<ul style="list-style-type: none"> - Torno. - Broca de centro. - Buril para refrentar. - Buril de corte. - Calibrador Pie de Rey.
2	<ul style="list-style-type: none"> - Maquinar escalones interno, según dimensiones que se indican en plano No. 11. 	<ul style="list-style-type: none"> - Torno. - Broca de 14.5 mm ϕ. - Barra de roscado interno - Calibrador Pie de Rey.
3	<ul style="list-style-type: none"> - Corte de la piezas de 22 mm de longitud. - Refrentado de caras. - Montaje de estas piezas a los soportes fijo y del tornillo de avance de la máquina. 	<ul style="list-style-type: none"> - Torno. - Buril para refrentar. - Sierra de corte manual. - Prensa hidráulica. - Calibrador Pie de Rey.

TABLA No: 11.

PROCESO DE FABRICACION DE ELEMENTOS.		
NOMBRE: SOPORTE FIJO.		CANTIDAD: 1
MATERIAL: PLACA 300 X 130 mm ² X 19 mm de espesor. Acero AISI 1020		
TIEMPO DE FABRICACION:		Horas.
PASOS.	DESCRIPCIÓN.	MAQUINA Y HERRAMIENTAS.
1	<ul style="list-style-type: none"> - Trazado de la pieza. - Corte de la pieza. - Montaje de la pieza en la fresadora. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sierra de corte manual. - Escuadra y Rayador. - Cinta métrica.
2	<ul style="list-style-type: none"> - Maquinado de contornos hasta obtener las dimensiones de 130X265 mm Ver Plano No. 12. - Maquinado del agujero para montaje del eje. Ver Plano No. 12. 	<ul style="list-style-type: none"> - Fresadora. - Fresa de desbaste. - Calibrador Pie de Rey.
3	<ul style="list-style-type: none"> - Montaje de la pieza en el Taladro. - Perforación de cuatro agujeros de 12 mm ϕ. Ver Plano No. 12. - Perforación de agujero de 46 mm ϕ, para montaje de la cajeta del balero que soportar el tornillo de avance. 	<ul style="list-style-type: none"> - Torno - Butil para cortes internos - Taladro de columna. - Brocas de 12 mm de ϕ. - Centro punto. - Martillo. - Calibrador Pie de Rey.

TABLA No. 12.

PROCESO DE FABRICACION DE ELEMENTOS.		
NOMBRE: CAJA DEL SISTEMA DE ENGRANAJE(Placas Vert.) CANTIDAD: 2		
MATERIAL: PLACA de 570x200 mm ² x 12 mm de Esp. Acero AISI 1020.		
TIEMPO DE FABRICACION: Horas.		
PASOS.	DESCRIPCIÓN.	MAQUINA Y HERRAMIENTAS.
1	<ul style="list-style-type: none"> - Trazo de dimensiones. - Corte de las piezas. - Montaje de las piezas en la Fresadora. - Maquinado de las caras laterales hasta obtener las dimensiones indicadas en el Plano No. 13 A. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sierra de corte manual. - Escuadra y Rayador. - Fresadora. - Fresa de desbaste. - Calibrador Pie de Rey.
2	<ul style="list-style-type: none"> - Trazo y perforación de cuatro agujeros de 11 mm ϕ, roscar a 12 mm, paso = 1.5 mm. Y maquinar un agujero de 27 mm ϕ para el montaje de las tuercas - Maquinado de la cavidad para el montaje en la viga y en el eje. 	<ul style="list-style-type: none"> - Fresadora. - Taladro de columna. - Brocas de 12 mm de ϕ. - Rayador. - Centro punto. - Calibrador Pie de Rey. - Buril para maquinados de interiores. - Fresa de 27 mm
3	<ul style="list-style-type: none"> - Maquinado de las cavidades laterales para los refuerzos. - Maquinado de agujeros roscados de 6 mm ϕ, paso = 1 mm 	<ul style="list-style-type: none"> - Torno. - Fresadora. - Broca de 5 mm de ϕ. - Fresa de 25 mm.

TABLA No. 13 A.

PROCESO DE FABRICACION DE ELEMENTOS.		
NOMBRE: CAJA DEL SISTEMA DE ENGRANAJE (Placa Horiz.) CANTIDAD: 1		
MATERIAL: PLACA de 130x190 mm ² x 20 mm de Esp. Acero AISI 1020.		
TIEMPO DE FABRICACION: Horas.		
PASOS.	DESCRIPCIÓN.	MAQUINA Y HERRAMIENTAS.
1	<ul style="list-style-type: none"> - Trazado y corte de la pieza, según plano No. 13 B - Montaje de la pieza en la fresadora. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sierra de corte manual. - Escuadra y Rayador. - Cinta métrica.
2	<ul style="list-style-type: none"> - Maquinado de contornos hasta obtener las dimensiones de 130 mm X 190 mm x 19 mm. Ver Plano No. 13 B. - Trazar cuatro agujero de 10 mm de ϕ para el montaje del sinfín. Ver Plano No. 13 B. 	<ul style="list-style-type: none"> - Fresadora. - Fresa de desbaste vertical. - Calibrador Pie de Rey.
3	<ul style="list-style-type: none"> - Montaje de la pieza en el Taladro. - Perforación de cuatro agujeros de 10 mm ϕ. Ver Plano No. 12. - Maquinado de seis agujero roscados laterales de 8 mm ϕ, para unirla a las placas verticales. 	<ul style="list-style-type: none"> - Torno - Buril para cortes internos - Taladro de columna. - Brocas de 12 mm de ϕ. - Centro punto. - Martillo. - Calibrador Pie de Rey.

TABLA No. 13 B.

PROCESO DE FABRICACION DE ELEMENTOS.		
NOMBRE: SOPORTE DEL TORNILLO DE AVANCE		CANTIDAD: 1
MATERIAL: PLACA de 120 mm ² x 20 mm de Esp.		Acero AISI 1020.
TIEMPO DE FABRICACION:		Horas.
PASOS.	DESCRIPCIÓN.	MAQUINA Y HERRAMIENTAS.
1	<ul style="list-style-type: none"> - Trazo de las dimensiones de la pieza. - Corte de la pieza. - Trazo de cuatro agujeros de 10 mm y uno de 46 mm de ϕ. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sierra de corte manual. - Escuadra y Rayador. - Fresadora. - Fresa de desbaste.
2	<ul style="list-style-type: none"> - Maquinado de los contornos de la Placa hasta llevarlo a una dimensión final de 82x115 mm². - Maquinado de los cuatro agujero de 10 mm ϕ. - Maquinado del agujero de 46 mm ϕ en el cual se montará la cajeta para baleros 	<ul style="list-style-type: none"> - Torno - Fresadora. - Fresa de desbaste. - Escuadra y Rayador. - Centro punto. - Taladro de columna. - Broca de 10 mm de ϕ. - Buril para maquinado de interiores
3		

TABLA No: 14

PROCESO DE FABRICACION DE ELEMENTOS.		
NOMBRE: VIGA TIPO "S"		CANTIDAD: 1
MATERIAL: VIGA S150 X 25.7 mm. Acero AISI 1020.		
TIEMPO DE FABRICACION:		Horas.
PASOS.	DESCRIPCIÓN.	MAQUINA Y HERRAMIENTAS.
1	<ul style="list-style-type: none"> - Trazo de las dimensiones de la pieza. - Corte de la pieza. - Montaje de la pieza en la Fresadora. 	<ul style="list-style-type: none"> - Cinta métrica. - Escuadra y Rayador. - Sierra de corte manual. - Fresadora.
2	<ul style="list-style-type: none"> - Maquinar las cuatro caras de la viga, según dimensiones indicadas. - Taladrar cuatro agujeros de 10 mm ϕ para el montaje del soporte fijo. Ver Plano No. 15. 	<ul style="list-style-type: none"> - Fresadora. - Fresa de desbaste. - Taladro de columna. - Broca de 10 mm ϕ. - Centro punto. - Calibrador Pie de Rey.
3	<ul style="list-style-type: none"> - Acabado superficial de la viga. 	<ul style="list-style-type: none"> - Lija No. 100.

TABLA No: 15.

4.2.- Proceso de Fabricación de la Probeta.

PROCESO DE FABRICACIÓN DE ELEMENTOS.		
NOMBRE: PROBETA PARA EL ENSAYO .		CANTIDAD: 1
MATERIAL: Barra de 16 mm ϕ x 155 mm de Long. Acero AISI 1020.		
TIEMPO DE FABRICACION: Horas.		
PASOS.	DESCRIPCIÓN.	MAQUINA Y HERRAMIENTAS.
1	<ul style="list-style-type: none"> - Montar la barra en el torno. - Refrentar un extremo. - Maquinar el agujero de centrar. - Ubicar entre las mordazas del plato y el contrapunto del torno, una longitud aproximada de 160 mm de la barra. 	<ul style="list-style-type: none"> - Torno. - Buril para refrentar. - Broca de centro. - Calibrador Pie de Rey. - Cinta métrica.
2	<ul style="list-style-type: none"> - Cilindrar hasta obtener un diámetro de 13 mm. - Maquinar el primer radio de acuerdo a una distancia de 20 mm del extremo de la barra. 	<ul style="list-style-type: none"> - Torno. - Buril de Forma. - Buril para cilindrar. - Calibrador Pie de Rey.
3	<ul style="list-style-type: none"> - Trazar una longitud de 76 mm y maquinar el otro radio de acuerdo. - Cilindrar la longitud anteriormente trazada hasta obtener un diámetro de 6 mm. 	<ul style="list-style-type: none"> - Torno. - Buril de Forma. - Buril para cilindrar. - Calibrador pie de rey.

TABLA No.16.

Continuación...

PROCESO DE FABRICACION DE ELEMENTOS.		
NOMBRE: PROBETA PARA EL ENSAYO .		CANTIDAD: 1
MATERIAL: Barra de 16 mm ϕ x 155 mm de Long. Acero AISI 1020.		
TIEMPO DE FABRICACION: Horas.		
PASOS.	DESCRIPCIÓN.	MAQUINA Y HERRAMIENTAS.
4	<ul style="list-style-type: none"> - Cortar la barra a una distancia de 20 mm del último radio de acuerdo maquinado. - Refrentar el extremo faltante. 	<ul style="list-style-type: none"> - Tono. - Butil para refrentar. - Sierra de corte manual. - Calibrador pie de rey.
5	<ul style="list-style-type: none"> - Montar la probeta en la fresadora. - Maquinar las caras planas y paralelas de los extremos de la probeta, de tal manera que entre ellas haya una distancia de 11 mm. 	<ul style="list-style-type: none"> - Fresadora. - Fresa frontal de 6 mm.

TABLA No.16.

4.3.- MANUAL DE MANTENIMIENTO.

El mantenimiento de un equipo comprende todas aquellas actividades que se deben realizar en estos, para garantizar óptimas condiciones de funcionalidad y seguridad así como también la optimización de los accesorios.

Daños, defectos y áreas problemáticas necesitan determinarse en el menor tiempo posible, para reducir la frecuencia de los paros en la producción.

4.3.1.- Tareas Generales de Mantenimiento de Máquinas.

Las principales tareas que deben realizarse para el mantenimiento de máquinas y/o equipos, son las siguientes:

- Inspección.

Son las medidas que se toman para la determinación de las condiciones actuales (reales) de las máquinas. La inspección es una revisión periódica de los componentes de las unidades para examinar el deterioro y desgaste a que han sido sometidos, además comprobar las funciones de control y pruebas listadas a continuación:

- Medición de tolerancia.
- Reposición de piezas gastadas.
- Comprobar la seguridad de la unidad (Pruebas de la seguridad de la instalación).

- Servicio.

Son las medidas tomadas para la conservación de las condiciones deseadas de las máquinas y/o equipos.

El servicio es el cuidado periódico de los componentes de la unidad, el cual contribuye a incrementar la vida útil y comprende en detalle:

- La regulación y ajuste.
- La limpieza.
- La lubricación.

El objetivo de la inspección y el servicio, es detectar anticipadamente en tanto sea posible, los daños en la máquina y equipos, a fin de evitar costos sucesivos en las bajas o interrupciones en la producción.

- Reparación.

Son las medidas tomadas para la restauración de las condiciones deseadas de los equipos.

Las razones por las cuales un departamento de mantenimiento moderno, necesita de un sistema de inspección y servicio para conocer necesidades presentes y futuras, se enuncian a continuación:

- Las reparaciones deben ser efectuadas antes de que ocurra el daño o falla en la maquinaria o equipo.
- La mayor parte de las reparaciones necesitan ser planificadas y programadas para una eficiente implementación.
- Las plantas de producción deben permanecer disponibles y deben evitarse los paros.

- Los daños son necesario examinarlos y eliminarlos, basados en una investigación de causas.

- Deben cumplirse sistemáticamente, las normas de seguridad laboral y de protección del medio ambiente.

Para la elaboración de un listado de actividades de inspección y servicio, deben tomarse en cuenta los siguientes principios generales:

- La condición de operación durante la ejecución del plan.
- Los intervalos (frecuencia) de la inspección y servicio.
- Los sitios de ejecución (planta de producción, inspección, taller especializado, etc.).
- El tiempo calculado para la actividad individual.
- Servicio de Actualización de Datos.

A fin de mantener la documentación de la inspección y el servicio, archivo, la disposición de los equipos, los viajes de inspección, así como los registros de la situación actual, se debe de establecer un servicio de actualización de la información.

Los documentos de inspección y servicio deben ser claros, informativos y comprensibles. Cualquier información necesaria para identificar y localizar las piezas individuales de un equipo, se debe incluir en su totalidad.

- Elaboración y Complementación de la Documentación.

Uno de los problemas mas grandes, con los que se encuentra actualmente la pequeña y mediana industria de El Salvador, es la inexistencia o la insuficiente documentación de las máquinas. Esto

conlleva a limitar o hacer difíciles las tareas de mantenimiento.

El contar con una documentación completa, facilita en gran medida, el poder organizar y planificar las tareas de mantenimiento necesarias para una máquina o instalación, ya que en ella se encuentran todos los datos técnicos perteneciente a cada dispositivo. Además evita en gran parte paros largos en los procesos de producción debido a falta de información.

Existen diferentes métodos para poder elaborar la documentación o complementar la ya existente, entre ellos se pueden mencionar:

- El contactar el fabricante de dicha máquina y solicitar el catálogo correspondiente.

- Valerse de la experiencia obtenida mediante el manejo de la máquina y con base a ella documentar toda la información necesaria

- Se puede también documentar a través de comparación entre dos máquinas parecidas, tomando en cuenta que una de ellas tenga la información requerida.

- Solicitar la colaboración, contratar a asesores preparados en el ramo.

- Elaborar diagramas de bloques, en los cuales debe quedar representado el funcionamiento de la máquina y datos imprescindibles.

- Elaborar diagramas de conexión en los diferentes sistemas, hidráulicos, neumáticos, eléctrico, en caso de diagramas ya existentes, verificar su contenido y considerar si es necesario su complementación.

Teniendo en consideración todo lo antes mencionado, se presenta a continuación un listado de las tareas de inspección y servicio que deben realizársele a la máquina para Pruebas de Torsión Estática.

La primera columna de la lista sirve para indicar como se ejecutará la actividad, la segunda columna indica la frecuencia con que se realizará la actividad (d: diario, s: semanal, m: mensual, a: anual, 3m: cada tres meses, etc.); en la tercera columna se especifica la actividad a desarrollar, en la columna se especifica el número de veces que se realizara la actividad y las últimas tres columnas son relativas a especificar los lubricantes a usar.

4.3.2.- Tareas de Inspección y servicios de la Máquina.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

SECCIÓN: LABORATORIO DE DISEÑO Y ANÁLISIS NIVEL: PRIMERA PLANTA. FABRICANTE: _____
 DE MAQUINAS. EDIFICIO: MECÁNICA. _____

MAQUINA PARA PRUEBAS DE TORSIÓN ESTÁTICA. No. INVENTARIO: _____.

Ejecución	Frecuencia	Actividades	No. veces	Método Lubricación	Cantidad	Tipo de Lubricante
Manual	d	- Limpiar cualquier aceite que se derrame sobre superficies pintada.	1	-	-	-
Manual	-	- Tapar la máquina con su cubierta después de usarla.	1	-	-	-
Manual	3m	CAJA DE ENGRANAJE. - Limpiar y lubricar el sistema de engranaje.	1	Manual	Según necesite.	ISO VG 460
Manual	s	- Apretar sujetadores de cubierta de la caja de engranajes.	1	-	-	-
Manual	3m	- Apretar sujetadores de cojinetes.	1	-	-	-
Manual	s	- Apretar sujetadores de cojinetes de soporte fijo.	1	-	-	-

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

SECCIÓN: LABORATORIO DE DISEÑO Y ANÁLISIS DE MAQUINAS. NIVEL: PRIMERA PLANTA. EDIFICIO: MECÁNICA. FABRICANTE: _____

MAQUINA PARA PRUEBAS DE TORSIÓN ESTÁTICA. No. INVENTARIO: _____.

Ejecución	Frecuencia	Actividades	No. veces	Método Lubricación	Cantidad	Tipo de Lubricante
Manual	3m	- Engrasar cojinetes.	1	Manual	Según necesite	Consistencia NLGI 2
Manual	2a	- Cambiar cojinetes.	1	-	-	-
Manual	d	TORNILLO DE AVANCE - Limpiar y lubricar tornillo de avance.	1	Manual	Según necesite	ISO VG 68
Manual	d	- Lubricar cojinetes de tornillo de avance.	1	Manual	Según necesite	150 VG 68
Manual	2a	- Cambiar cojinetes de tornillo de avance.	-	-	-	-
Manual	d	MORDAZAS. -Limpiar completamente, antes y después de cada etapa de trabajo.	-	-	-	-

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

SECCIÓN: LABORATORIO DE DISEÑO Y ANÁLISIS NIVEL: PRIMERA PLANTA. FABRICANTE: _____
 DE MAQUINAS. EDIFICIO: MECÁNICA. _____

MAQUINA PARA PRUEBAS DE TORSIÓN ESTÁTICA. No. INVENTARIO: _____.

Ejecución	Frecuencia	Actividades	No. veces	Método Lubricación	Cantidad	Tipo de Lubricante
Manual	d	- Colocar una delgada superficie de aceite sobre las superficies maquinadas (ejes, mordazas, etc.).	1	Manual	Según necesite.	ISO VG 68
Utilizando comparador de reloj.	s	Verificar: - Oscilación axial de la cara plana de la mordaza (+/- 0.01). - Oscilación transversal de la parte cilíndrica de las mordazas (+/- 0.01). - Colinealidad de las mordazas.	-	-	-	-
Manual	d	- Sujetar muy bien las mordazas.	-	-	-	-

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

SECCIÓN: LABORATORIO DE DISEÑO Y ANÁLISIS DE MAQUINAS. NIVEL: PRIMERA PLANTA. FABRICANTE: _____
 EDIFICIO: MECÁNICA. _____

MAQUINA PARA PRUEBAS DE TORSIÓN ESTÁTICA. No. INVENTARIO: _____

Ejecución	Frecuencia	Actividades	No. veces	Método Lubricación	Cantidad	Tipo de Lubricante
Manual	d	BANCADA - Limpiar bancada (riel).	-	-	-	-
Manual	s	-Revisar la sujeción de la bancada a la mesa de trabajo.	-	-	-	-
Manual	d	- Lubricar guías de desplazamiento de caja de engranaje.	1	Manual	Según necesite	ISO VG 460
Manual	d	-Retirar cualquier dispositivo o herramienta montado sobre las guías de desplazamiento.	-	-	-	-
Manual	-	MEDIDOR DE DEFORMACIÓN.	-	-	-	-
Manual	3m	- Limpiar el medidor de deformación. - Verificar la posición a CERO del dial.	-	-	-	-

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
 FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
 ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

SECCIÓN: LABORATORIO DE DISEÑO Y ANÁLISIS DE MAQUINAS. NIVEL: PRIMERA PLANTA. FABRICANTE: _____
 EDIFICIO: MECÁNICA. _____

MAQUINA PARA PRUEBAS DE TORSIÓN ESTÁTICA. No. INVENTARIO: _____.

Ejecución	Frecuencia	Actividades	No. veces	Método Lubricación	Cantidad	Tipo de Lubricante
Manual	d	MEDIDOR DE PAR. - Limpiar el medidor de par y sujetarlo muy bien a su base. - Verificar la posición a cero del dial del medidor de carga.	-	-	-	-
Manual	d		-	-	-	-

4.3.3.- Recomendaciones Generales.

- Usar lubricantes de una misma marca, según las especificaciones de viscosidad.
- Cambiar los cojinetes cuando presenten un deterioro apreciable.
- Encargar la operación y mantenimiento de la máquina a una persona especializada.
- Documentar cualquier cambio que se realice a la máquina.
- Llevar un control de la cantidad de pruebas que se realicen en la máquina.

4.4.- Manual de Operación.

Para obtener resultados fieles de las propiedades mecánicas a la torsión estática de los materiales metálicos, durante el desarrollo de la prueba de torsión estática es necesario que se lleven a cabo una serie de pasos y operaciones, tales como: operaciones de montaje de la probeta, medición de deformación angular y carga de torsión.

4.4.1.- REVISIÓN DE LA PROBETA A ENSAYAR, TORSIÓMETRO Y MÁQUINA DE PRUEBA.

Un paso previo a la realización de la prueba es, la inspección de la probeta a ensayar, verificar los radios de acuerdo y las dimensiones de la misma (longitud y cabezas), según lo indicado en el plano, así como el acabado superficial; de todo lo anteriormente señalado se debe tomar nota.

Verificar el estado de funcionamiento del torsiómetro, lubricar las partes de los collarines que están en contacto rodante, asegúrese que éstos giren libremente.

Antes de cada prueba ó ensayo compruebe la posición del brazo de palanca la cual debe ser horizontal (utilice un nivel), el ajuste necesario se realiza en el perno que soporta al medidor de fuerza, siempre ajuste a cero el dial indicador.

Lubrique si es necesario aquellas partes que estén en contacto y en movimiento ya sea éste axial ó circunferencial.

4.4.2.- INSTALACIÓN DEL TORSIOMETRO PARA LA MEDICIÓN DE LA DEFORMACIÓN EN EL RANGO ELÁSTICO.

- a).- Alinear las mordazas haciendo uso de la probeta.
- b).- Armar el torsiómetro
- c).- Montar la probeta en el torsiómetro.
- d).- Colocarla entre las galgas de centrar.
- e).- Posicionar el tramo calibrado entre los tornillo de sujeción.
- d).- Acercar a la probeta las puntas de los tornillos de sujeción.

4.4.3.- MONTAJE DE LA PROBETA Y TORSIOMETRO EN LA MAQUINA.

- a).- Instalar uno de los extremos de la probeta en la mordaza del soporte fijo.
- b).- Desplazar la mordaza del eje del engrane (hacia el extremo libre de la probeta) por medio del tornillo de avance accionando su manivela y sujetar totalmente la probeta.
- c).- Debe tenerse cuidado de no flexionar la probeta al manipularla durante el montaje
- e).- No se debe accionar por ningún motivo la manivela del tornillo sinfín del engrane.
- f).- Acercar la punta de contacto del dial indicador (ubicado en uno de los collarines) a su palpador el cual se encuentra en el otro collarín.
- g).- Ajustar a cero la lectura en el dial indicador.
- h).- Apretar moderadamente y de forma manual los pernos de sujeción.

4.4.4.- MEDICIÓN DE LA CARGA Y DEFORMACIÓN.

- a).- Ajustar a CERO la escala de medición en el dinamómetro.
- b).- Definir la magnitud de la deformación del ensayo en el rango elástico, que para éste caso será de 1.6 mm.
- c).- Hacer incrementos de deformación cada 0.1 mm hasta totalizar los 1.6 mm señalados.
- e).- Accionar a velocidad constante la manivela del tornillo sinfín del engrane, para evitar que se produzcan daños en el torsiómetro y se tomen lecturas con mayor precisión.
- e).- Tomar nota de las lecturas de carga y deformación en las proporciones indicadas.
- f).- Cuando haya finalizado el paso anterior, desmontar la probeta de sus respectivas mordazas y posteriormente el torsiómetro de ella.

4.4.5.- RUPTURA DE LA PROBETA.

- a).- Instale nuevamente la probeta (repetir los pasos del a - e contenidos en el literal 4.4.3).
- b).- Reajustar a CERO la escala de medición del dinamómetro.
- c).- Colocar a CERO la escala angular graduada en el porta mordaza del eje del engrane.
- d).- Definir la magnitud del ángulo con el cuál se estará torciendo la probeta durante el ensayo hasta la ruptura.
- e).- Para cada incremento del ángulo de torcedura tomar nota de la carga aplicada.

4.5.- Guía de Laboratorio.-

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
DEPTO. DE DISEÑO Y ANÁLISIS DE MAQUINA

Práctica de Laboratorio No. ____.-

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL CORTE POR TORSIÓN ESTÁTICA EN LOS
MATERIALES METÁLICOS.

I.- OBJETIVO GENERAL:

Determinar las propiedades mecánicas de los materiales metálicos, cuando son sometidos a ensayos de torsión estática.

II.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1.- Determinar el módulo de rigidez (G), resistencia de fluencia (S_{sy}) y el módulo de ruptura (S_{su}) a la torsión del material que se está ensayando.

2.- Graficar las curvas experimentales de T vs ϕ para el material ensayado.

3.- Analizar los resultados obtenidos del ensayo para determinar el comportamiento del material, cuando éste es sometido a cargas externas reales.

4.- Identificar las características de la falla por torsión estática en los materiales.

III.- MATERIAL Y EQUIPO A UTILIZAR.

- Máquina de pruebas.
- Torsiómetro.
- No de probetas del material que será sometido al ensayo de torsión estática.
- Juego de llaves allen de 3 a 6 mm.
- Pinza o tenaza de presión.
- Plumón permanente.

IV.- INTRODUCCIÓN.

La torsión se realiza por medio de dos momentos de torsión iguales y opuestos, que son aplicados a los extremos de la muestra en los planos perpendiculares a su eje longitudinal.

Las tensiones tangenciales máximas, actúan en los planos perpendiculares al eje geométrico de la muestra. Las tensiones normales máximas actúan en un ángulo de 45 grados, siendo $S_{máx} = \tau_{máx}$.

Después de la rotura por corte y la separación se obtienen formas características de quebraduras, como se muestra en la siguiente figura por las cuales se puede determinar unívocamente el tipo de destrucción. Las muestras deberán tener la parte de trabajo cilíndrica y cabezas cuadradas o semi cuadradas.

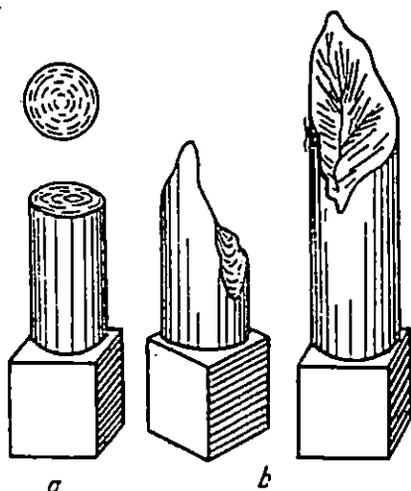


Fig. 4.5.1.- Aspecto de las muestras que han sido destruidas durante la torsión por corte (a) y por desprendimiento (b).

Los ensayos a torsión se realizan en máquinas especiales, las cuales deberán garantizar un adecuado centrado de la muestra, la gradualidad del proceso de carga, la ausencia de fuerzas de flexión y la posibilidad de calcular y medir con suficiente exactitud la magnitud del momento de torsión. La posición de la muestra puede ser tanto horizontal como vertical.

Las partes principales de estas máquinas son: una estructura rígida, una transmisión (por intermedio de la cual gira la mordaza motriz), un medidor de esfuerzos con varias escalas de carga, un medidor de revoluciones y un medidor de ángulos para la determinación del ángulo de torsión de la muestra.

Análogamente con otros ensayos estáticos, durante la torsión, se determinan los límites convencionales de proporcionalidad, elasticidad, fluidez y de resistencia, así como también el límite de

resistencia real. Todas éstas propiedades son expresadas a través de las tensiones tangenciales.

V.- PROCEDIMIENTO.

A).- COMPORTAMIENTO DEL MATERIAL EN EL RANGO ELÁSTICO:

1.- Ponga horizontalmente el brazo de palanca del medidor de fuerza y ajuste éste a cero.

2.- Desmontar la manecilla de la manivela del tornillo sinfín del engranaje.

3.- Utilice la probeta para alinear las mordazas e identifique las cabezas de la probeta que corresponden a cada mordaza, ajuste a cero la escala angular de la mordaza motriz (registrar el número de vueltas).

4.- Utilice el calibrador pie de rey y determine el diámetro promedio de la probeta (D_0) en su longitud (tome tres medidas).

5.- Aplique aceite a las partes de los collarines que se ensamblan.

6.- Acoplar los collarines y verificar que giren libremente.

7.- Colocar la probeta entre las galgas de centrar y posicionarla en el tramo calibrado.

8.- Asegúrese dejar una separación de aproximadamente 0.2 mm en la zona de traslape de los collarines (torsiómetro).

9.- Aproxime a la probeta las puntas de los tornillo de sujeción sin perforarla.

10.- Acercar la punta de contacto del dial indicador (ubicado en uno de los collarines) a su palpador el cual se encuentra en el otro collarín, y posicionarlo verticalmente.

- 11.- Ajustar a cero la lectura del dial indicador.
- 12.- Apretar moderadamente de forma manual y uniformemente los tornillos de sujeción.
- 13.- Instale uno de los extremos de la probeta (tome en cuenta el paso No. 3) en la mordaza del soporte fijo.
- 14.- Accione la manivela del tornillo de avance, de tal forma que la mordaza motriz se desplace hacia el extremo libre (cabeza) de la probeta y pueda alojarse ésta.
- 15.- Durante el montaje del conjunto probeta - torsiómetro, tenga cuidado de no flexionar la probeta y de no accionar por ningún motivo la manivela del tornillo sinfín del engrane.
- 16.- Inicie la prueba, accionando a una baja velocidad angular la manivela del tornillo sinfín, la velocidad debe ser constante de tal forma que las lecturas del torsiómetro (S) y del medidor de fuerza (F), puedan ser leídas con precisión y de forma continua.
- 17.- Tomar lecturas de deformación (S) cada 0.1 mm en el torsiómetro así como la correspondiente lectura de carga en el medidor de fuerza (F).
- 18.- Repita nuevamente y durante quince veces el paso No. 17.
- 19.- Anote los datos obtenidos en la siguiente tabla:

TABLA DE RESULTADOS EXPERIMENTALES DEL ENSAYO DE
TORSIÓN ESTÁTICA.

PRUEBA No.: _____

MATERIAL : _____

RANGO : ELÁSTICO, PLÁSTICO.

Lo(distancia entre marcas): _____ mm.

Do(Diámetro de la probeta): _____ mm.

S (mm)	F (lb)	T (Nm)	Ø (Grado)	τ (MPa)	τ (Kpsi)	γ (rad)
0.10						
0.20						
0.3						
-						
-						
-						
1.6						

Tabla A.

Las lecturas tomadas en el torsiómetro son unidades de longitud (mm) y las tomadas en el medidor de fuerza son unidades de fuerza (Lbf). Para completar la tabla A se emplearan las siguientes ecuaciones:

$$T = (1.112) F \text{ [lbf]}; \text{ [Nm]}$$

$$\phi = (1.146) S \text{ [mm]}; \text{ [grados]}$$

$$\tau_{pa} = (23.578) T \text{ [Nm]}; \text{ [Mpa]}$$

$$\tau_{psi} = (0.145) \tau_{pa} \text{ [Mpa]}; \text{ [Kpsi]}$$

$$\gamma = (Do * S)/(100 * Lo); \text{[rad]}$$

20.- Suspenda la prueba y descargue lentamente la probeta hasta que el medidor de fuerzas marque cero.

21.- Desmonte de la máquina el conjunto probeta - torsiómetro, teniendo en cuenta las precauciones durante el montaje (paso No. 16), además cuide de no golpear el dial indicador.

22.- Desmonte la probeta del torsiómetro y mida con el calibrador pie de rey la distancia entre las marcas dejadas por los pernos de centrar (Lo) y tome nota de ello.

23.- Marque con un plumón permanente una línea longitudinal sobre la superficie de la probeta.

24.- Monte nuevamente a la máquina la probeta teniendo cuidado de no confundir la cabeza que le corresponde a cada mordaza y de introducir toda la cabeza en la mordaza.

25.- Ajuste a cero el medidor de fuerza y la escala angular de la mordaza motriz.

B).- COMPORTAMIENTO DEL MATERIAL EN EL RANGO PLASTICO:

26.- Con el calibrador pie de rey mida la distancia entre las mordazas (L) y tome nota de ello.

27.- Póngale la manecilla a la manivela del tornillo sinfín.

28.- Inicie la prueba en el rango plástico (accionando la manivela del tornillo sinfín del engrane), tomando lecturas de ángulo de torsión (ϕ) a partir de 5° con incrementos de 5° en adelante hasta los 45° , y de aquí en adelante los incrementos serán de 45° hasta la rotura. Cada una de las lecturas anteriores debe ir acompañada de la correspondiente lectura de fuerza (F).

29.- Accione la manivela con una velocidad aproximada de 225 grados/segundo y de forma continua.

30.- Observe como se deforma la línea longitudinal marcada en la probeta producto de la deformación angular. Tome nota del comportamiento del material.

31.- Esté atento para tomar nota de la fuerza (F) y el ángulo de torsión, cuando ocurra la falla.

32.- Una vez que la probeta se haya roto, retirarla de la máquina. Y estudiar el tipo de falla ocurrida.

F (lb)	ϕ (Grado)	T (Nm)	τ (Mpa)	τ (Kpsi)	γ (rad)
	5				
	10				
	15				
	20				
	25				
	30				
	35				
	40				
	45				
	90				
	135				
	-				
	-				
	-				

Tabla B.

VI.- ASIGNACIONES.

- 1.- Con los datos de las tablas A y B, grafique T vrs ϕ .
- 2.- Determinar el módulo de rigidez (G), la resistencia de fluencia y el módulo de ruptura al corte del material ensayado.
- 3.- Determine la energía de deformación por unidad de volumen hasta el límite elástico.
- 4.- Describir y analizar el tipo de falla de la probeta.

5.- Comparar los resultados experimentales con los teóricos. Y obtenga sus conclusiones.

6.- Concluya a que posibles razones se debe la variación entre los valores teóricos del módulo de rigidez, módulo de ruptura y de la resistencia de fluencia, con los valores encontrados experimentalmente.

7.- Mencionar ejemplos de mecanismos o estructuras en los que está presente el fenómeno de la torsión.

CAPITULO V
PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1.- Generalidades.

Las resistencias a la torsión se obtienen sometiendo elementos en forma de barras a una acción de torcimiento y registrando el momento o par aplicado y el ángulo de giro o deformación angular que se produce. Los resultados se llevan a una gráfica momento - deformación que se denomina diagrama de momento torsionante - ángulo de torsión. Mediante las ecuaciones del capítulo I para el esfuerzo por torsión se determina el límite elástico a la torsión, la resistencia de fluencia a la torsión (S_{sy}) y el módulo de rigidez (G). El punto máximo en el diagrama de torsión, que corresponde al punto U de la fig. 5.1, es T_u .

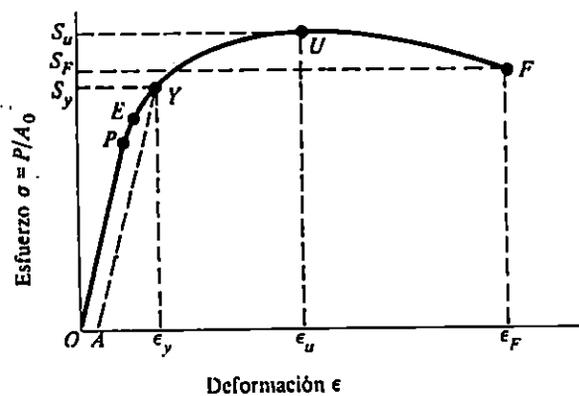


Fig. 5.1.- Diagrama esfuerzo - deformación, de un material dúctil.

Donde:

P , es el punto que indica el límite de proporcionalidad.

E , indica el límite elástico.

Y , representa la resistencia de fluencia convencional, calculada por el método del corrimiento paralelo.

U , es la resistencia última o máxima, y

F , es el esfuerzo de fractura o ruptura.

El módulo de ruptura para el ensayo de torsión está definido por

la siguiente ecuación, $S_{su} = (T_u r)/J$

Donde:

R, es el radio de la barra, y

J, el momento polar de inercia de la sección.

Obsérvese que el uso de la ecuación anterior implica que la ley de Hooke es aplicable en este caso. Esto no es cierto porque la región más alejada del eje en la barra se halla en estado de plasticidad bajo la acción del momento T_u . Debido a esto, se denomina a S_{su} módulo de ruptura a la torsión. Se considera incorrecto llamarla S_{su} resistencia última a la torsión.

5.2.- Desarrollo de las Pruebas.

Las pruebas de torsión estática tuvieron como objetivo, en primer lugar el ajuste y calibración de la máquina, así como la determinación y comprobación de las propiedades mecánicas a la torsión de los materiales ensayados. Para la obtención de resultados del ensayo de torsión estática, se realizaron ocho pruebas; cuatro en acero AISI 1020 y cuatro en acero AISI 1045.

La velocidad angular de la prueba en el rango elástico es de aproximadamente 15 grados/seg en el tornillo sinfín, esto facilita la lectura en el torsiómetro y en el medidor de fuerza. Para el rango plástico la velocidad puede aumentarse hasta un valor de 225 grados/seg ésta debe de ser aplicada de una forma constante y uniforme, debido a que el proceso de deformación en la probeta no debe interrumpirse para

que el material no tienda a recuperarse y sus propiedades no se alteren.

El plano de fractura (sección transversal) se toma con respecto al eje longitudinal de la probeta y la zona de corte se mide con respecto al radio de acuerdo más próximo.

El tiempo promedio de duración por prueba es de 30 a 40 minutos, esto incluye el montaje de la probeta en el torsiómetro, el montaje del conjunto probeta-torsiómetro en la máquina y el desarrollo del procedimiento del ensayo.

5.3.- Preparación de las Probetas.

Las probetas ensayadas fueron fabricadas en dos talleres diferentes, por lo que no se tuvo un estricto control del maquinado, por ejemplo: las velocidades, profundidades y avances de corte, así como del acabado superficial el cual fue diferente para cada probeta.

Los factores anteriores son los causantes de la variación de los resultados de los ensayos, razón por la cual debe de dárseles la atención que se merecen. En este caso se puede decir que los resultados son satisfactorios si se toma en cuenta la rigurosidad con que se deben fabricar las probetas.

El maquinado de la probeta comprende:

a).- La fabricación de la probeta según dimensiones y geometría indicadas en el plano o modelo, y

b).- El acabado superficial, el cual define la calidad del maquinado, y puede clasificarse como: Aceptable y Deficiente.

5.4.- Resultados Obtenidos.

5.4.1.- Resultados Obtenidos para el Acero AISI 1020.

Tabla No. 5.1.- Comportamiento del Material en el Rango Plástico.

ACERO AISI 1020			
Número de Prueba.	Maquinado.	Número de vueltas hasta la ruptura.	Fractura.
2	Aceptable.	210° \cong 0.6 vueltas	En un plano \cong 95° a 3mm del radio de acuerdo.
6	Deficiente.	1875° \cong 5.2 vueltas	En un plano \cong 95° en el radio de acuerdo.
7	Deficiente.	945° \cong 2.6 vueltas	En un plano = 90° en el radio de acuerdo.
8	Aceptable.	1110° \cong 3.1 vueltas	En un plano = 90° a 5mm del radio de acuerdo.

Tabla No. 5.2.- Resultados Experimentales, Obtenidos en el Ensayo de Torsión Estática.

ACERO AISI 1020				
No. de Prueba	Módulo de Rigidez (G), $\times 10^6$ psi.	Resistencia de Fluencia (S_{sy}), $\times 10^3$ psi	Módulo de ruptura (S_{su}), $\times 10^3$ psi	Torque último (T_u), Nm
2	12.135	51.57	77.937	22.796
6	11.880	25.65	79.838	23.352
7	12.290	25.99	78.316	22.907
8	12.015	23.94	78.685	23.015
Valor Promedio =	12.080	31.78	78.694	23.017
Valor Teórico =	12.000	24.00	45.000	

5.4.2.- Resultados Obtenidos para el Acero AISI 1045.

Tabla No. 5.3.- Comportamiento del Material en el Rango Plástico.

ACERO AISI 1045			
Número de Prueba.	Maquinado.	Número de vueltas hasta la ruptura.	Fractura.
3	Aceptable.	1900° \cong 5.3 vueltas	En un plano \cong 90° en el radio de acuerdo.
5	Aceptable.	1595° \cong 4.4 vueltas	En un plano \cong 90° a 15mm del radio de acuerdo.
9	Deficiente	1005° \cong 2.8 vueltas	En un plano = 90° en el radio de acuerdo.

Tabla No. 5.4.- Resultados Experimentales, Obtenidos en el Ensayo de Torsión Estática.

ACERO AISI 1045				
No. de Prueba	Módulo de Rigidez (G), $\times 10^6$ psi.	Resistencia de Fluencia (S_{sy}), $\times 10^3$ psi	Módulo de ruptura (S_{su}), $\times 10^3$ psi	Torque último (T_u), Nm.
3	12.46	33.17	102.64	30.02
5	11.49	30.78	97.89	28.64
9	12.26	32.48	87.44	25.58
Valor Promedio =	12.07	32.14	95.99	$T_u = 28.08$
Valor Teórico =	12.00	25.00	55.00	

5.5.- Análisis de los Resultados.

Las tablas 5.1 - 5.4, muestran los resultados obtenidos en ensayos de torsión estática de probetas (6 mm de diámetro) de acero AISI 1020 y 1045, fabricadas con procesos de maquinado ligeramente diferentes. Unas mostraban maquinados aceptable y para otras era deficiente ya que poseían rugosidades superficiales producto de altas

profundidades de corte, por lo que pudieron inducirse esfuerzos residuales.

Módulo de Rigidez (G).

Para la mayoría de aceros, el módulo de rigidez (G), es prácticamente el mismo por lo que no existe diferencia entre el módulo de rigidez del acero al 0.20% C y el acero al 0.45% C.

Los resultados del módulo de rigidez (G) de las probetas ensayadas del Acero AISI 1020 es aceptable, pues varían en decrementos de 1% y en incrementos de 2.36%. Lo mismo se puede decir para el Acero AISI 1045 pues el valor de (G) determinado tanto para las probetas con maquinado aceptable y deficiente, solo se incrementa el 3.83% y disminuye el 4.25% del valor teórico ($G = 12 \text{ MPsi}$). Puede notarse que no existe variación considerable del módulo de rigidez entre probetas ensayadas con diferentes calidades de maquinado.

Módulo de Ruptura (S_{su}).

El módulo de ruptura se ve disminuido en 12.79% de las probetas de maquinado deficiente con respecto a las probetas de maquinado aceptable; este comportamiento es el esperado ya que las probetas de maquinado deficiente poseen esfuerzos residuales y defectos superficiales que disminuyen su resistencia, por lo que con un menor torque es posible fracturarlas.

El módulo de ruptura obtenido experimentalmente para el acero 1045 se incrementa en un 45% aproximadamente con respecto a los datos del acero al 0.40% C. Esto puede considerarse normal ya que las

propiedades mecánicas de los aceros aumentan al incrementar el porcentaje de Carbono y el acero 1045 posee 5% más de Carbono que el acero al 0.40% C. Por lo general el tratamiento térmico del material en estado de entrega es el recocido, pero el proveedor no ofreció información sobre propiedades a la torsión del material.

Número de Vueltas hasta la Ruptura (N_v).

El número de vueltas hasta la ruptura pone en evidencia la capacidad que posee el material de absorber energía antes de romperse. Tanto para el acero 1020 como para el acero 1045, se observó que poseen una alta capacidad de absorber energía antes de romperse por torsión ya que se obtuvo una deformación máxima aproximada de 5.85 vueltas (probetas de maquinado aceptable).

La capacidad de absorber energía antes de la ruptura se ve disminuida por el trabajado en frío o esfuerzos residuales del material generados por procesos de maquinado o defectos que trae el material, éste fenómeno fue evidente ya que las probetas de maquinado deficiente giraron 2 vueltas menos que las probetas con maquinado aceptable.

Fractura.

El maquinado de la probeta tiene gran influencia en los resultados, ya que ligeras variaciones en el diámetro(a todo lo largo de la probeta) constituyen concentradores de esfuerzos, lo cual conlleva a que la falla ocurra con anticipación y los resultados se modifiquen.

De las siete probetas ensayadas, solo dos fallaron en una posición aceptable(una a 5 mm y otra a 15 mm del radio de acuerdo); las otras fallaron próximas al radio de acuerdo, la naturaleza de la falla fue por cortadura en ángulo aproximadamente recto con respecto al eje longitudinal de la probeta.

Era de esperar éste resultado ya que los materiales ensayado son dúctiles (falla por esfuerzo cortante máximo).

Generación de la Hélice en el Rango Plástico.

Las probetas de mecanizado deficiente mostraron una deformación no uniforme concentrada en mayor proporción en el radio de acuerdo donde ocurrió la falla. Las probetas mejor mecanizadas (aceptable), mostraban una hélice mejor distribuida en toda la longitud de la probeta.

Tonalidad y Rugosidad de la Superficie en el Rango Plástico.

Para todas las probetas ensayadas, su superficie se volvió más rugosa a medida que se incrementaban las deformaciones en el rango plástico; además se observó una disminución en la reflexión de la luz.

Calor Generado en la Probeta.

El incremento de temperatura por el efecto de trabajado en frío de la probeta no es apreciable al tacto. Puede modificarse la velocidad de la prueba (en ensayos futuros) para apreciarse éste fenómeno, o tener instrumentos precisos para una medición.

5.6.- Tablas Gráficas de los Resultados.

ENSAYO DE TORSION ESTATICA.

PRUEBA No: 2

MATERIAL : Acero AISI 1020.

RANGO : ELÁSTICO

Lo(Distancia entre marcas 51.70 mm

Do(Diámetro de la probeta 6.10 mm

RANGO : PLASTICO

L(Distancia entre mordaza 85.35 mm

S (mm)	F (lb)	T (Nm)	ϕ (Grado)	ζ (MPa)	ζ (Kpsi)	γ (rad)
0.10	1.00	1.112	0.115	26.219	3.802	0.00012
0.20	1.25	1.390	0.229	32.773	4.752	0.00024
0.30	1.75	1.946	0.344	45.883	6.653	0.00035
0.40	2.00	2.224	0.458	52.437	7.603	0.00047
0.50	2.50	2.780	0.573	65.547	9.504	0.00059
0.60	3.00	3.336	0.688	78.656	11.405	0.00071
0.70	3.50	3.892	0.802	91.766	13.306	0.00083
0.80	3.75	4.170	0.917	98.320	14.256	0.00094
0.90	4.50	5.004	1.031	117.984	17.108	0.00106
1.00	5.00	5.560	1.146	131.094	19.009	0.00118
1.10	5.25	5.838	1.261	137.648	19.959	0.00130
1.20	5.50	6.116	1.375	144.203	20.909	0.00142
1.30	6.00	6.672	1.490	157.312	22.810	0.00153
1.40	6.50	7.228	1.604	170.422	24.711	0.00165
1.50	7.00	7.784	1.719	183.531	26.612	0.00177
1.60	7.25	8.062	1.834	190.086	27.562	0.00189
1.70	8.00	8.896	1.948	209.750	30.414	0.00201
1.80	8.00	8.896	2.063	209.750	30.414	0.00212
1.90	8.25	9.174	2.177	216.305	31.364	0.00224
2.00	8.50	9.452	2.292	222.859	32.315	0.00236
2.10	9.00	10.008	2.407	235.969	34.215	0.00248
2.20	9.50	10.564	2.521	249.078	36.116	0.00260
2.30	10.00	11.120	2.636	262.187	38.017	0.00271
2.40	11.00	12.232	2.750	288.406	41.819	0.00283
2.50	11.50	12.788	2.865	301.515	43.720	0.00295
2.60	11.75	13.066	2.980	308.070	44.670	0.00307

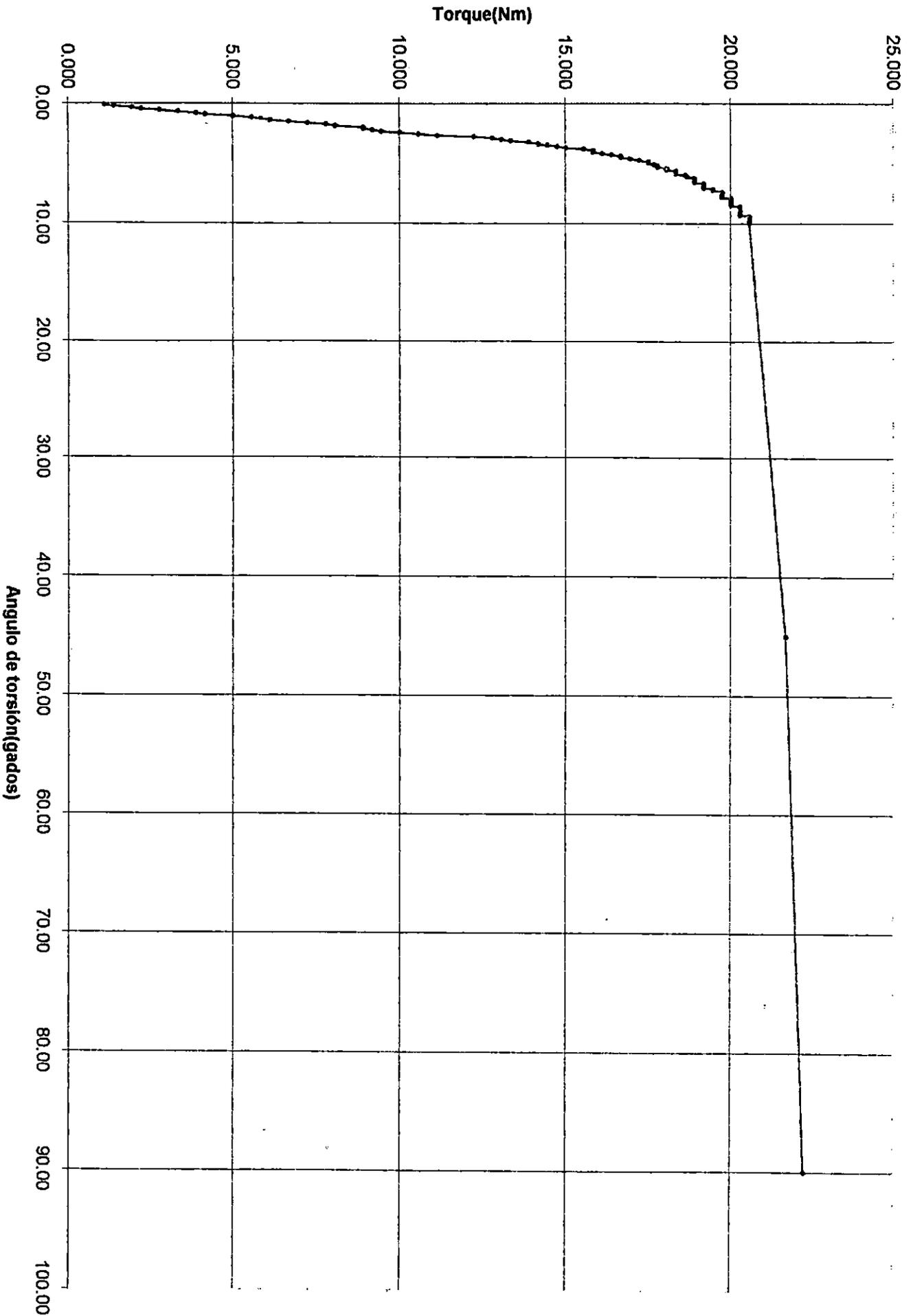
2.70	12.00	13.344	3.094	314.625	45.621	0.00319
2.80	12.50	13.900	3.209	327.734	47.521	0.00330
2.90	12.75	14.178	3.323	334.289	48.472	0.00342
3.00	13.00	14.456	3.438	340.844	49.422	0.00354
3.10	13.25	14.734	3.553	347.398	50.373	0.00366
3.20	13.50	15.012	3.667	353.953	51.323	0.00378
3.30	14.00	15.568	3.782	367.062	53.224	0.00389
3.40	14.25	15.846	3.896	373.617	54.174	0.00401
3.50	14.25	15.846	4.011	373.617	54.174	0.00413
3.60	14.50	16.124	4.126	380.172	55.125	0.00425
3.70	14.75	16.402	4.240	386.726	56.075	0.00437
3.80	15.00	16.680	4.355	393.281	57.026	0.00448
3.90	15.00	16.680	4.469	393.281	57.026	0.00460
4.00	15.25	16.958	4.584	399.836	57.976	0.00472
4.10	15.50	17.236	4.699	406.390	58.927	0.00484
4.20	15.75	17.514	4.813	412.945	59.877	0.00496
4.30	15.75	17.514	4.928	412.945	59.877	0.00507
4.40	15.90	17.681	5.042	416.878	60.447	0.00519
4.50	16.00	17.792	5.157	419.500	60.827	0.00531
4.60	16.00	17.792	5.272	419.500	60.827	0.00543
4.70	16.25	18.070	5.386	426.054	61.778	0.00555
4.80	16.25	18.070	5.501	426.054	61.778	0.00566
4.90	16.50	18.348	5.615	432.609	62.728	0.00578
5.00	16.50	18.348	5.730	432.609	62.728	0.00590
5.10	16.50	18.348	5.845	432.609	62.728	0.00602
5.20	16.75	18.626	5.959	439.164	63.679	0.00614
5.30	16.80	18.682	6.074	440.475	63.869	0.00625
5.40	17.00	18.904	6.188	445.719	64.629	0.00637
5.50	17.00	18.904	6.303	445.719	64.629	0.00649
5.60	17.00	18.904	6.418	445.719	64.629	0.00661
5.70	17.00	18.904	6.532	445.719	64.629	0.00673
5.80	17.25	19.182	6.647	452.273	65.580	0.00684
5.90	17.25	19.182	6.761	452.273	65.580	0.00696
6.00	17.25	19.182	6.876	452.273	65.580	0.00708
6.10	17.25	19.182	6.991	452.273	65.580	0.00720

6.20	17.50	19.460	7.105	458.828	66.530	0.00732
6.30	17.50	19.460	7.220	458.828	66.530	0.00743
6.40	17.75	19.738	7.334	465.383	67.480	0.00755
6.50	17.75	19.738	7.449	465.383	67.480	0.00767
6.60	17.75	19.738	7.564	465.383	67.480	0.00779
6.70	17.75	19.738	7.678	465.383	67.480	0.00791
6.80	17.75	19.738	7.793	465.383	67.480	0.00802
6.90	18.00	20.016	7.907	471.937	68.431	0.00814
7.00	18.00	20.016	8.022	471.937	68.431	0.00826
7.10	18.00	20.016	8.137	471.937	68.431	0.00838
7.20	18.00	20.016	8.251	471.937	68.431	0.00850
7.30	18.00	20.016	8.366	471.937	68.431	0.00861
7.40	18.00	20.016	8.480	471.937	68.431	0.00873
7.50	18.25	20.294	8.595	478.492	69.381	0.00885
7.60	18.25	20.294	8.710	478.492	69.381	0.00897
7.70	18.25	20.294	8.824	478.492	69.381	0.00909
7.80	18.25	20.294	8.939	478.492	69.381	0.00920
7.90	18.25	20.294	9.053	478.492	69.381	0.00932
8.00	18.25	20.294	9.168	478.492	69.381	0.00944
8.10	18.25	20.294	9.283	478.492	69.381	0.00956
8.20	18.50	20.572	9.397	485.047	70.332	0.00968
8.30	18.50	20.572	9.512	485.047	70.332	0.00979
8.40	18.50	20.572	9.626	485.047	70.332	0.00991
8.50	18.50	20.572	9.741	485.047	70.332	0.01003
8.60	18.50	20.572	9.856	485.047	70.332	0.01015
8.70	18.50	20.572	9.970	485.047	70.332	0.01026
	19.50	21.684	45.000	511.265	74.133	1.60808
	20.00	22.240	90.000	524.375	76.034	3.21617
	20.25	22.518	135.000	530.929	76.985	4.82425
	20.50	22.796	180.000	537.484	77.935	6.43234
	20.50	22.796	210.000	537.484	77.935	7.50439

1 /

1

ENSAYO DE TORSION ESTATICA ACERO AISI 1020 (P2)



ENSAYO DE TORSION ESTATICA.

PRUEBA No: 6

MATERIAL : Acero AISI 1020

RANGO : ELÁSTICO

Lo(Distancia entre marca 51.20 mm

Do(Diámetro de la probet 6.10 mm

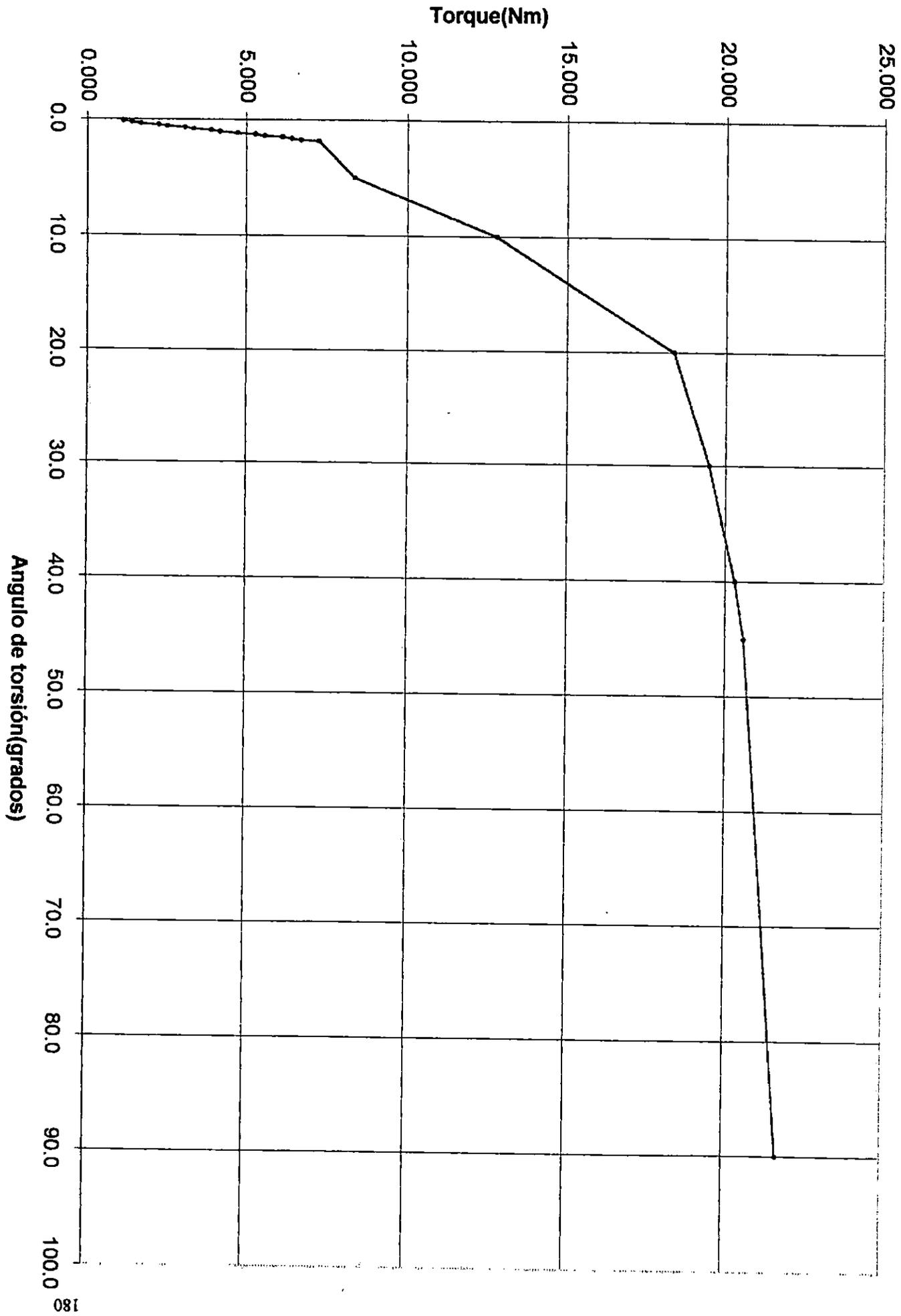
RANGO : PLASTICO

L(Distancia entre mordaz 87.00 mm

S (mm)	F (lb)	T (Nm)	Ø (Grado)	ζ (MPa)	ζ (Kpsi)	γ (rad)
0.10	1.00	1.112	0.115	26.219	3.802	0.00012
0.20	1.25	1.390	0.229	32.773	4.752	0.00024
0.30	1.50	1.668	0.344	39.328	5.703	0.00036
0.40	2.00	2.224	0.458	52.437	7.603	0.00048
0.50	2.25	2.502	0.573	58.992	8.554	0.00060
0.60	2.75	3.058	0.688	72.102	10.455	0.00071
0.70	3.00	3.336	0.802	78.656	11.405	0.00083
0.80	3.50	3.892	0.917	91.766	13.306	0.00095
0.90	3.75	4.170	1.031	98.320	14.256	0.00107
1.00	4.25	4.726	1.146	111.430	16.157	0.00119
1.10	4.75	5.282	1.261	124.539	18.058	0.00131
1.20	5.00	5.560	1.375	131.094	19.009	0.00143
1.30	5.50	6.116	1.490	144.203	20.909	0.00155
1.40	5.75	6.394	1.604	150.758	21.860	0.00167
1.50	6.00	6.672	1.719	157.312	22.810	0.00179
1.60	6.50	7.228	1.834	170.422	24.711	0.00191
	7.50	8.340	5.000	196.641	28.513	0.17529
	11.50	12.788	10.000	301.515	43.720	0.35057
	16.50	18.348	20.000	432.609	62.728	0.70115
	17.50	19.460	30.000	458.828	66.530	1.05172
	18.25	20.294	40.000	478.492	69.381	1.40230
	18.50	20.572	45.000	485.047	70.332	1.57759
	19.50	21.684	90.000	511.265	74.133	3.15517
	20.00	22.240	135.000	524.375	76.034	4.73276
	20.00	22.240	180.000	524.375	76.034	6.31034
	20.00	22.240	225.000	524.375	76.034	7.88793

20.00	22.240	270.000	524.375	76.034	9.46552
20.00	22.240	315.000	524.375	76.034	11.04310
20.00	22.240	360.000	524.375	76.034	12.62069
20.00	22.240	405.000	524.375	76.034	14.19828
20.00	22.240	450.000	524.375	76.034	15.77586
20.00	22.240	495.000	524.375	76.034	17.35345
20.00	22.240	540.000	524.375	76.034	18.93103
20.00	22.240	585.000	524.375	76.034	20.50862
20.00	22.240	630.000	524.375	76.034	22.08621
20.00	22.240	675.000	524.375	76.034	23.66379
20.00	22.240	720.000	524.375	76.034	25.24138
20.00	22.240	765.000	524.375	76.034	26.81897
20.00	22.240	810.000	524.375	76.034	28.39655
20.15	22.407	855.000	528.308	76.605	29.97414
20.15	22.407	900.000	528.308	76.605	31.55172
20.15	22.407	945.000	528.308	76.605	33.12931
20.15	22.407	990.000	528.308	76.605	34.70690
20.25	22.518	1035.000	530.929	76.985	36.28448
20.25	22.518	1080.000	530.929	76.985	37.86207
20.25	22.518	1125.000	530.929	76.985	39.43966
20.25	22.518	1170.000	530.929	76.985	41.01724
20.50	22.796	1215.000	537.484	77.935	42.59483
20.50	22.796	1260.000	537.484	77.935	44.17241
20.50	22.796	1305.000	537.484	77.935	45.75000
20.50	22.796	1350.000	537.484	77.935	47.32759
20.50	22.796	1395.000	537.484	77.935	48.90517
20.50	22.796	1440.000	537.484	77.935	50.48276
20.50	22.796	1485.000	537.484	77.935	52.06034
20.50	22.796	1530.000	537.484	77.935	53.63793
20.75	23.074	1575.000	544.039	78.886	55.21552
20.75	23.074	1620.000	544.039	78.886	56.79310
20.75	23.074	1665.000	544.039	78.886	58.37069
20.75	23.074	1710.000	544.039	78.886	59.94828
20.75	23.074	1755.000	544.039	78.886	61.52586
21.00	23.352	1800.000	550.593	79.836	63.10345

ENSAYO DE TORSION ESTATICA ACERO AISI 1020 (P6)



ENSAYO DE TORSION ESTATICA.

PRUEBA No: 7

MATERIAL : Acero AISI 1020

RANGO : ELÁSTICO

Lo(Distancia entre marcas): 51.60 mm

Do(Diámetro de la probeta): 6.00 mm

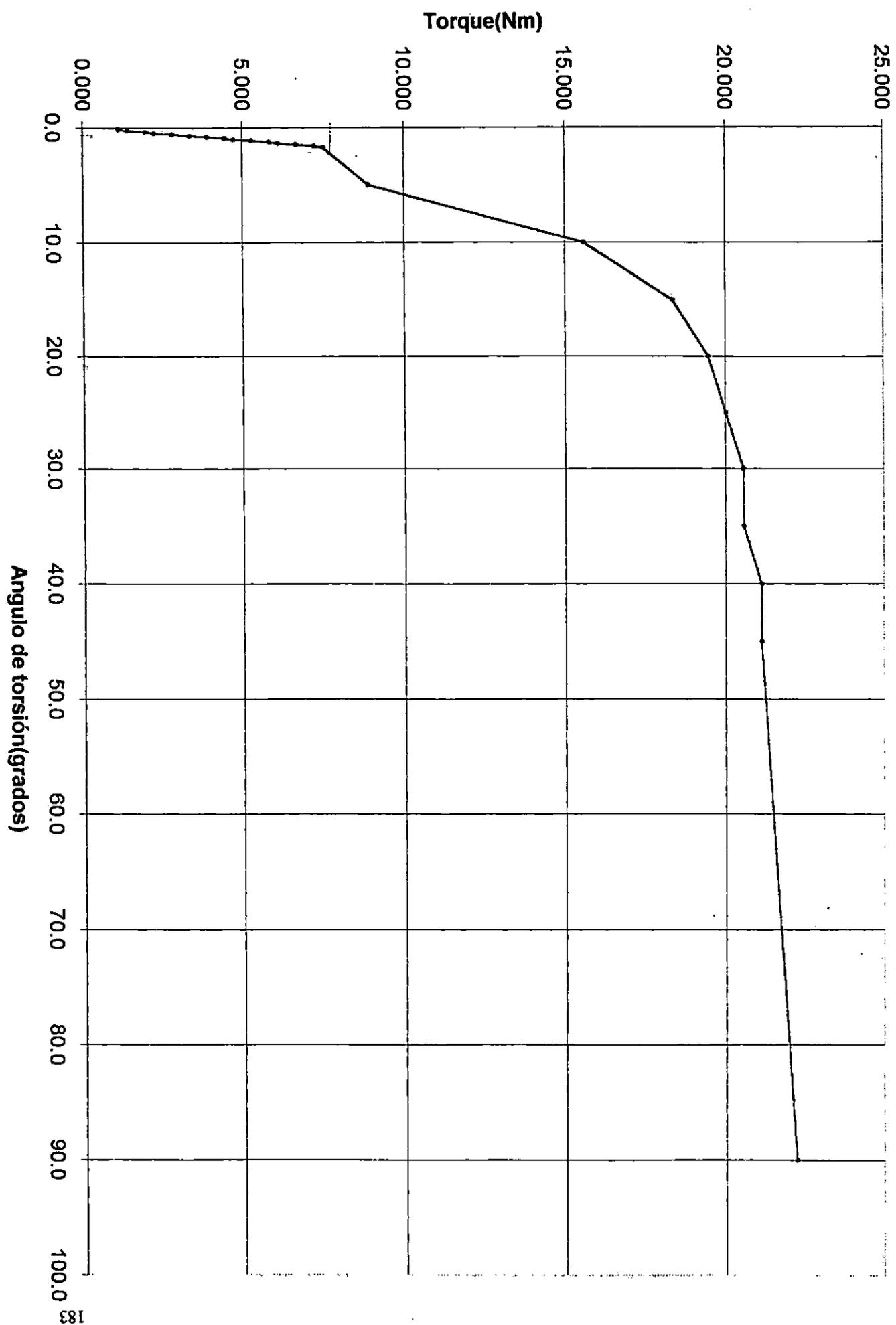
RANGO : PLASTICO

L(Distancia entre mordazas) 85.2 mm

S (mm)	F (lb)	T (Nm)	Ø (Grado)	ζ (MPa)	ζ (Kpsi)	γ (rad)
0.10	1.00	1.112	0.115	26.219	3.802	0.00012
0.20	1.25	1.390	0.229	32.773	4.752	0.00023
0.30	1.75	1.946	0.344	45.883	6.653	0.00035
0.40	2.00	2.224	0.458	52.437	7.603	0.00047
0.50	2.50	2.780	0.573	65.547	9.504	0.00058
0.60	3.00	3.336	0.688	78.656	11.405	0.00070
0.70	3.50	3.892	0.802	91.766	13.306	0.00081
0.80	4.00	4.448	0.917	104.875	15.207	0.00093
0.90	4.25	4.726	1.031	111.430	16.157	0.00105
1.00	4.75	5.282	1.146	124.539	18.058	0.00116
1.10	5.25	5.838	1.261	137.648	19.959	0.00128
1.20	5.50	6.116	1.375	144.203	20.909	0.00140
1.30	6.00	6.672	1.490	157.312	22.810	0.00151
1.40	6.50	7.228	1.604	170.422	24.711	0.00163
1.50	6.75	7.506	1.719	176.976	25.662	0.00174
	8.00	8.896	5.000	209.750	30.414	0.17606
	14.00	15.568	10.000	367.062	53.224	0.35211
	16.50	18.348	15.000	432.609	62.728	0.52817
	17.50	19.460	20.000	458.828	66.530	0.70423
	18.00	20.016	25.000	471.937	68.431	0.88028
	18.50	20.572	30.000	485.047	70.332	1.05634
	18.50	20.572	35.000	485.047	70.332	1.23239
	19.00	21.128	40.000	498.156	72.233	1.40845
	19.00	21.128	45.000	498.156	72.233	1.58451
	20.00	22.240	90.000	524.375	76.034	3.16901
	20.00	22.240	135.000	524.375	76.034	4.75352

20.25	22.518	180.000	530.929	76.985	6.33803
20.25	22.518	225.000	530.929	76.985	7.92254
20.50	22.796	270.000	537.484	77.935	9.50704
20.50	22.796	315.000	537.484	77.935	11.09155
20.50	22.796	360.000	537.484	77.935	12.67606
20.50	22.796	405.000	537.484	77.935	14.26056
20.50	22.796	450.000	537.484	77.935	15.84507
20.50	22.796	495.000	537.484	77.935	17.42958
20.50	22.796	540.000	537.484	77.935	19.01408
20.50	22.796	585.000	537.484	77.935	20.59859
20.50	22.796	630.000	537.484	77.935	22.18310
20.50	22.796	675.000	537.484	77.935	23.76761
20.50	22.796	720.000	537.484	77.935	25.35211
20.50	22.796	765.000	537.484	77.935	26.93662
20.50	22.796	810.000	537.484	77.935	28.52113
20.50	22.796	855.000	537.484	77.935	30.10563
20.60	22.907	900.000	540.106	78.315	31.69014
20.60	22.907	945.000	540.106	78.315	33.27465

ENSAYO DE TORSION ESTATICA ACERO AISI 1020 (P7)



ENSAYO DE TORSION ESTATICA.

PRUEBA No: 8

MATERIAL : Acero AISI 1020

RANGO : ELÁSTICO

Lo(Distancia entre marcas): 52.00 mm

Do(Diámetro de la probeta): 6.00 mm

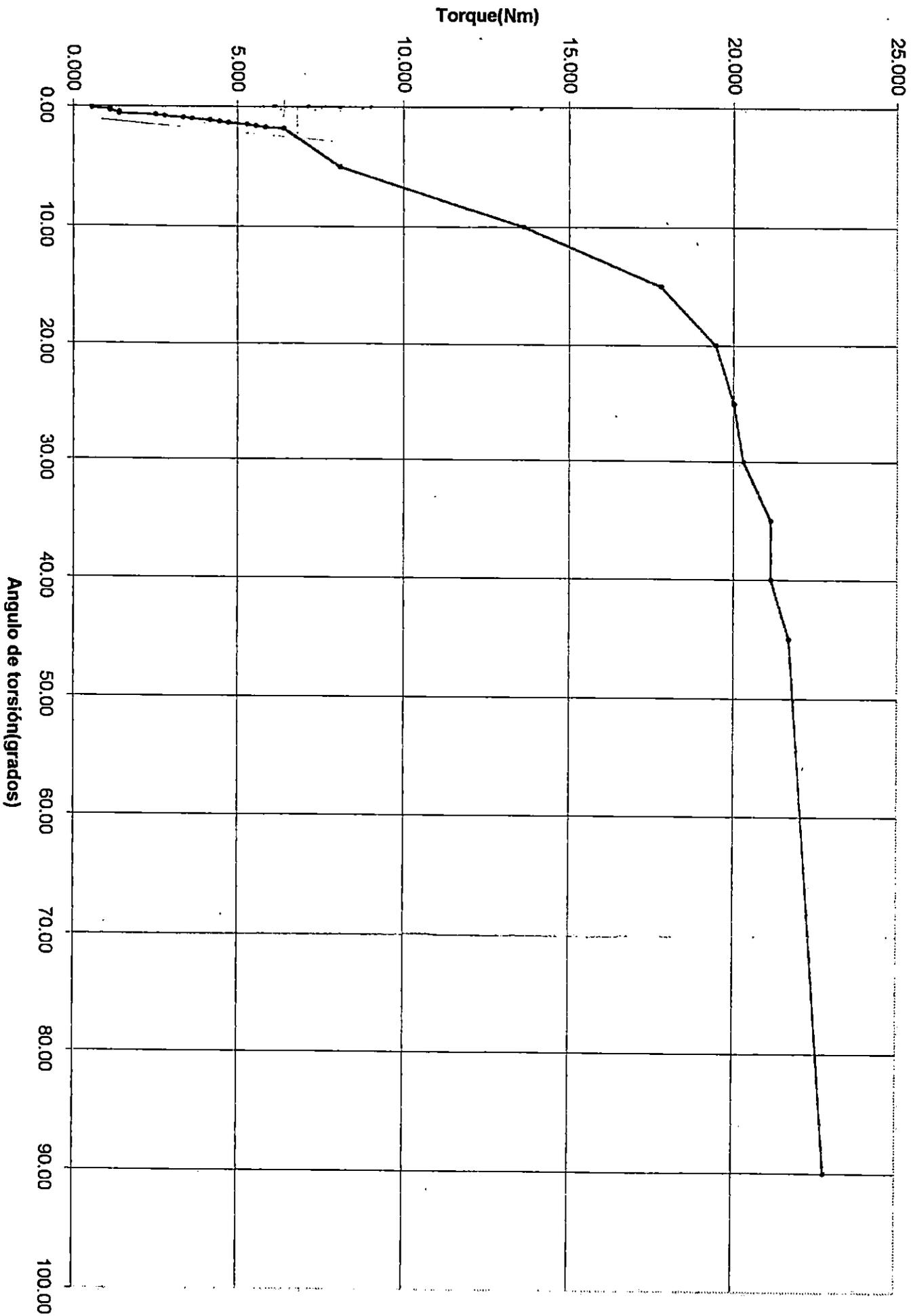
RANGO : PLASTICO

L(Distancia entre mordazas) 84.7 mm

S (mm)	F (lb)	T (Nm)	Ø (Grado)	ζ (MPa)	ζ (Kpsi)	γ (rad)
0.10	0.50	0.556	0.115	13.109	1.901	0.00012
0.20	1.00	1.112	0.229	26.219	3.802	0.00023
0.30	1.00	1.112	0.344	26.219	3.802	0.00035
0.40	1.25	1.390	0.458	32.773	4.752	0.00046
0.50	1.25	1.390	0.573	32.773	4.752	0.00058
0.60	2.25	2.502	0.688	58.992	8.554	0.00069
0.70	2.50	2.780	0.802	65.547	9.504	0.00081
0.80	3.00	3.336	0.917	78.656	11.405	0.00092
0.90	3.25	3.614	1.031	85.211	12.356	0.00104
1.00	3.75	4.170	1.146	98.320	14.256	0.00115
1.10	4.00	4.448	1.261	104.875	15.207	0.00127
1.20	4.25	4.726	1.375	111.430	16.157	0.00138
1.30	4.75	5.282	1.490	124.539	18.058	0.00150
1.40	5.00	5.560	1.604	131.094	19.009	0.00162
1.50	5.25	5.838	1.719	137.648	19.959	0.00173
1.60	5.75	6.394	1.834	150.758	21.860	0.00185
	7.25	8.062	5.000	190.086	27.562	0.17710
	12.25	13.622	10.000	321.180	46.571	0.35419
	16.00	17.792	15.000	419.500	60.827	0.53129
	17.50	19.460	20.000	458.828	66.530	0.70838
	18.00	20.016	25.000	471.937	68.431	0.88548
	18.25	20.294	30.000	478.492	69.381	1.06257
	19.00	21.128	35.000	498.156	72.233	1.23967
	19.00	21.128	40.000	498.156	72.233	1.41677
	19.50	21.684	45.000	511.265	74.133	1.59386
	20.50	22.796	90.000	537.484	77.935	3.18772

20.50	22.796	135.000	537.484	77.935	4.78158
20.50	22.796	180.000	537.484	77.935	6.37544
20.50	22.796	225.000	537.484	77.935	7.96930
20.50	22.796	270.000	537.484	77.935	9.56316
20.50	22.796	315.000	537.484	77.935	11.15702
20.50	22.796	360.000	537.484	77.935	12.75089
20.50	22.796	405.000	537.484	77.935	14.34475
20.50	22.796	450.000	537.484	77.935	15.93861
20.50	22.796	495.000	537.484	77.935	17.53247
20.50	22.796	540.000	537.484	77.935	19.12633
20.75	23.074	585.000	544.039	78.886	20.72019
20.75	23.074	630.000	544.039	78.886	22.31405
20.75	23.074	675.000	544.039	78.886	23.90791
20.75	23.074	720.000	544.039	78.886	25.50177
21.00	23.352	765.000	550.593	79.836	27.09563
21.00	23.352	810.000	550.593	79.836	28.68949
21.00	23.352	855.000	550.593	79.836	30.28335
21.00	23.352	900.000	550.593	79.836	31.87721
21.00	23.352	945.000	550.593	79.836	33.47107
21.00	23.352	990.000	550.593	79.836	35.06494
21.00	23.352	1035.000	550.593	79.836	36.65880
21.00	23.352	1080.000	550.593	79.836	38.25266
21.00	23.352	1110.000	550.593	79.836	39.31523

ENSAYO DE TORSION ESTATICA ACERO AISI 1020 (P8)



ENSAYO DE TORSION ESTATICA.

PRUEBA No: 3

MATERIAL : Acero AISI 1045

RANGO : ELÁSTICO

Lo(Distancia entre marcas) 51.60 mm

Do(Diámetro de la probeta) 6.00 mm

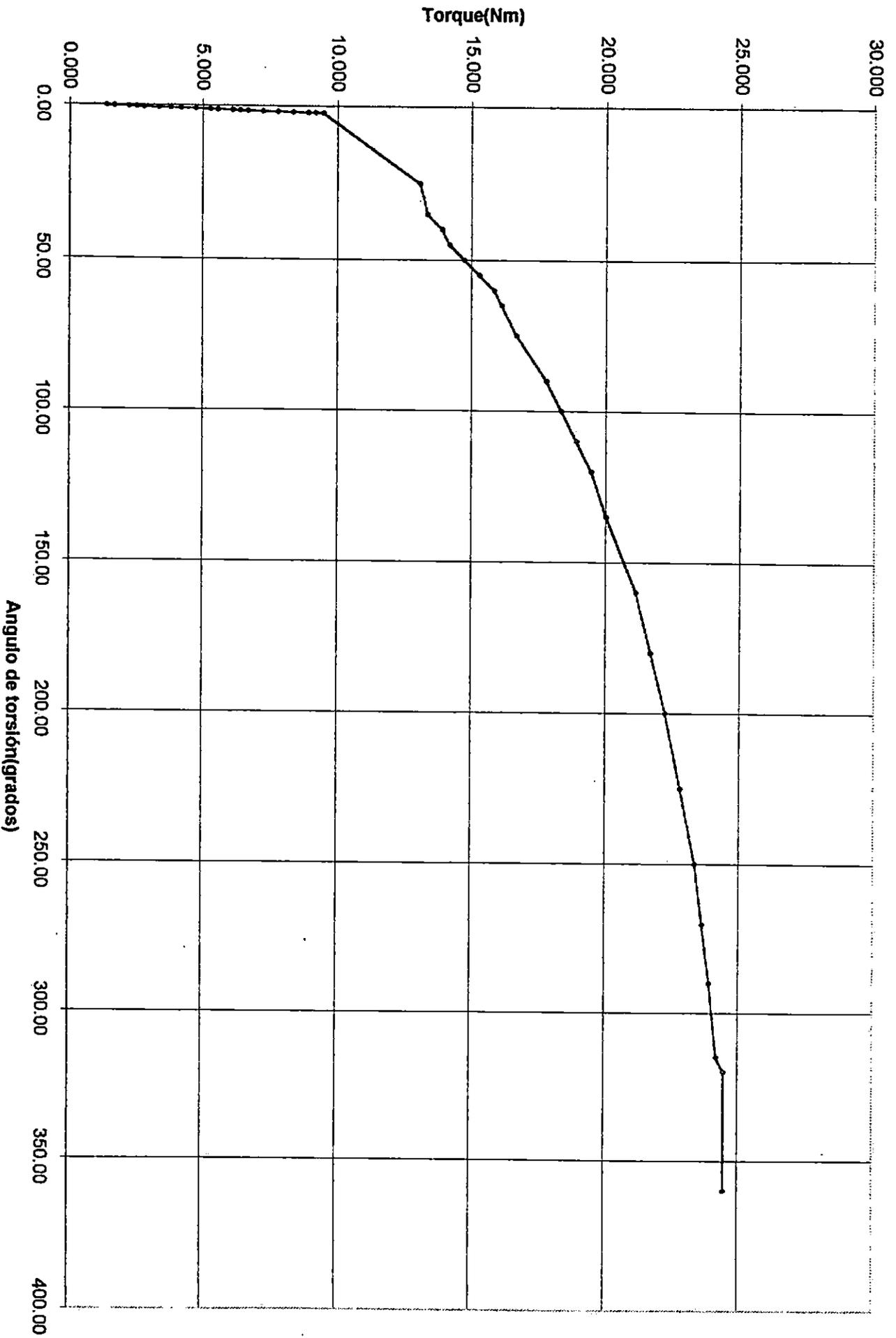
RANGO : PLASTICO

L(Distancia entre mordazas 85.35 mm

S (mm)	F (lb)	T (Nm)	Ø (Grado)	ζ (MPa)	ζ (Kpsi)	γ (rad)
0.10	1.25	1.390	0.115	32.773	4.752	0.00012
0.20	1.50	1.668	0.229	39.328	5.703	0.00023
0.30	2.00	2.224	0.344	52.437	7.603	0.00035
0.40	2.25	2.502	0.458	58.992	8.554	0.00047
0.50	2.50	2.780	0.573	65.547	9.504	0.00058
0.60	3.00	3.336	0.688	78.656	11.405	0.00070
0.70	3.40	3.781	0.802	89.144	12.926	0.00081
0.80	3.75	4.170	0.917	98.320	14.256	0.00093
0.90	4.25	4.726	1.031	111.430	16.157	0.00105
1.00	4.75	5.282	1.146	124.539	18.058	0.00116
1.10	5.00	5.560	1.261	131.094	19.009	0.00128
1.20	5.50	6.116	1.375	144.203	20.909	0.00140
1.30	5.75	6.394	1.490	150.758	21.860	0.00151
1.40	6.00	6.672	1.604	157.312	22.810	0.00163
1.50	6.50	7.228	1.719	170.422	24.711	0.00174
1.60	7.00	7.784	1.834	183.531	26.612	0.00186
1.70	7.50	8.340	1.948	196.641	28.513	0.00198
1.80	8.00	8.896	2.063	209.750	30.414	0.00209
1.90	8.25	9.174	2.177	216.305	31.364	0.00221
2.00	8.50	9.452	2.292	222.859	32.315	0.00233
	11.75	13.066	25.000	308.070	44.670	0.87873
	12.00	13.344	35.000	314.625	45.621	1.23023
	12.50	13.900	40.000	327.734	47.521	1.40598
	12.75	14.178	45.000	334.289	48.472	1.58172
	13.25	14.734	50.000	347.398	50.373	1.75747
	13.75	15.290	55.000	360.508	52.274	1.93322

14.25	15.846	60.000	373.617	54.174	2.10896
14.50	16.124	65.000	380.172	55.125	2.28471
15.00	16.680	75.000	393.281	57.026	2.63620
16.00	17.792	90.000	419.500	60.827	3.16344
16.50	18.348	100.000	432.609	62.728	3.51494
17.00	18.904	110.000	445.719	64.629	3.86643
17.50	19.460	120.000	458.828	66.530	4.21793
18.00	20.016	135.000	471.937	68.431	4.74517
19.00	21.128	160.000	498.156	72.233	5.62390
19.50	21.684	180.000	511.265	74.133	6.32689
20.00	22.240	200.000	524.375	76.034	7.02988
20.50	22.796	225.000	537.484	77.935	7.90861
21.00	23.352	250.000	550.593	79.836	8.78735
21.25	23.630	270.000	557.148	80.786	9.49033
21.50	23.908	290.000	563.703	81.737	10.19332
21.75	24.186	315.000	570.258	82.687	11.07206
22.00	24.464	320.000	576.812	83.638	11.24780
22.00	24.464	360.000	576.812	83.638	12.65378
22.25	24.742	390.000	583.367	84.588	13.70826
22.25	24.742	405.000	583.367	84.588	14.23550
22.50	25.020	430.000	589.922	85.539	15.11424
23.00	25.576	450.000	603.031	87.439	15.81722
23.00	25.576	495.000	603.031	87.439	17.39895
23.25	25.854	540.000	609.586	88.390	18.98067
23.50	26.132	585.000	616.140	89.340	20.56239
23.75	26.410	630.000	622.695	90.291	22.14411
24.00	26.688	675.000	629.250	91.241	23.72583
24.00	26.688	720.000	629.250	91.241	25.30756
24.25	26.966	765.000	635.804	92.192	26.88928
24.50	27.244	810.000	642.359	93.142	28.47100
24.50	27.244	855.000	642.359	93.142	30.05272
24.75	27.522	900.000	648.914	94.092	31.63445
24.75	27.522	945.000	648.914	94.092	33.21617
25.00	27.800	990.000	655.468	95.043	34.79789
25.00	27.800	1035.000	655.468	95.043	36.37961

ENSAYO DE TORSION ESTATICA ACERO AISI 1045 (P3)



ENSAYO DE TORSION ESTATICA.

PRUEBA No: 5

MATERIAL : Acero AISI 1045

RANGO : ELÁSTICO

Lo(Distancia entre marcas): 51.60 mm

Do(Diámetro de la probeta): 6.00 mm

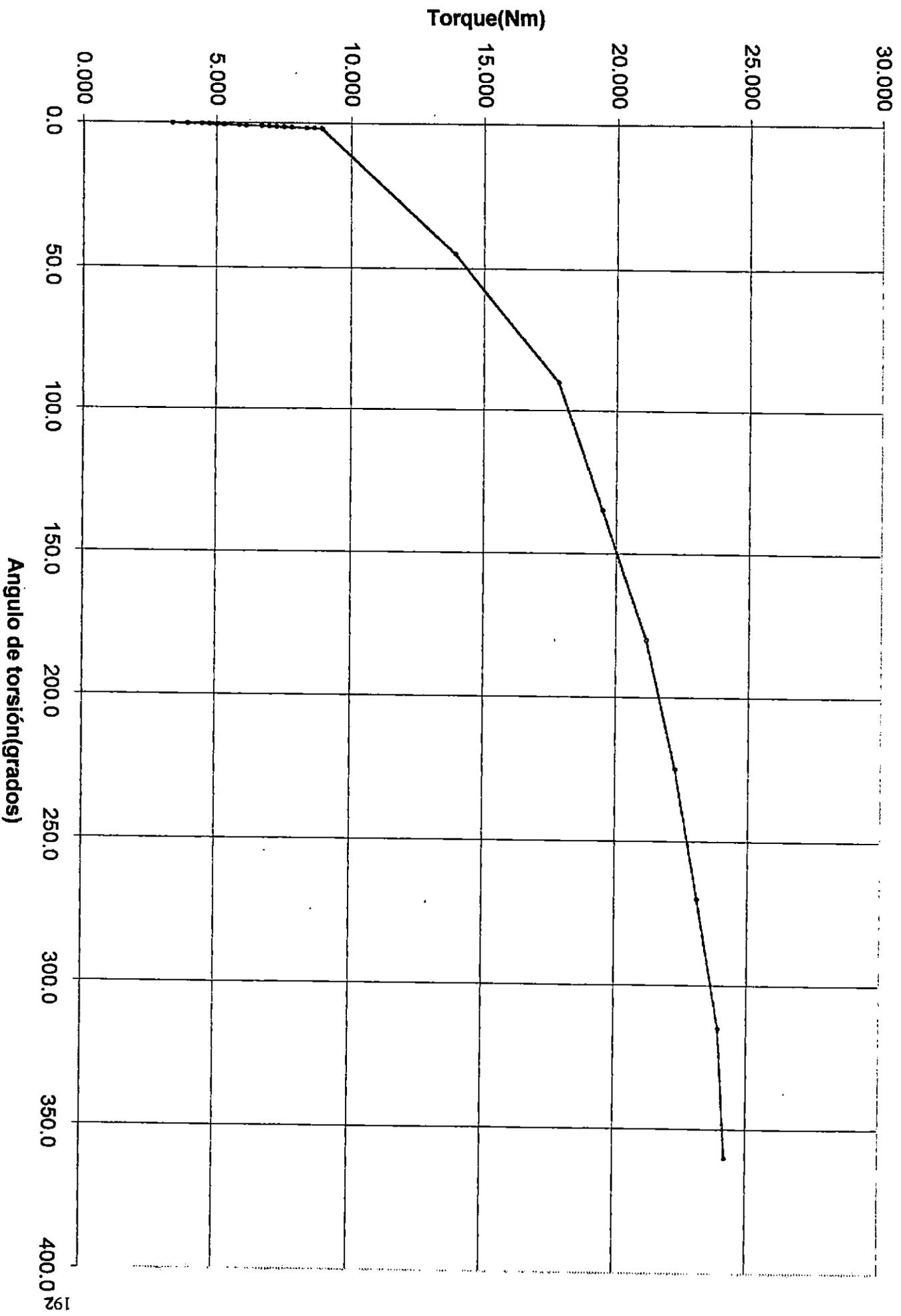
RANGO : PLASTICO

L(Distancia entre mordazas) 85.00 mm

S (mm)	F (lb)	T (Nm)	Ø (Grado)	ζ (MPa)	ζ (Kpsi)	γ (rad)
0.10	3.00	3.336	0.115	78.656	11.405	0.00012
0.20	3.50	3.892	0.229	91.766	13.306	0.00023
0.30	4.00	4.448	0.344	104.875	15.207	0.00035
0.40	4.25	4.726	0.458	111.430	16.157	0.00047
0.50	4.50	5.004	0.573	117.984	17.108	0.00058
0.60	4.75	5.282	0.688	124.539	18.058	0.00070
0.70	5.25	5.838	0.802	137.648	19.959	0.00081
0.80	5.50	6.116	0.917	144.203	20.909	0.00093
0.90	6.00	6.672	1.031	157.312	22.810	0.00105
1.00	6.25	6.950	1.146	163.867	23.761	0.00116
1.10	6.50	7.228	1.261	170.422	24.711	0.00128
1.20	6.75	7.506	1.375	176.976	25.662	0.00140
1.30	7.00	7.784	1.490	183.531	26.612	0.00151
1.40	7.50	8.340	1.604	196.641	28.513	0.00163
1.50	7.75	8.618	1.719	203.195	29.463	0.00174
1.60	8.00	8.896	1.834	209.750	30.414	0.00186
	12.50	13.900	45.000	327.734	47.521	1.58824
	16.00	17.792	90.000	419.500	60.827	3.17647
	17.50	19.460	135.000	458.828	66.530	4.76471
	19.00	21.128	180.000	498.156	72.233	6.35294
	20.00	22.240	225.000	524.375	76.034	7.94118
	20.75	23.074	270.000	544.039	78.886	9.52941
	21.50	23.908	315.000	563.703	81.737	11.11765
	21.75	24.186	360.000	570.258	82.687	12.70588
	22.00	24.464	405.000	576.812	83.638	14.29412
	22.50	25.020	450.000	589.922	85.539	15.88235

22.75	25.298	495.000	596.476	86.489	17.47059
23.00	25.576	540.000	603.031	87.439	19.05882
23.00	25.576	585.000	603.031	87.439	20.64706
23.25	25.854	630.000	609.586	88.390	22.23529
23.50	26.132	675.000	616.140	89.340	23.82353
23.75	26.410	720.000	622.695	90.291	25.41176
23.75	26.410	765.000	622.695	90.291	27.00000
24.00	26.688	810.000	629.250	91.241	28.58824
24.00	26.688	855.000	629.250	91.241	30.17647
24.25	26.966	900.000	635.804	92.192	31.76471
24.50	27.244	945.000	642.359	93.142	33.35294
24.50	27.244	990.000	642.359	93.142	34.94118
24.60	27.355	1035.000	644.981	93.522	36.52941
24.75	27.522	1080.000	648.914	94.092	38.11765
24.75	27.522	1125.000	648.914	94.092	39.70588
25.00	27.800	1170.000	655.468	95.043	41.29412
25.00	27.800	1215.000	655.468	95.043	42.88235
25.15	27.967	1260.000	659.401	95.613	44.47059
25.25	28.078	1305.000	662.023	95.993	46.05882
25.50	28.356	1350.000	668.578	96.944	47.64706
25.50	28.356	1395.000	668.578	96.944	49.23529
25.50	28.356	1440.000	668.578	96.944	50.82353
25.60	28.467	1485.000	671.200	97.324	52.41176
25.60	28.467	1530.000	671.200	97.324	54.00000
25.75	28.634	1575.000	675.132	97.894	55.58824
25.75	28.634	1595.000	675.132	97.894	56.29412

ENSAYO DE TORSION ESTATICA ACERO AISI 1045 (P5)



ENSAYO DE TORSION ESTATICA.

PRUEBA No: 9

MATERIAL : Acero AISI 1045

RANGO : ELÁSTICO

Lo(Distancia entre marcas): 51.80 mm

Do(Diámetro de la probeta): 6.00 mm

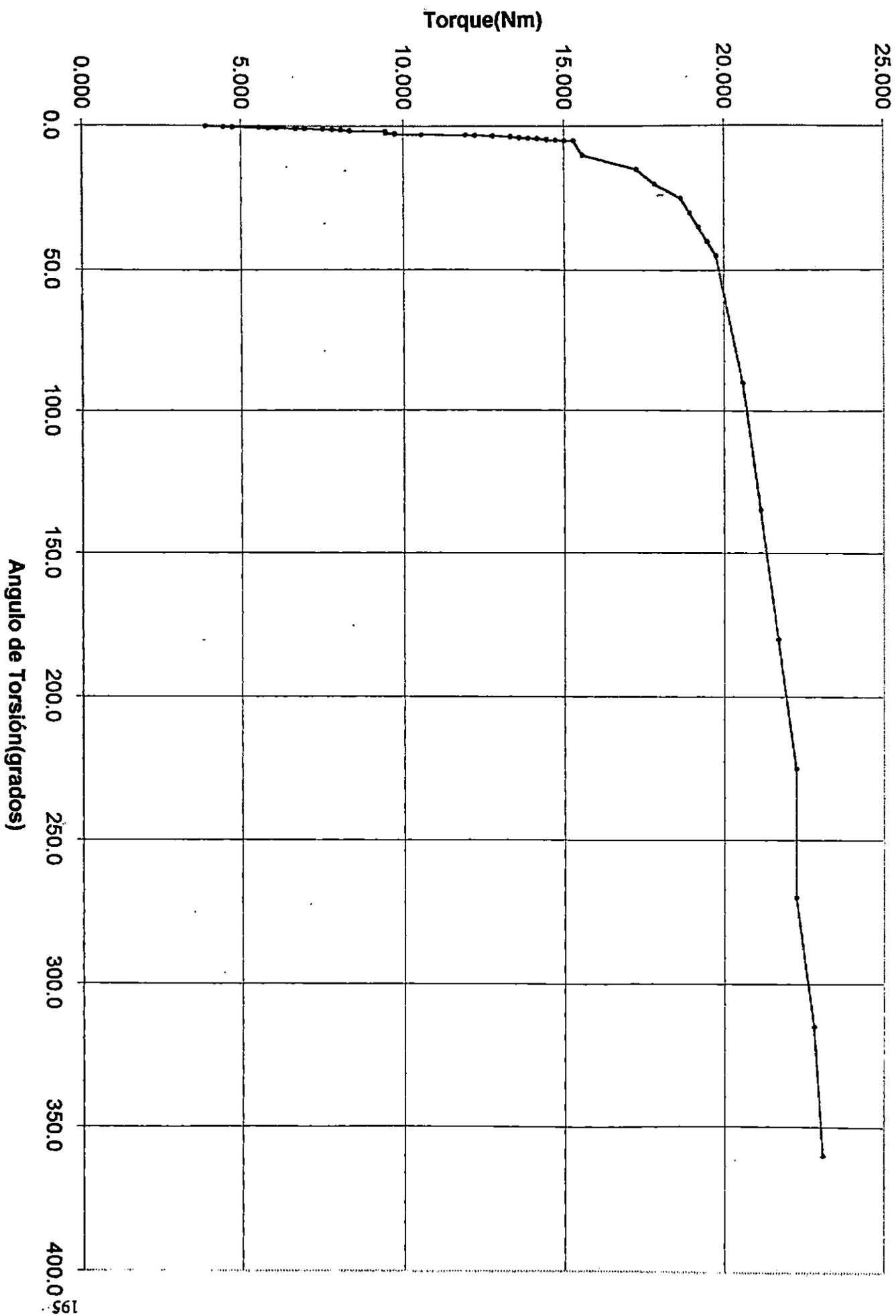
RANGO : PLASTICO

L(Distancia entre mordazas): 84.8 mm

S (mm)	F (lb)	T (Nm)	Ø (Grado)	ζ (MPa)	ζ (Kpsi)	γ (rad)
0.10	3.50	3.892	0.115	91.766	13.306	0.00012
0.20	4.00	4.448	0.229	104.875	15.207	0.00023
0.30	4.25	4.726	0.344	111.430	16.157	0.00035
0.40	5.00	5.560	0.458	131.094	19.009	0.00046
0.50	5.25	5.838	0.573	137.648	19.959	0.00058
0.60	5.50	6.116	0.688	144.203	20.909	0.00069
0.70	6.00	6.672	0.802	157.312	22.810	0.00081
0.80	6.25	6.950	0.917	163.867	23.761	0.00093
0.90	6.75	7.506	1.031	176.976	25.662	0.00104
1.00	7.00	7.784	1.146	183.531	26.612	0.00116
1.10	7.25	8.062	1.261	190.086	27.562	0.00127
1.20	7.25	8.062	1.375	190.086	27.562	0.00139
1.30	7.50	8.340	1.490	196.641	28.513	0.00151
1.40	7.50	8.340	1.604	196.641	28.513	0.00162
1.50	8.50	9.452	1.719	222.859	32.315	0.00174
1.60	8.50	9.452	1.834	222.859	32.315	0.00185
1.70	8.50	9.452	1.948	222.859	32.315	0.00197
1.80	8.50	9.452	2.063	222.859	32.315	0.00208
1.90	8.50	9.452	2.177	222.859	32.315	0.00220
2.00	8.50	9.452	2.292	222.859	32.315	0.00232
2.10	8.50	9.452	2.407	222.859	32.315	0.00243
2.20	8.75	9.730	2.521	229.414	33.265	0.00255
2.30	8.75	9.730	2.636	229.414	33.265	0.00266
2.40	8.75	9.730	2.750	229.414	33.265	0.00278
2.50	9.50	10.564	2.865	249.078	36.116	0.00290
2.60	10.75	11.954	2.980	281.851	40.868	0.00301

2.70	11.00	12.232	3.094	288.406	41.819	0.00313
2.80	11.50	12.788	3.209	301.515	43.720	0.00324
2.90	11.50	12.788	3.323	301.515	43.720	0.00336
3.00	11.50	12.788	3.438	301.515	43.720	0.00347
3.10	12.00	13.344	3.553	314.625	45.621	0.00359
3.20	12.00	13.344	3.667	314.625	45.621	0.00371
3.30	12.00	13.344	3.782	314.625	45.621	0.00382
3.40	12.25	13.622	3.896	321.180	46.571	0.00394
3.50	12.25	13.622	4.011	321.180	46.571	0.00405
3.60	12.50	13.900	4.126	327.734	47.521	0.00417
3.70	12.75	14.178	4.240	334.289	48.472	0.00429
3.80	12.75	14.178	4.355	334.289	48.472	0.00440
3.90	13.00	14.456	4.469	340.844	49.422	0.00452
4.00	13.00	14.456	4.584	340.844	49.422	0.00463
4.10	13.00	14.456	4.699	340.844	49.422	0.00475
4.20	13.00	14.456	4.813	340.844	49.422	0.00486
4.30	13.25	14.734	4.928	347.398	50.373	0.00498
4.40	13.50	15.012	5.042	353.953	51.323	0.00510
	13.75	15.290	5.000	360.508	52.274	0.17689
	14.00	15.568	10.000	367.062	53.224	0.35377
	15.50	17.236	15.000	406.390	58.927	0.53066
	16.00	17.792	20.000	419.500	60.827	0.70755
	16.75	18.626	25.000	439.164	63.679	0.88443
	17.00	18.904	30.000	445.719	64.629	1.06132
	17.25	19.182	35.000	452.273	65.580	1.23821
	17.50	19.460	40.000	458.828	66.530	1.41509
	17.75	19.738	45.000	465.383	67.480	1.59198
	18.50	20.572	90.000	485.047	70.332	3.18396
	19.00	21.128	135.000	498.156	72.233	4.77594
	19.50	21.684	180.000	511.265	74.133	6.36792
	20.00	22.240	225.000	524.375	76.034	7.95991
	20.00	22.240	270.000	524.375	76.034	9.55189
	20.50	22.796	315.000	537.484	77.935	11.14387
	20.75	23.074	360.000	544.039	78.886	12.73585
	21.00	23.352	405.000	550.593	79.836	14.32783

ENSAYO DE TORSION ESTATICA ACERO AISI 1045 (P9).



5.7.- Recomendaciones.-

Para determinar el módulo de ruptura (S_{su}), y el máximo número de vueltas (N_v) que puede soportar el material hasta la ruptura en el rango plástico, deberá aplicársele un torque constante a una velocidad angular constante.

Si el objetivo de la prueba es determinar el módulo de rigidez (G), y resistencia de fluencia (S_{sy}); en el rango elástico deberán tomarse datos hasta los 1.6 mm. de longitud de arco (S).

Para determinar las propiedades a la torsión de un material, se recomienda realizar al menos 10 pruebas, con probetas con características similares de maquinado.

Las probetas que fallan en el radio de acuerdo y las que forman una hélice no uniforme, son aquellas que han sido mal maquinadas o el material posee defectos internos de fabricación. Para liberar los esfuerzos residuales del maquinado se recomienda dar tratamiento térmico de recocido a cada una de las probetas.

Para fines de investigación de las propiedades mecánicas a la torsión de un material metálico cualquiera, se recomiendan que los primeros cortes circunferenciales sean de 0.5 mm de profundidad de tal forma que los últimos cortes sean de 0.0508 mm de profundidad, los avances y velocidades pueden ser bajas o medias, siempre y cuando se aplique líquido refrigerante a la zona de corte.

5.8.- Conclusiones.-

Las probetas que fallan en el radio de acuerdo, es debido a que no están bien maquinadas.

La falla puede provocarla la concentración de esfuerzos por reducción de diámetro en el radio de acuerdo o la acumulación de esfuerzos residuales por procesos de maquinado (grandes profundidades de corte)..

Las probetas que en el rango plástico forman una hélice no uniforme, es porque están mal maquinadas o por defectos del material, además poseen esfuerzos residuales concentrados en diferentes secciones de la probeta.

La geometría de la hélice formada en el rango plástico describe la distribución uniforme o no uniforme de las deformaciones en la probeta.

El módulo de rigidez determinado para los aceros ensayados: AISI 1020 y AISI 1045 constituyen un valor bastante aceptable ya que solo presenta variaciones de decrementos de 1% e incrementos de 4.25% con respecto al valor teórico que es de 12 Kpsi.

Los resultados obtenidos muestran que el criterio de Von Mises ($S_{sy} = 0.577 S_y$) es el que mejor predice la falla por torsión en materiales dúctiles.

El criterio de Tresca o Teoría del Esfuerzo Cortante Máximo ($S_{sy} = 0.5 S_y$) predice valores de resistencia de fluencia de corte más bajos que los valores obtenidos experimentalmente; por lo que puede decirse que la predicción de falla de corte por torsión de materiales dúctiles según el criterio de Tresca no es muy acertado (ver, Anexo A-4).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- 1.- DISEÑO DE MAQUINAS Teoría y Practica.
Autor: Aarón D. Deutschman.
Editorial: CECSA.

- 2.- DISEÑO DE INGENIERÍA MECÁNICA.
Autor: Joseph E. Shigley.
Edición: Quinta.
Editorial: Mc Graw-Hill.

- 3.- DISEÑO DE ELEMENTOS DE MAQUINAS.
Autor: Robert L. Mott.
Edición: Segunda.
Editorial: Prentice Hall Hispanoamericana, S.A.

- 4.- MONTAJE, AJUSTE Y VERIFICACIÓN DE ELEMENTOS
DE MAQUINAS.
Autor: Joseph Schrock
Editorial: Reverté.

- 5.- MATERIALES Y PROCESOS DE MANUFACTURA
PARA INGENIEROS.
Autor: Lawrence E. Doyle.
Edición: Tercera.
Editorial: Prentice Hall Hispanoamericana, S.A

- 6.- ENSAYE E INSPECCION DE LOS MATERIALES DE INGENIERIA
Autor: Harmer E. Davis.
Editorial: Compañía Editorial Continental, S.A.
- 7.- INTRODUCCIÓN A LA METALURGIA FISICA
Segunda Edición.
Autor: Syney H. Avner.
Editorial Mc- Graw Hill
- 8.- ENSAYOS MECÁNICOS DE LOS MATERIALES METALICOS
Primera Edición.
Autor: Ing. Domenico Lucchesi.
Editorial Labor S.A.
- 9.- ELEMENTOS DE TEORIA DE PLASTICIDAD, PRINCIPIOS FUNDAMENTALES
Autores: Alfredo R. Saenz López. y A. O. Lucaioli.
Buenos Aires, 1983.
- 10.- RESISTENCIA DE MATERIALES
Autor: E. J. Hearn.
Editorial Interamericana.
- 11.- MECANICA DE MATERIALES.
Autor: Beer y Johnston
Editorial: Mc Graw-Hill.



12.- PRUEBAS MECANICAS Y PROPIEDADES DE LOS METALES

Autor: V. Zolotorevski

Editorial: Mir Moscú.

13.- Direcciones en Internet.

www.tiniusolsen.com/used.html

www.tecquip.co.uk

ANEXOS

TABLA A-1.

Ángulos de presión y tamaños de dientes recomendados para engranajes

ÁNGULO DE AVANCE λ , grados	ÁNGULO DE PRESIÓN ϕ_n , grados	ADENDO a	DEDENDO b_G
0-15	14½	0.3683 p_x	0.3683 p_x
15-30	20	0.3683 p_x	0.3683 p_x
30-35	25	0.2865 p_x	0.3314 p_x
35-40	25	0.2546 p_x	0.2947 p_x
40-45	30	0.2228 p_x	0.2578 p_x

TABLA A-2. PROPIEDADES MECANICAS DEL HIERRO Y DEL ACERO*

Material	Resistencia a la tensión, kips/plg ²		Resistencia a la cedencia por compresión† kips/plg ²	Resistencia al corte por torsión, kips/plg ²		Módulo de elasticidad, 10 ⁶ lb/plg ²		Porcentaje de elongación en 2 plg	Número de dureza de Brinell	Módulo de tenacidad lb-plg/plg ²	Límite de duración, flexión invertida, kips/plg ²
	Resis. a la cedencia†	Última		Resis. a la cedencia†	Última	Tensión	Corte				
Fundición gris	...	20	35	...	37	15	6	1	130	80	11
Fundición blanca	...	60	100	...	60	20	8	...	400		
Fundición al níquel, 1.5% de níquel	...	45	60	...	...	20	8	1	200		
Hierro maleable	33	50	33	19	48	25	10	14	120	.....	26
Hierro en lingotes, recocido, 0.02% de carbono	24	42	21	15	30	30	12	45	70	.....	26
Hierro forjado, 0.10% de carbono.	30	50	30	18	35	27	10	30	100	14 000	25
Acero, 0.20% de carbono:											
Rolado en caliente	40	60	40	24	45	30	12	35	120	16 500	31
Rolado en frío	60	80	60	36	60	30	12	15	160	12 000	40
Fundiciones recocidas	35	60	35	21	45	30	12	25	130		
Acero, 0.40% de carbono:											
Rolado en caliente	42	70	42	25	55	30	12	25	135		
Tratamiento térmico para grano fino	60	90	60	36	75	30	12	25	190		
Fundiciones recocidas	35	65	35	21	55	30	12	15	130		
Acero, 0.60% de carbono:											
Rolado en caliente	63	100	63	37	80	30	12	15	200	12 300	50
Con tratamiento térmico para grano fino	78	120	78	47	100	30	12	15	235	15 000	55
Acero, 0.80% de carbono:											
Rolado en caliente	73	120	73	44	105	30	12	10	210		
Apagado en aceite, no laminado	125	180	125	75	150	30	12	2	360		
Acero 1.00% de carbono:											
Rolado en caliente	83	135	83	50	115	30	12	10	260	11 000	60
Apagado en aceite, no laminado	140	220	140	84	185	30	12	1	430	2 000	100
Acero al níquel, 3.5% de níquel, 0.40% de carbono, máxima dureza para maquinabilidad	150	170	150	90	140	30	12	12	350	14 000	76
Acero al silicomanganeso, 1.95% de silicio, 0.70% de Mn, templado para resortes	130	174	130	78	115	30	12	1	380	21 000	

Nota: La mayoría de los aceros dependen tanto del tratamiento térmico como de su composición para desarrollar propiedades mecánicas particulares.

* Basado en F. B. Seely, *Resistance of Materials* (Resistencia de Materiales), Wiley, New York, 1947; and *Metals Handbook* (Manual de Metales), 1948, American Society for Metals (Soc. Norteamericana para los Materiales), Cleveland, Ohio, 1948.

† A 0.2% de desviación.

TABLA : A-3

Esfuerzos admisibles para utilizarse en el análisis de ruedas de engranes

MATERIAL	CONDICIÓN O GRADO	RESISTENCIA MÍNIMA A LA TENSIÓN kpsi (MPa)	DUREZA BRINELL Bhn	ESFUERZOS ADMISIBLES	
				POR FLEXIÓN σ_B , kpsi (MPa)	DE CONTACTO σ_C , kpsi (MPa)
Bronce al fósforo	Fundido en molde de arena	12 (83)	70	7.00 (48.2)	1.50 (10.3)
	Fundido en molde en frío	15 (103)	82	8.50 (58.6)	1.80 (12.4)
BS 1400 PB2	Fundido en molde centrifugo	17 (117)	90	10.0 (68.9)	2.20 (15.2)
Hierro fundido BS 821	Grado ordinario	12 (83)	150	6.00 (41.3)	1.00 (6.89)
	Grado medio	16 (110)	165	7.50 (51.7)	1.00 (6.89)
	Grado alto	22 (152)	180	10.0 (68.9)	1.00 (6.89)

*El piñón (gusano o sinfín) debe ser de acero más duro que el material de la rueda (engrane).

Fuente: M. J. Neale, *Tribology Handbook*, Butterworth, Londres, 1973, sec. A-24.

TABLA : A-4

Características y propiedades mecánicas a la tensión de algunos aceros rolados en caliente (HR) y estirados en frío (CD).

[Las resistencias indicadas son valores mínimos ASTM estimados en el intervalo de tamaños de 18 a 32 mm (¾ a 1¼ in). Tales resistencias son adecuadas para el uso con el factor de diseño definido en la sección 1-9, siempre que los materiales cumplan los requisitos ASTM A6 o A568, o sean requeridos en las especificaciones de compra. Conviene recordar que una designación numérica no es una especificación. Véanse en la tabla 1-1 las propiedades de algunos aceros ASTM.

1	2	3	4	5	6	7	8
UNS NÚM.	SAE Y/O AISI NO.	PROCESAMIENTO	RESISTENCIA ÚLTIMA, MPa (kpsi)	RESISTENCIA DE FLUENCIA, MPa (kpsi)	ELONGACIÓN EN 2 in, %	REDUCCIÓN EN ÁREA %	DUREZA BRINELL
G10060	1006	HR	300 (43)	170 (24)	30	55	86
		CD	330 (48)	280 (41)	20	45	95
G10100	1010	HR	320 (47)	180 (26)	28	50	95
		CD	370 (53)	300 (44)	20	40	105
G10150	1015	HR	340 (50)	190 (27.5)	28	50	101
		CD	390 (56)	320 (47)	18	40	111
G10180	1018	HR	400 (58)	220 (32)	25	50	116
		CD	440 (64)	370 (54)	15	40	126
G10200	1020	HR	380 (55)	210 (30)	25	50	111
		CD	470 (68)	390 (57)	15	40	131
G10300	1030	HR	470 (68)	260 (37.5)	20	42	137
		CD	520 (76)	440 (64)	12	35	149
G10350	1035	HR	500 (72)	270 (39.5)	18	40	143
		CD	550 (80)	460 (67)	12	35	163
G10400	1040	HR	520 (76)	290 (42)	18	40	149
		CD	590 (85)	490 (71)	12	35	170
G10450	1045	HR	570 (82)	310 (45)	16	40	163
		CD	630 (91)	530 (77)	12	35	179
G10500	1050	HR	620 (90)	340 (49.5)	15	35	179
		CD	690 (100)	580 (84)	10	30	197
G10600	1060	HR	680 (98)	370 (54)	12	30	201
G10800	1080	HR	770 (112)	420 (61.5)	10	25	229
G10950	1095	HR	830 (120)	460 (66)	10	25	248

Fuente: 1986 SAE Handbook, p. 2.15.

TABLA:A-5 Propiedades Mecánicas del Acero AISI 1045.

BOEHLER H. ACERO ESPECIAL

ACEROS FINOS AL CARBONO DE ALTA CALIDAD

TIPO DE ALEACION %: C 0.45 Si 0.25 Mn 0.5

NORMAS:

AISI: C 1045

DIN: CK 45(ST 70)

USOS:

Acero fino templable en agua o en aceite, puede ser usado en la fabricación de partes de maquinaria sometidas a esfuerzos medios tales como: ejes, pernos, tuercas, pines guías, pines de sujeción, cuñas, arboles de transmisión, herramientas manuales, placas sufrideras, holders para moldes, etc.

CARACTERISTICAS MECANICAS:

Resistencia a la tracción en estado natural 60/70 kg/mm²

Dureza Brinell en estado natural: 174-207 HB

Dureza máxima en estado templado:

en aceite 40RC

en agua 58RC

TRATAMIENTO TERMICO:

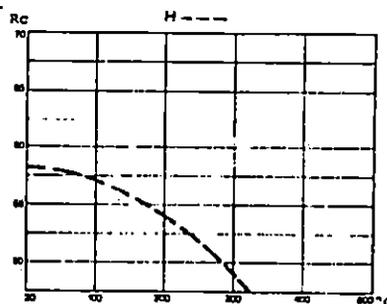
Forjar: 1100-850°C

Normalizar: 820-870°C

Recocer 660-700°C

Templar: en aceite 820-850°C

" : en agua 810-840°C



Radi S. A.
C. de V.
Representaciones Diversas, S. A. de C. V.

TABLA A-6
Constantes elásticas y físicas de materiales

MATERIAL	MÓDULO DE ELASTICIDAD E		MÓDULO DE RIGIDEZ G		RELACIÓN DE POISSON ν	PESO UNITARIO w		
	Mpsi	GPa	Mpsi	GPa		lb/in ³	lb/ft ³	kN/m ³
Aluminio (todas las aleaciones)	10.3	71.0	3.80	26.2	0.334	0.098	169	26.6
Cobre al berilio	18.0	124.0	7.0	48.3	0.285	0.297	513	80.6
Latón	15.4	106.0	5.82	40.1	0.324	0.309	534	83.8
Acero común	30.0	207.0	11.5	79.3	0.292	0.282	487	76.5
Hierro colado (gris)	14.5	100.0	6.0	41.4	0.211	0.260	450	70.6
Cobre	17.2	119.0	6.49	44.7	0.326	0.322	556	87.3
Madera (abeto Douglas)	1.6	11.0	0.6	4.1	0.33	0.016	28	4.3
Vidrio	6.7	46.2	2.7	18.6	0.245	0.094	162	25.4
Inconel	31.0	214.0	11.0	75.8	0.290	0.307	530	83.3
Plomo	5.3	36.5	1.9	13.1	0.425	0.411	710	111.5
Magnesio	6.5	44.8	2.4	16.5	0.350	0.065	112	17.6
Molibdeno	48.0	331.0	17.0	117.0	0.307	0.368	636	100.0
Monel	26.0	179.0	9.5	65.5	0.320	0.319	551	86.6
Níquel plata	18.5	127.0	7.0	48.3	0.322	0.316	546	85.8
Acero al níquel	30.0	207.0	11.5	79.3	0.291	0.280	484	76.0
Bronce fosforado	16.1	111.0	6.0	41.4	0.349	0.295	510	80.1
Acero inoxidable	27.6	190.0	10.6	73.1	0.305	0.280	484	76.0

TABLA A-7

Propiedades mecánicas de hierro colado gris.

[El sistema de designación numérica de la American Society for Testing and Materials (ASTM) es tal que los números corresponden a la *resistencia mínima a la tensión* expresada en kpsi. Por lo tanto, un hierro colado Núm. 20 ASTM tiene una resistencia mínima a la tensión de 20 kpsi. Obsérvese en particular que los valores tabulados son *típicos*]

NÚMERO ASTM	RESISTENCIA A LA TENSIÓN S_u , kpsi	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN S_{uc} , kpsi	MÓDULO DE CORTE A LA RUPTURA S_{su} , kpsi	MÓDULO DE ELASTICIDAD, Mpsi		LÍMITE DE RESISTENCIA S_e , kpsi	DUREZA BRINELL H_B	FACTOR DE CONCENTRACIÓN DE ESFUERZO A LA FATIGA K_f
				TENSIÓN	TORSIÓN			
20	22	83	26	9.6-14	3.9-5.6	10	156	1.00
25	26	97	32	11.5-14.8	4.6-6.0	11.5	174	1.05
30	31	109	40	13-16.4	5.2-6.6	14	201	1.10
35	36.5	124	48.5	14.5-17.2	5.8-6.9	16	212	1.15
40	42.5	140	57	16-20	6.4-7.8	18.5	235	1.25
50	52.5	164	73	18.8-22.8	7.2-8.0	21.5	262	1.35
60	62.5	187.5	88.5	20.4-23.5	7.8-8.5	24.5	302	1.50

*Probetas pulidas o maquinadas.

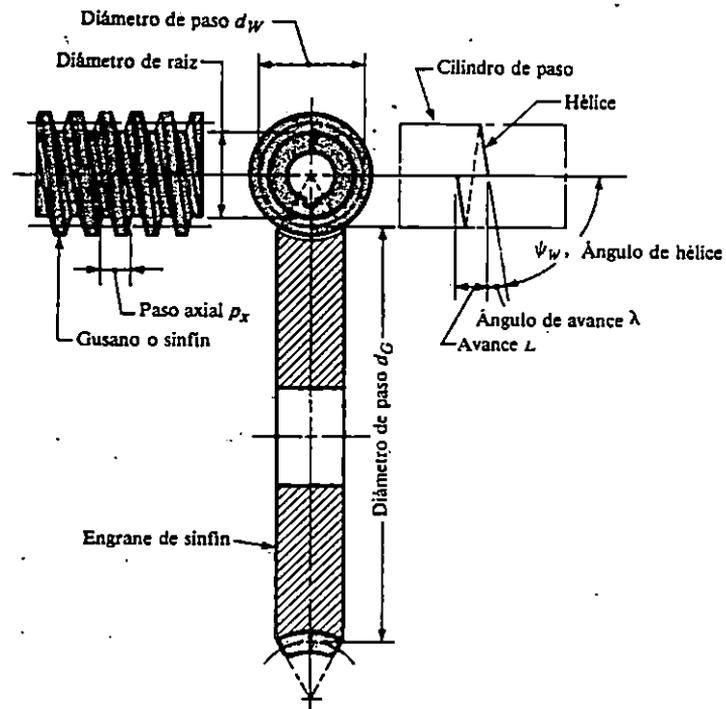


FIGURA : B - 1
Nomenclatura de un engranaje de tornillo sinfin de evolvente simple.

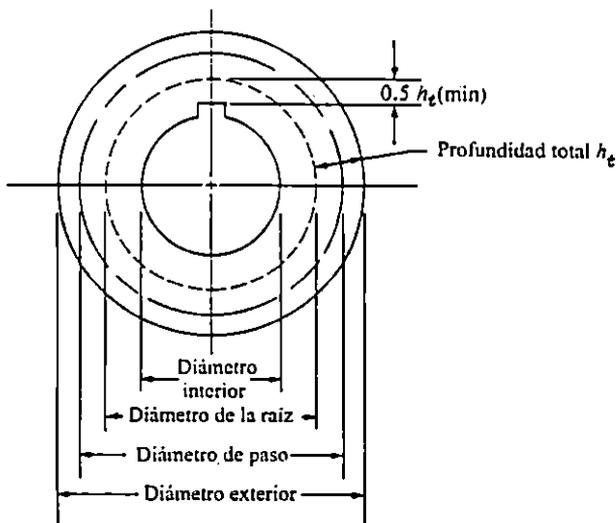


Figura: B-2 . Gusano de casco o cilindro

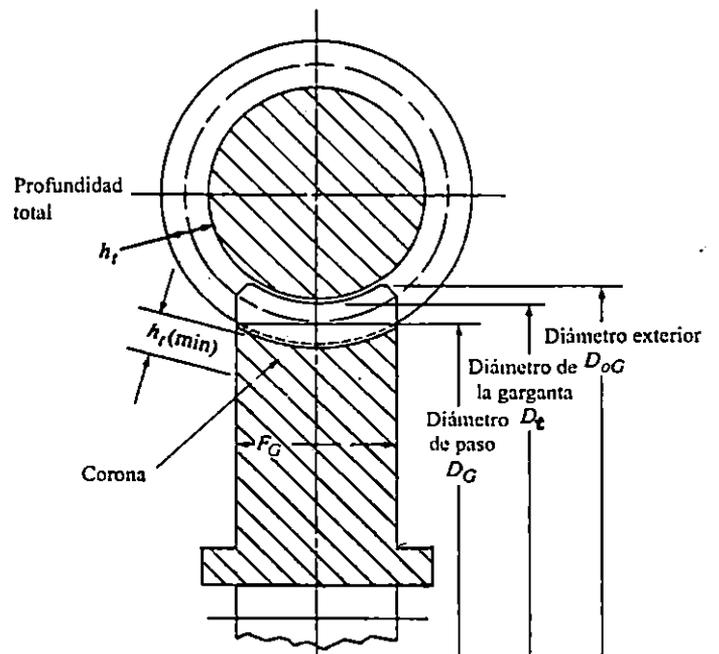


Figura : B - 3 . Detalles de mecanismo de tornillo sinfin

Diagramas de factores de concentración de esfuerzo teórico K_t (Cont.)

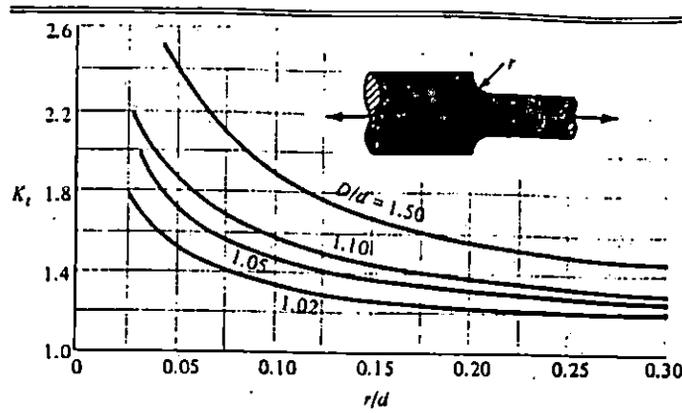


FIGURA: B-4

Barra circular con entalle circunferencial sometida a tensión. $\sigma_0 = F/A$, donde $A = \pi d^2/4$.

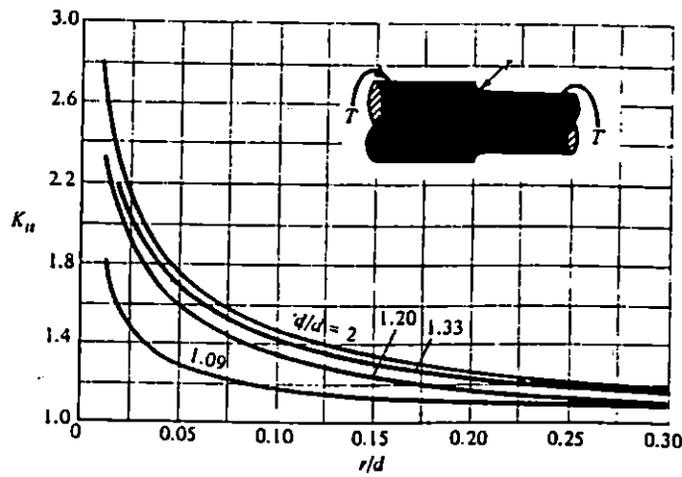


FIGURA: B-5

Barra circular con entalle circunferencial sometida a torsión. $\tau_0 = Tc/J$, donde $c = d/2$ y $J = \pi d^4/32$.

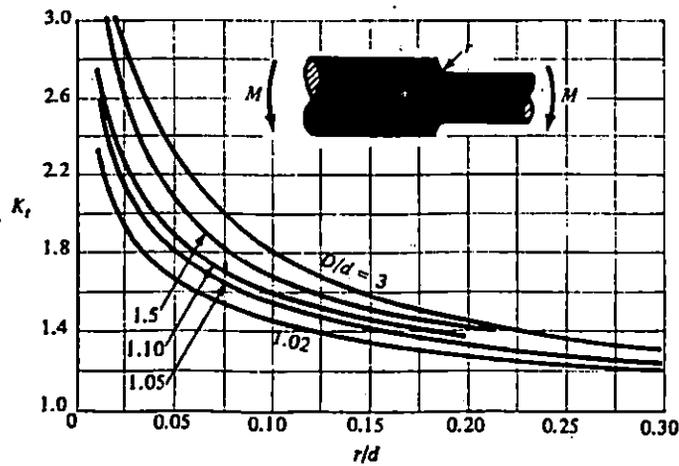


FIGURA: B-6

Barra circular con entalle circunferencial sometida a flexión. $\sigma_0 = Mc/I$, donde $c = d/2$ e $I = \pi d^4/64$.

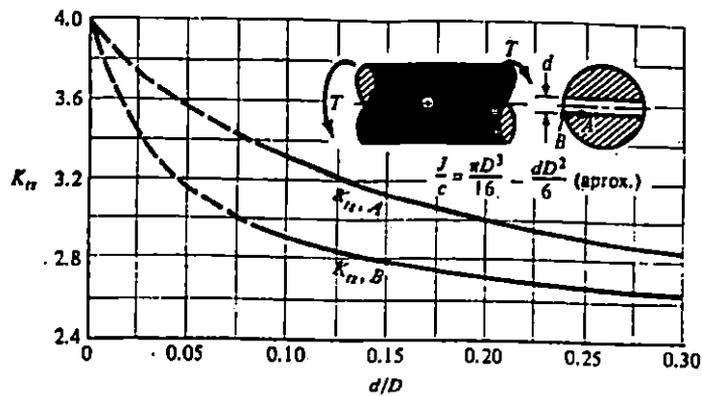


FIGURA B-7
Barra circular con agujero transversal sometida a torsión.

FIGURA B-8
Propiedades geométricas

PARTE 1 PROPIEDADES DE SECCIONES

A = área

G = centroide

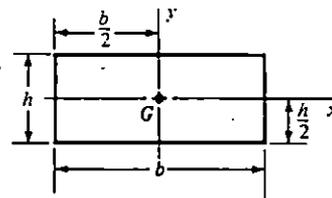
$I_x = \int x^2 dA$ = segundo momento de área respecto al eje x

$I_{xy} = \int xy dA$ = momento producto de área respecto a los ejes x y y

$J_G = \int r^2 dA = \int (x^2 + y^2) dA = I_x + I_y$ = segundo momento polar de área respecto a eje que pase por G

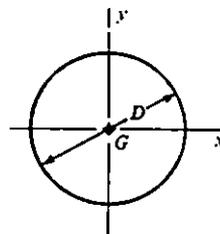
$k_x^2 = I_x/A$ = Cuadrado del radio de giro respecto al eje x

Rectángulo



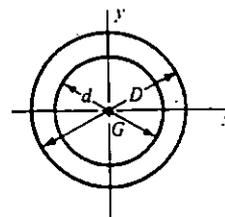
$$A = bh \quad I_x = \frac{bh^3}{12} \quad I_y = \frac{b^3h}{12} \quad I_{xy} = 0$$

Círculo

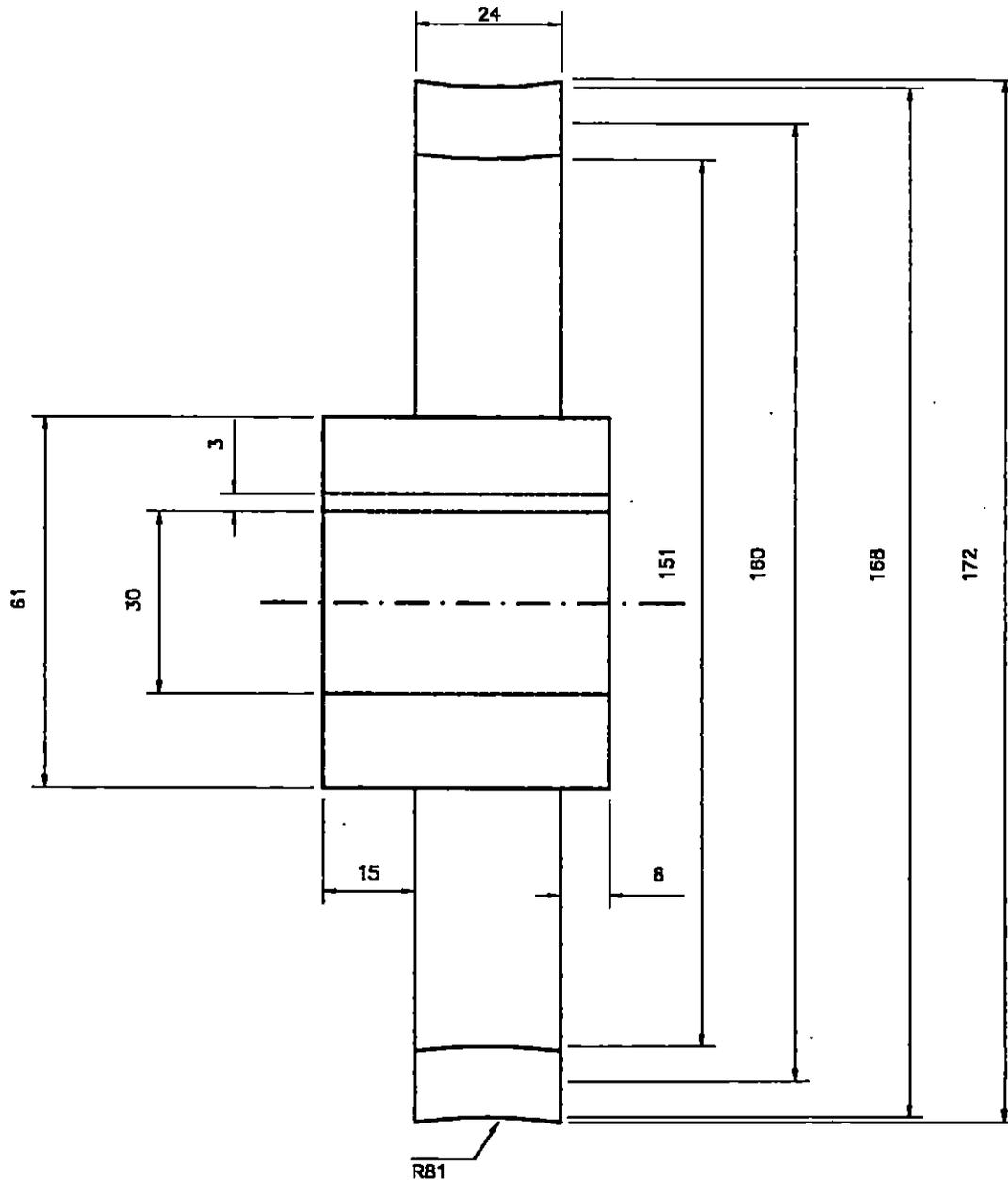


$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad I_x = I_y = \frac{\pi D^4}{64} \quad I_{xy} = 0$$

Corona circular

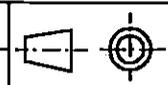


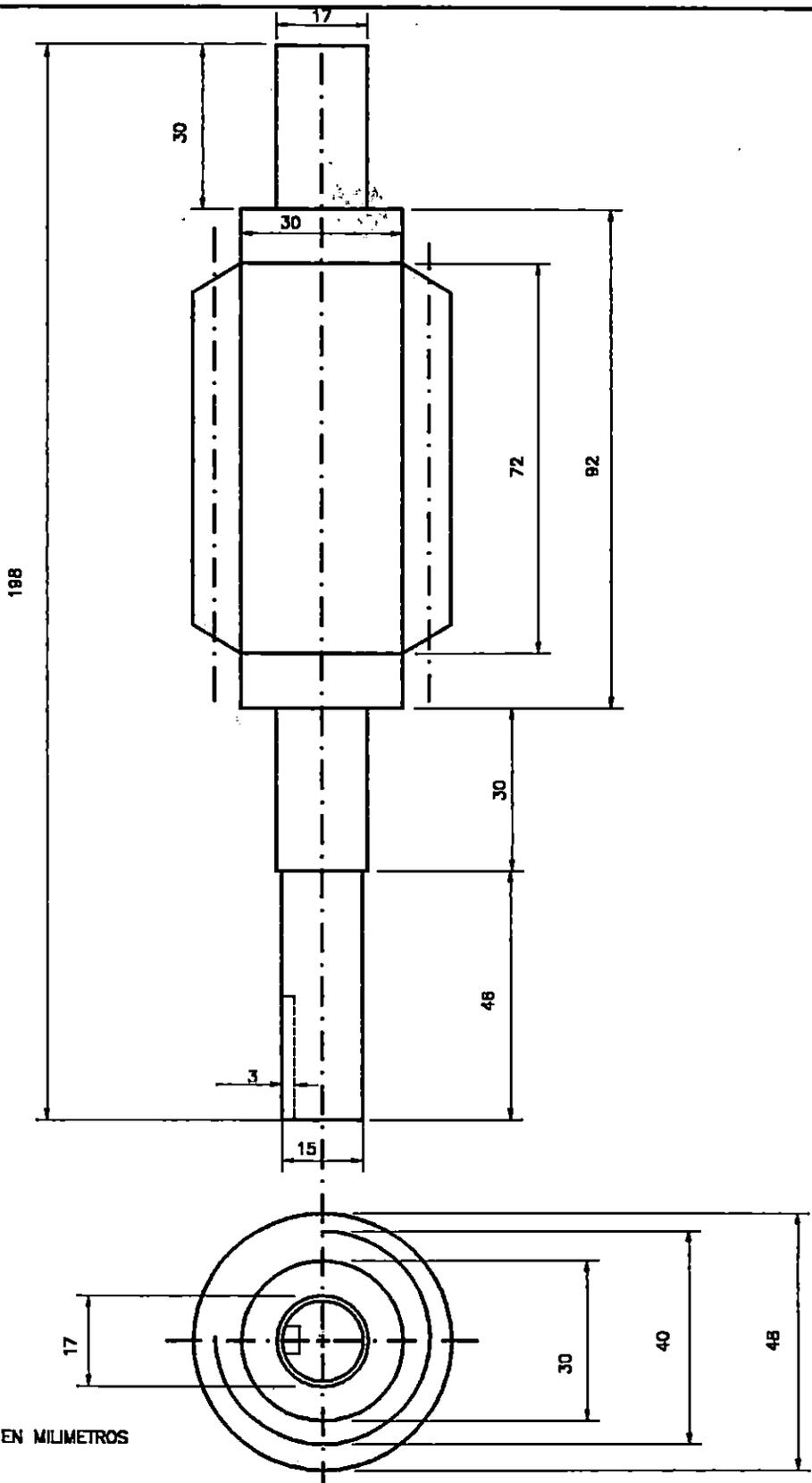
$$A = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \quad I_x = I_y = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4) \quad I_{xy} = 0$$



NOTA:
COTAS EN MILIMETROS

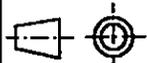
1	ENGRANE	BRONCE FOSFORICO	180 ϕ X 55
No. DE PIEZA	DENOMINACION	MATERIAL	MEDIDAS EN BRUTO
	FECHA	NOMBRES	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
DIBUJADO	24-09-2000	ELMER PINEDA NELSON RIVAS	
COMPROBADO			
ESCALA: 1:1.25	DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MAQUINA PARA PRUEBAS DE TORSION ESTATICA		LAMINA No. 1 TRABAJO DE GRADUACION

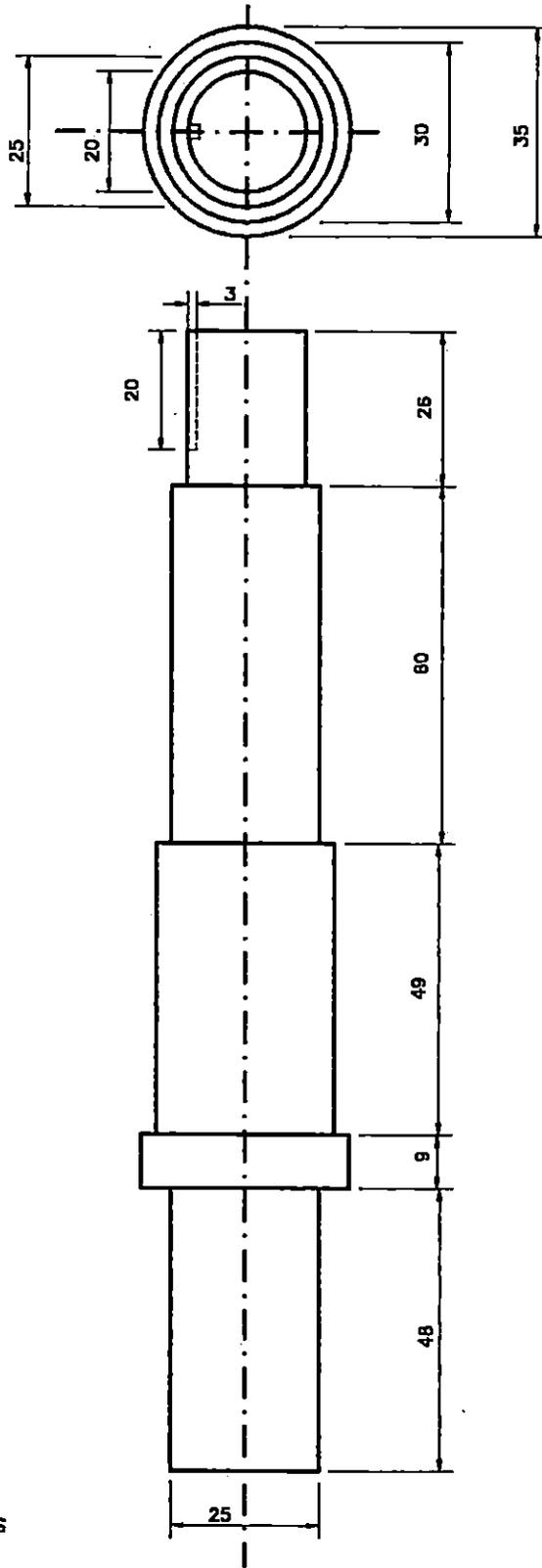




NOTA:
COTAS EN MILIMETROS

1	TORNILLO SIN FIN	ACERO AISI 1045	52 # X 205
No. DE PIEZA	DENOMINACION	MATERIAL	MEDIDAS EN BRUTO
	FECHA	NOMBRES	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
DIBUJADO	24-09-2000	ELMER PINEDA NELSON RMAS	
COMPROBADO			
ESCALA: 1:125	DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MAQUINA PARA PRUEBAS DE TORSION ESTATICA		LAMINA No. 2 TRABAJO DE GRADUACION

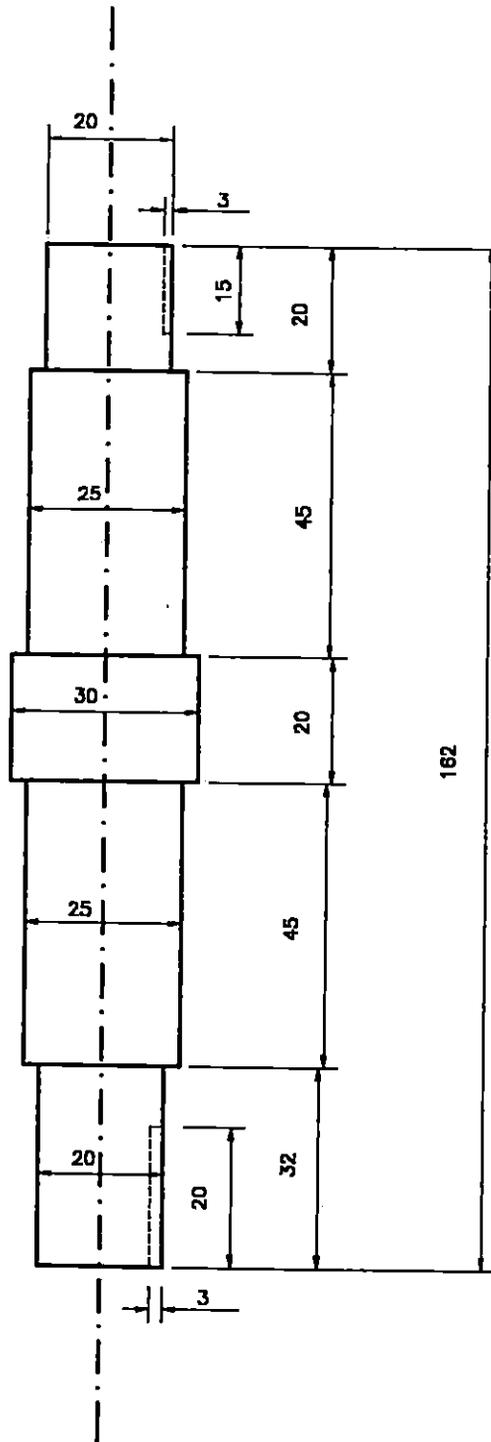




NOTA:
COTAS EN MILIMETROS

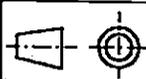
1	EJE DE ENGRANE	ACERO AISI 1045	40 # X 200
No. DE PIEZA	DENOMINACION	MATERIAL	MEDIDAS EN BRUTO
	FECHA	NOMBRES	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
DIBUJADO	24-09-2000	ELMER PINEDA NELSON RIVAS	
COMPROBADO			
ESCALA: 1:1.25	DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MAQUINA PARA PRUEBAS DE TORSION ESTATICA		LAMINA No. 3 TRABAJO DE GRADUACION

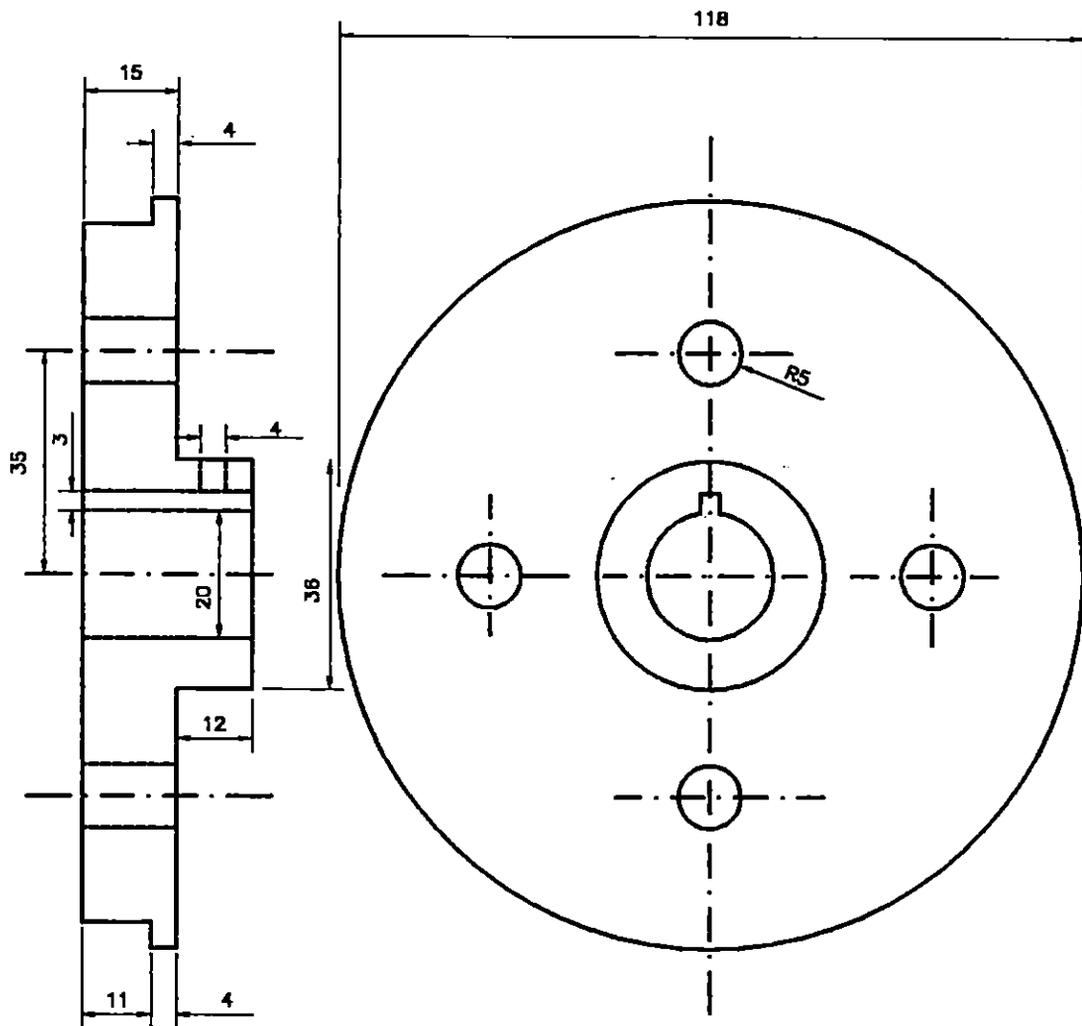




NOTA:
COTAS EN MILIMETROS

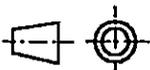
1	EJES DE SOPORTE FIJO	ACERO AISI 1045	35 # X 170
No. DE PIEZA	DENOMINACION	MATERIAL	MEDIDAS EN BRUTO
	FECHA	NOMBRES	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
DIBUJADO	24-08-2000	ELMER PINEDA NELSON RIVAS	
COMPROBADO			
ESCALA: 1:125	DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MAQUINA PARA PRUEBAS DE TORSION ESTATICA		LAMINA No. 4 TRABAJO DE GRADUACION

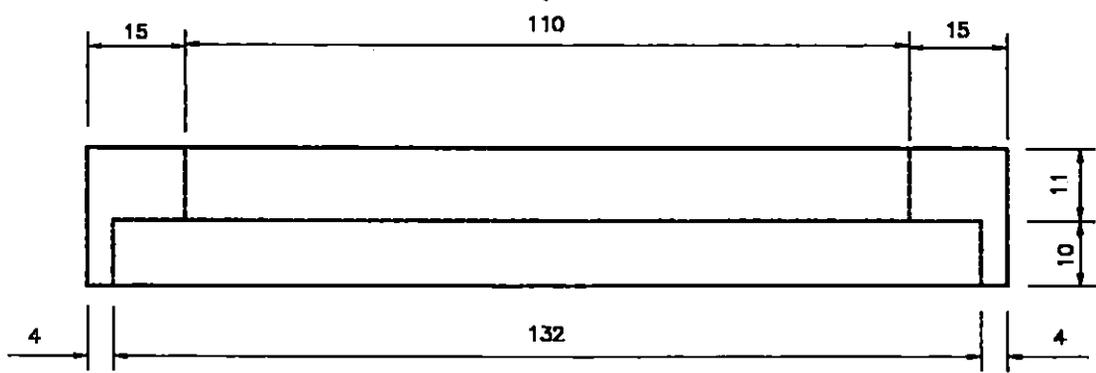
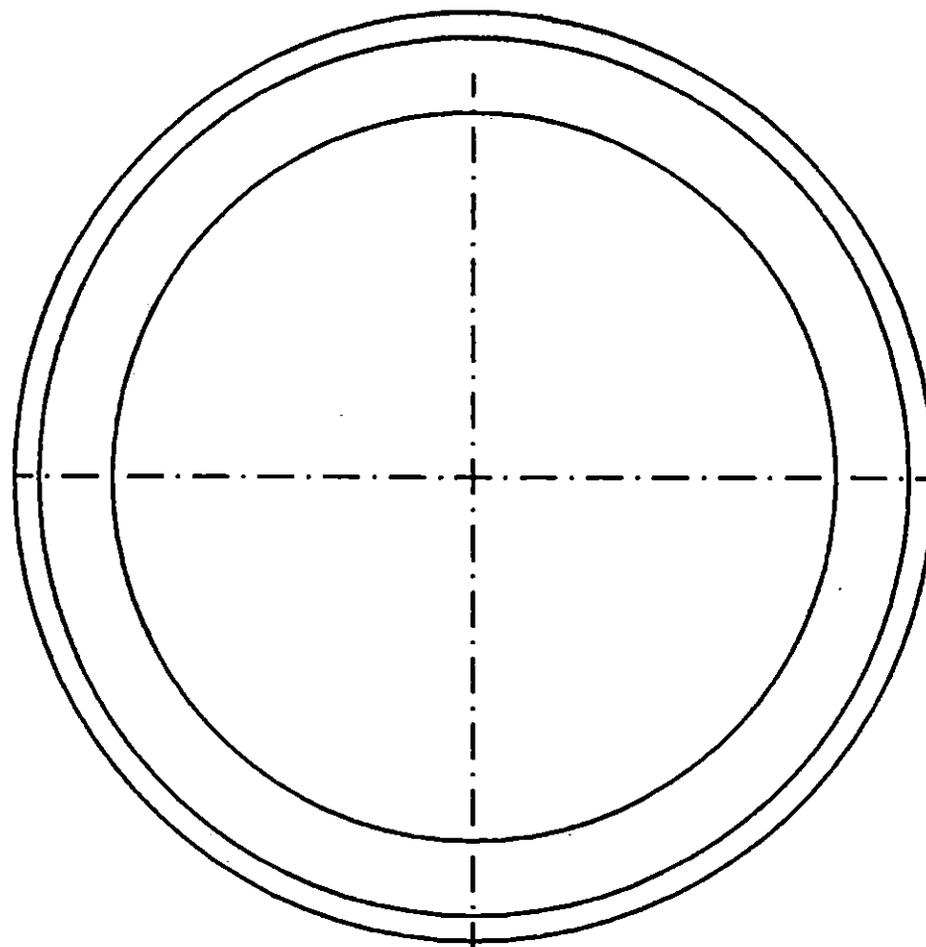




NOTA:
COTAS EN MILIMETROS

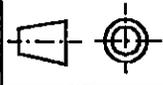
2	PORTA MORDAZA	ACERO AISI 1045	127 # X 40
No. DE PIEZA	DENOMINACION	MATERIAL	MEDIDAS EN BRUTO
	FECHA	NOMBRES	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
DIBUJADO	24-09-2000	ELMER PINEDA NELSON RMAS	
COMPROBADO			
ESCALA: 1:1.25	DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MAQUINA PARA PRUEBAS DE TORSION ESTATICA		LAMINA No. 5 A TRABAJO DE GRADUACION

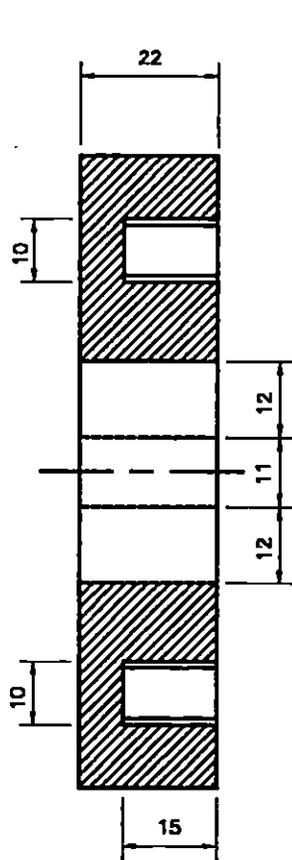




NOTA:
COTAS EN MILIMETROS

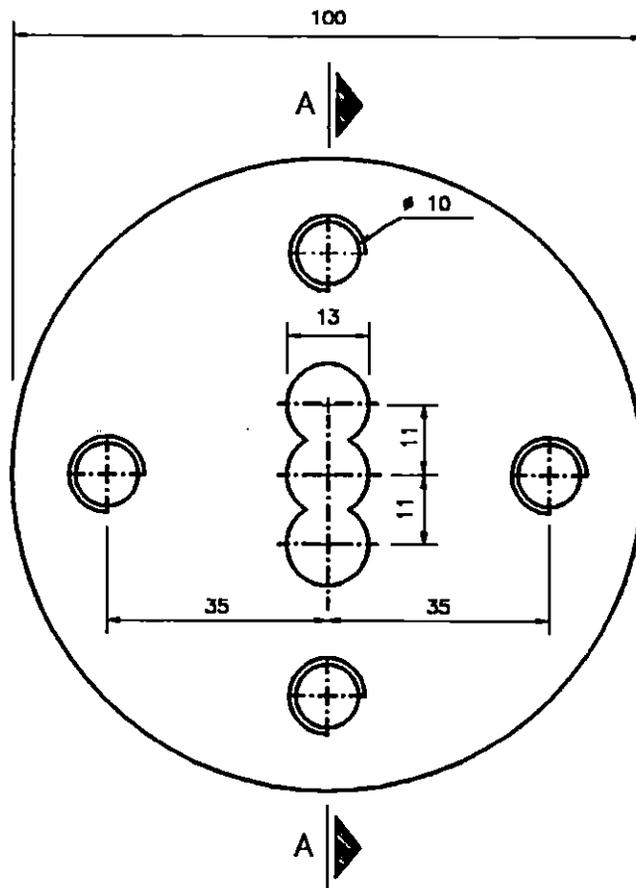
1	TAMBOR DE MEDICION	ALUMINIO	150# X30
No. DE PIEZA	DENOMINACION	MATERIAL	MEDIDAS EN BRUTO
DIBUJADO	FECHA	NOMBRES	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
COMPROBADO	24-09-2000	ELMER PINEDA NELSON RIVAS	
ESCALA: 1:125	DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MAQUINA PARA PRUEBAS DE TORSION ESTATICA		LAMINA No. 5B TRABAJO DE GRADUACION



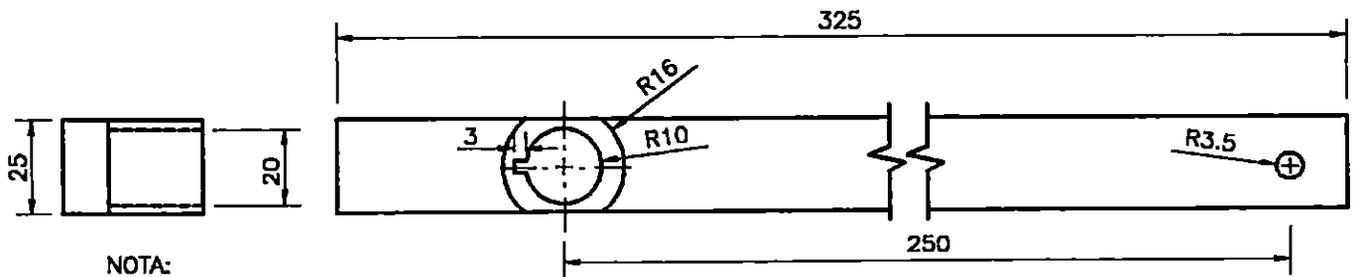
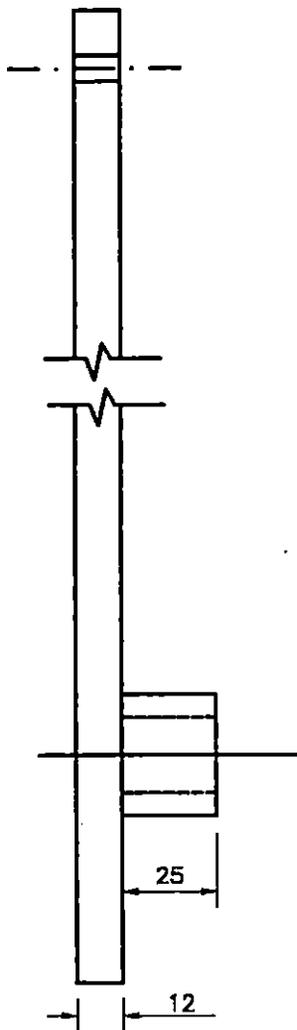


SECCION A-A

NOTA:
COTAS EN MILIMETROS

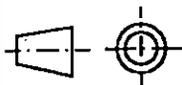


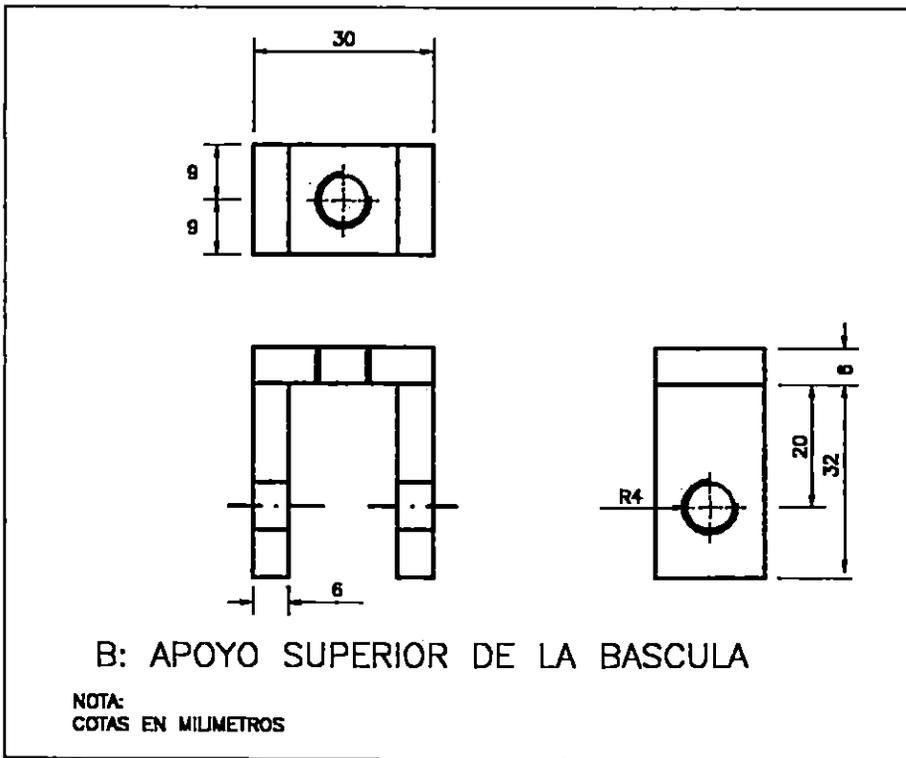
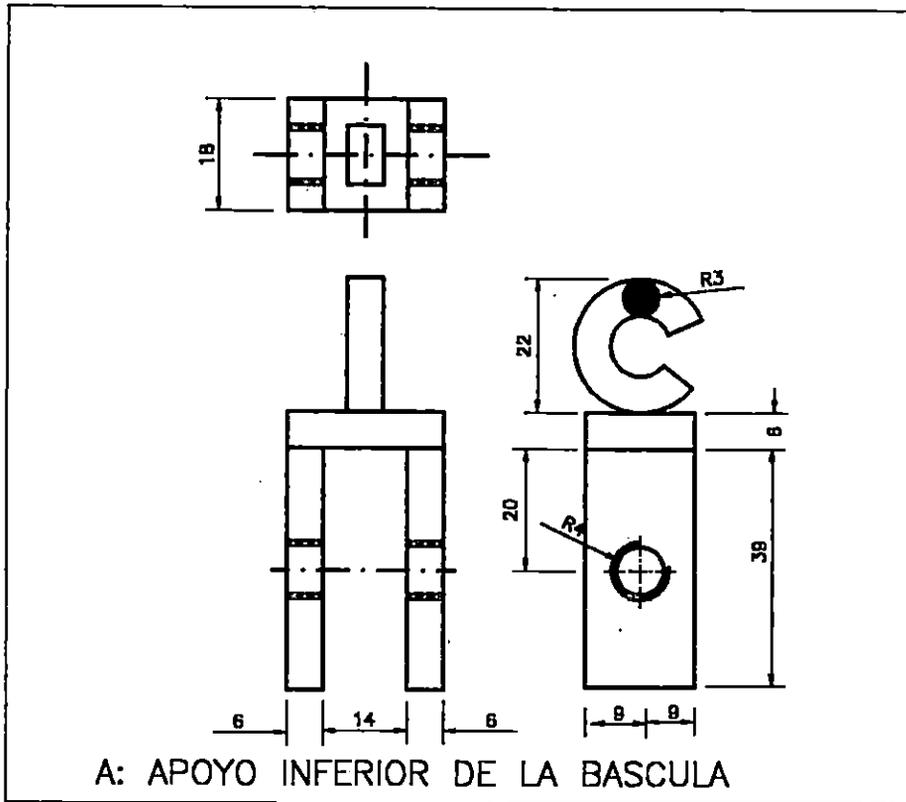
2	MORDAZA	ACERO AISI 1045	108# X40
No. DE PIEZA	DENOMINACION	MATERIAL	MEDIDAS EN BRUTO
	FECHA	NOMBRES	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
DIBUJADO	24-09-2000	ELMER PINEDA NELSON RIVAS	
COMPROBADO			
ESCALA: 1:1.25	DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MAQUINA PARA PRUEBAS DE TORSION ESTATICA		LAMINA No. 6 TRABAJO DE GRADUACION



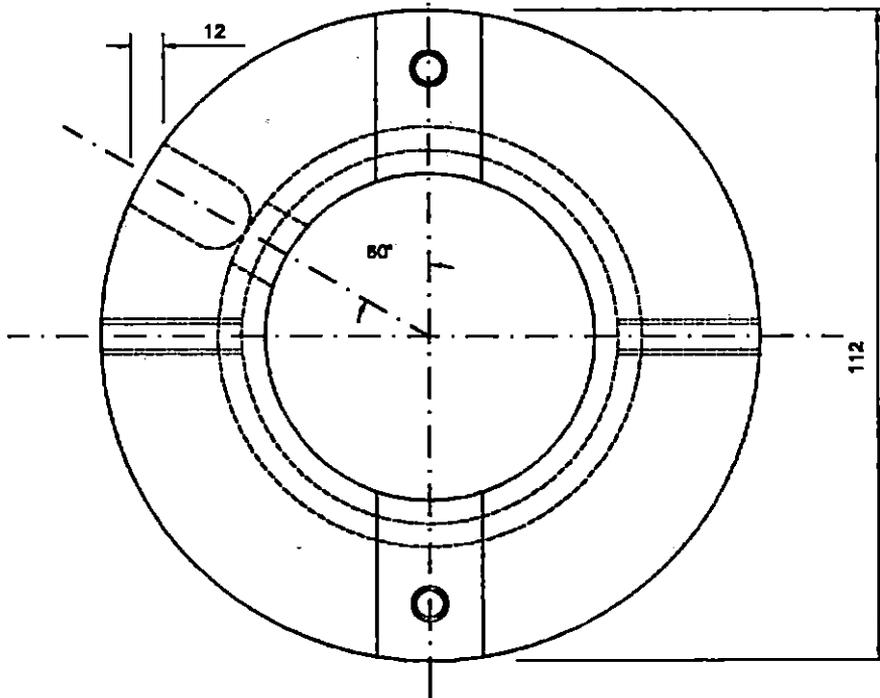
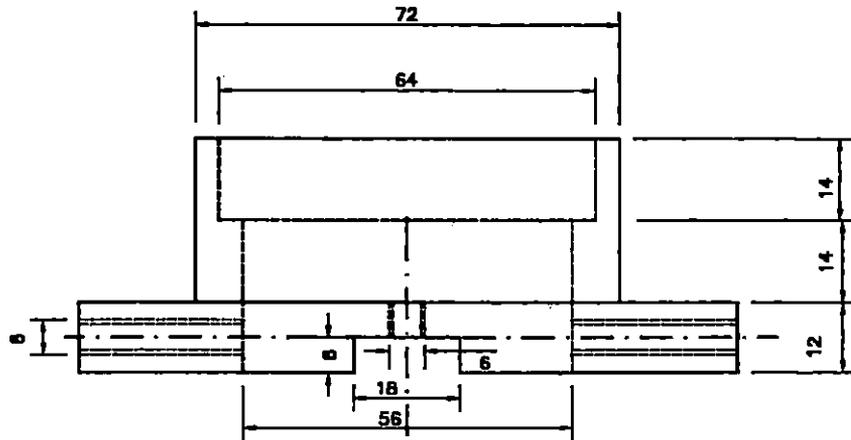
NOTA:
COTAS EN MILIMETROS

1	PALANCA DE FUERZA	ACERO AISI 1020	25X12X325
No. DE PIEZA	DENOMINACION	MATERIAL	MEDIDAS EN BRUTO
	FECHA	NOMBRES	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
DIBUJADO	24-09-2000	ELMER PINEDA NELSON RIVAS	
COMPROBADO			
ESCALA: 1:1.25	DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MAQUINA PARA PRUEBAS DE TORSION ESTATICA		LAMINA No. 7A TRABAJO DE GRADUACION





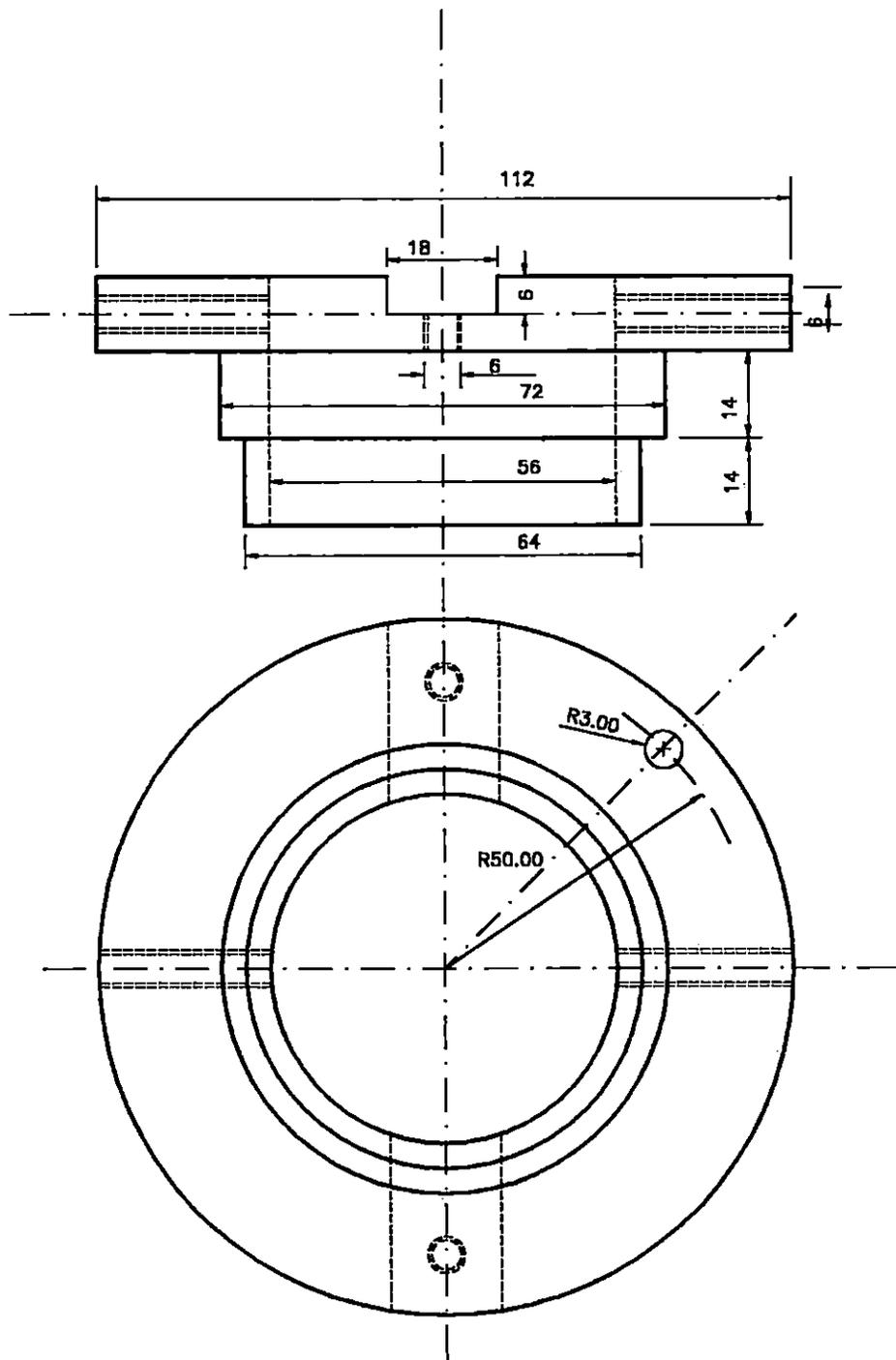
1	APOYOS DE LA BASCULA		ACERO AISI 1020	6X19 X500
No. DE PIEZA	DENOMINACION		MATERIAL	MEDIDAS EN BRUTO
	FECHA	NOMBRES	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA	
DIBUJADO	24-09-2000	ELMER PINEDA		
COMPROBADO		NELSON RIVAS		
ESCALA: 1:1.25	DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MAQUINA PARA PRUEBAS DE TORSION ESTATICA		LAMINA No. 7B	
			TRABAJO DE GRADUACION	



NOTA:
COTAS EN MILIMETROS

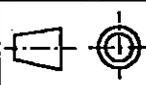
1	COLLARIN DE SOPORTE DE MEDIDOR	ACERO AISI 1020	127 # X 65
No. DE PIEZA	DENOMINACION	MATERIAL	MEDIDAS EN BRUTO
	FECHA	NOMBRES	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
DIBUJADO	24-08-2000	ELMER PINEDA NELSON RIVAS	
COMPROBADO			
ESCALA: 1:1.25	DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MAQUINA PARA PRUEBAS DE TORSION ESTATICA		LAMINA No. B A TRABAJO DE GRADUACION

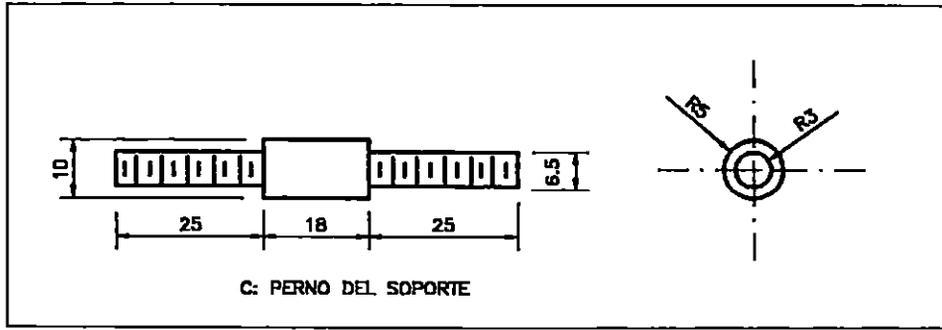
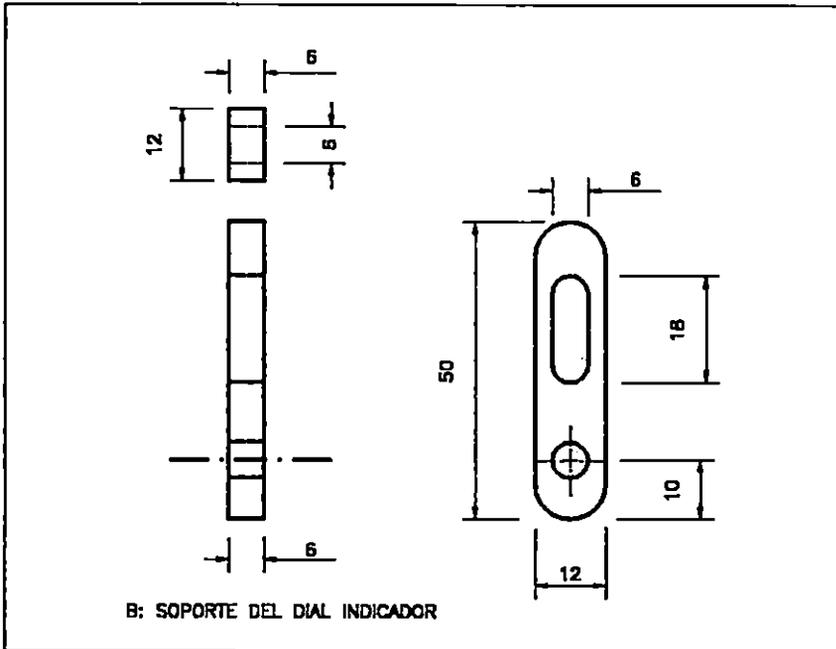
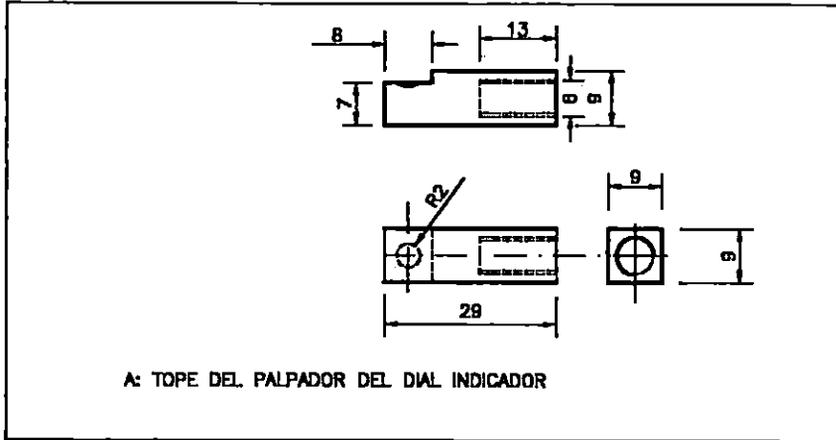




NOTA:
COTAS EN MILIMETROS

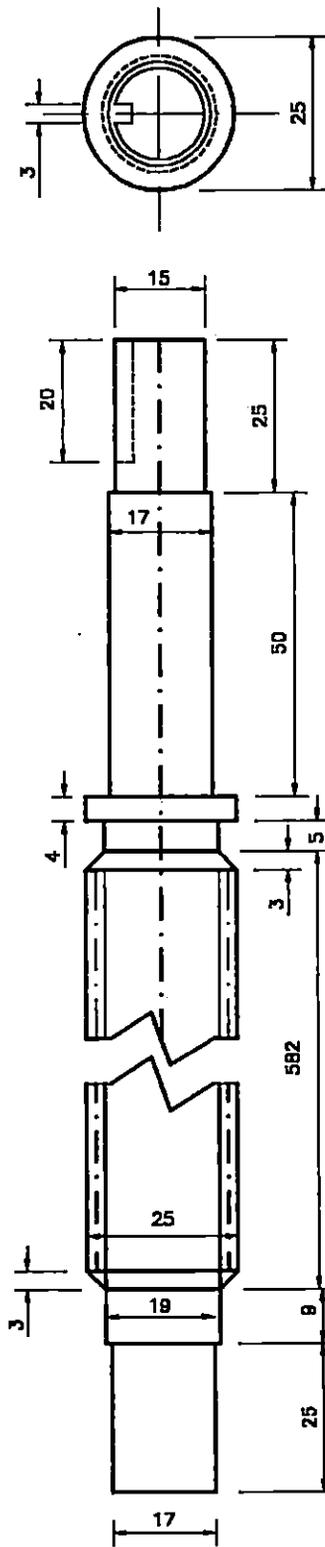
1	COLLARIN DEL PALPADOR DEL MEDIDOR	ACERO AISI 1020	127 Ø X 65
No. DE PIEZA	DENOMINACION	MATERIAL	MEDIDAS EN BRUTO
	FECHA	NOMBRES	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
DIBUJADO	24-09-2000	ELMER PINEDA NELSON RIVAS	
COMPROBADO			
ESCALA: 1:1.25	DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MAQUINA PARA PRUEBAS DE TORSION ESTATICA		LAMINA No. 8 B TRABAJO DE GRADUACION





NOTA:
COTAS EN MILIMETROS

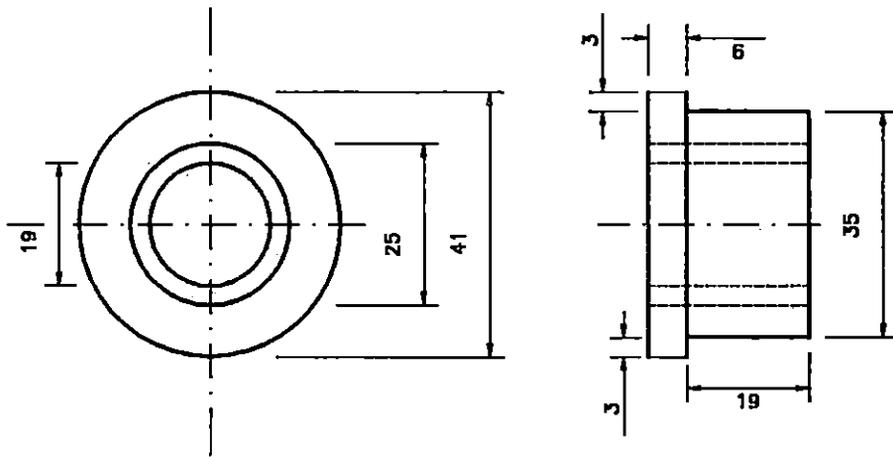
1	ELEMENTOS DE SOPORTE DEL TORSIOMETRO	ACERO AISI 1020	12 X12 X 150
No. DE PIEZA	DENOMINACION	MATERIAL	MEDIDAS EN BRUTO
	FECHA	NOMBRES	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
DIBUJADO	24-09-2000	ELMER PINEDA	
COMPROBADO		NELSON RIVAS	
ESCALA: 1:1.25	DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MAQUINA PARA PRUEBAS DE TORSION ESTATICA		LAMINA No. BC TRABAJO DE GRADUACION



NOTA:
COTAS EN MILIMETROS

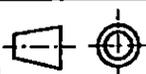
1	TORNILLO DE AVANCE	ACERO AISI 1020	29 # X 705
No. DE PIEZA	DENOMINACION	MATERIAL	MEDIDAS EN BRUTO
	FECHA	NOMBRES	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
DIBUJADO	24-08-2000	ELMER PINEDA NELSON RIVAS	
COMPROBADO			
ESCALA: 1:1.25	DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MAQUINA PARA PRUEBAS DE TORSION ESTATICA		LAMINA No. 9 TRABAJO DE GRADUACION

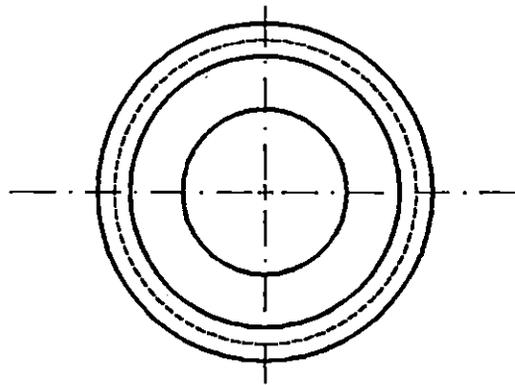
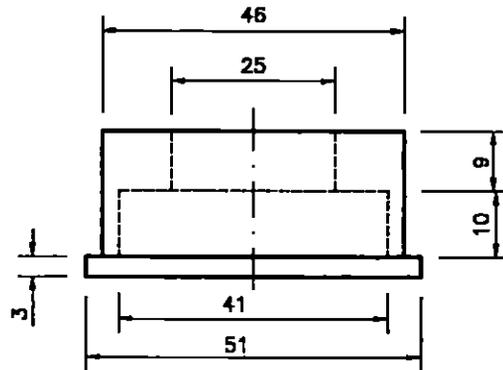




NOTA:
COTAS EN MILIMETROS

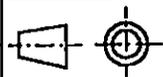
2	TUERCA DEL TORNILLO DE AVANCE	BRONCE FOSFORICO	45 # X 28
No. DE PIEZAS	DENOMINACION	MATERIAL	MEDIDAS EN BRUTO
	FECHA	NOMBRES	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
DIBUJADO	24-09-2000	ELMER PINEDA NELSON APARICIO	
COMPROBADO			
ESCALA: 1:1.25	DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MAQUINA PARA PRUEBAS DE TORSION ESTATICA		LAMINA No. 10 TRABAJO DE GRADUACION

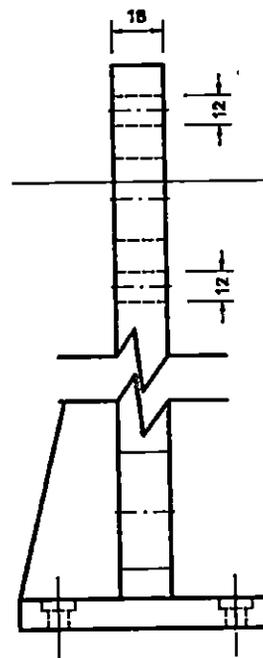
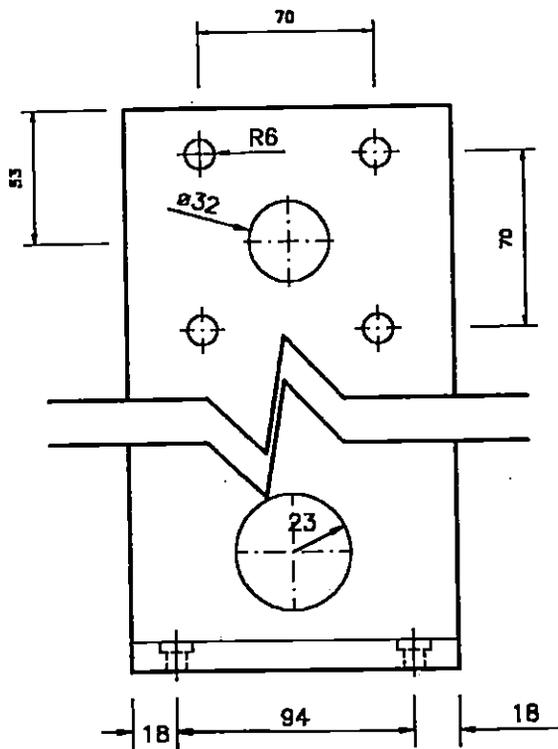
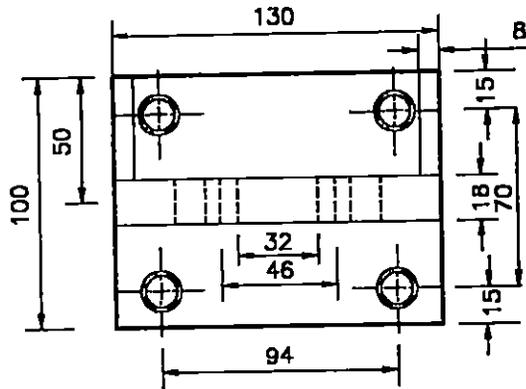




NOTA:
COTAS EN MILIMETROS

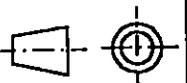
2	CAJETA PARA BALEROS	ACERO AISI 1020	54 # X64
No. DE PIEZA	DENOMINACION	MATERIAL	MEDIDAS EN BRUTO
	FECHA	NOMBRES	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
DIBUJADO	24-09-2000	ELMER PINEDA NELSON RIVAS	
COMPROBADO			
ESCALA: 1:1.25	DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MAQUINA PARA PRUEBAS DE TORSION ESTATICA		LAMINA No. 11 TRABAJO DE GRADUACION

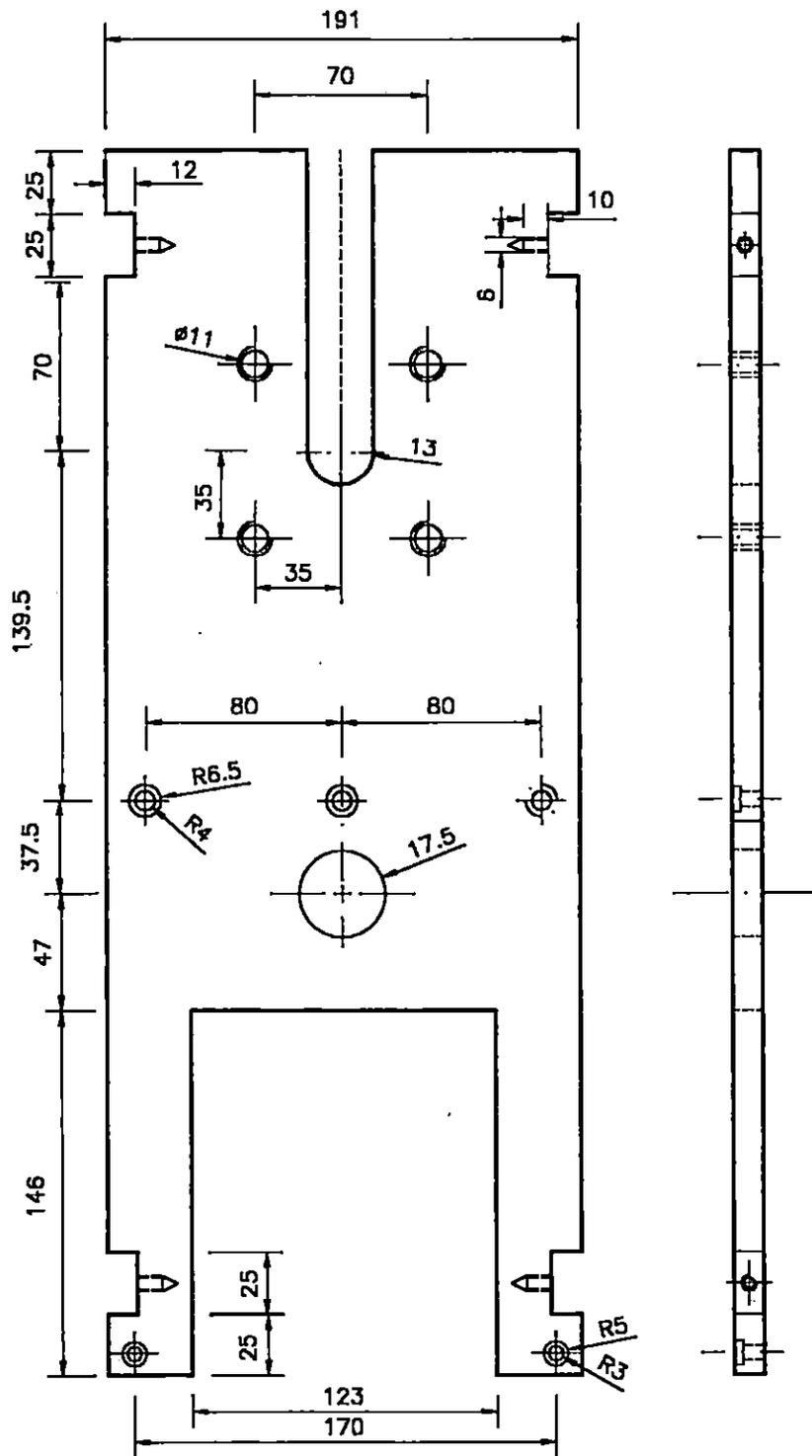




NOTA:
COTAS EN MILIMETROS

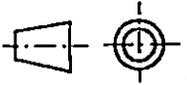
1	SOPORTE FIJO	ACERO AISI 1020	19X130X300
No. DE PIEZA	DENOMINACION	MATERIAL	MEDIDAS EN BRUTO
	FECHA	NOMBRES	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
DIBUJADO	24-09-2000	ELMER PINEDA NELSON RIVAS	
COMPROBADO			
ESCALA: 1:3	DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MAQUINA PARA PRUEBAS DE TORSION ESTATICA		LAMINA No. 12 TRABAJO DE GRADUACION

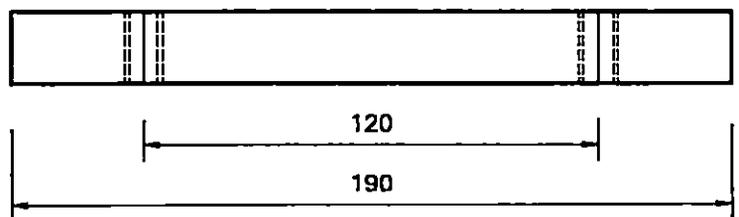
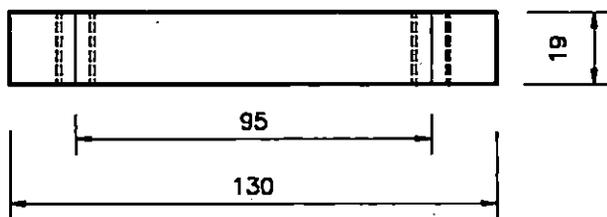
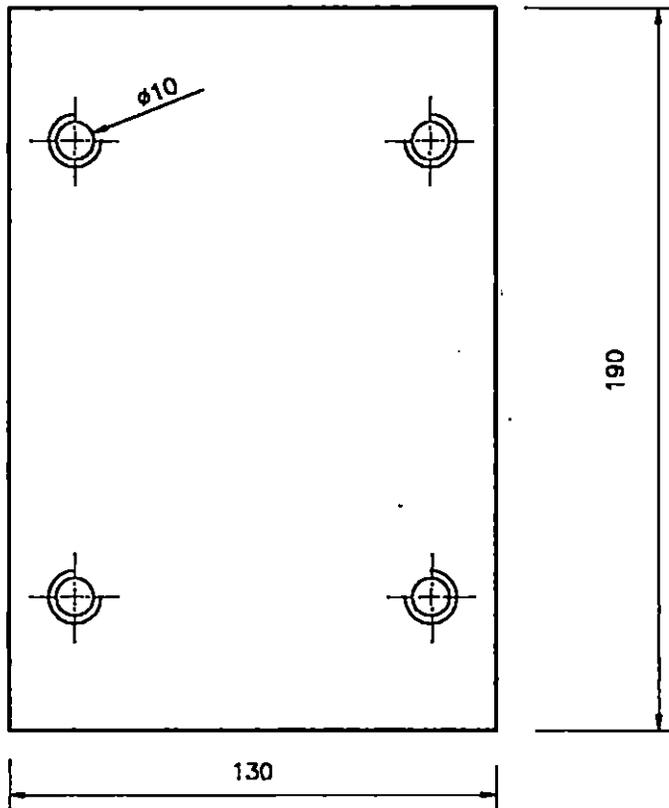




NOTA:
COTAS EN MILIMETROS

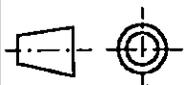
2	PLACA VERTICAL DE LA CAJA DE ENGRANE	ACERO AISI 1020	127X200X500
No. DE PIEZA	DENOMINACION	MATERIAL	MEDIDAS EN BRUTO
	FECHA	NOMBRES	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
DIBUJADO	24-09-2000	NELSON RIVAS ELMER PINEDA	
COMPROBADO			
ESCALA: 1:3	DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MAQUINA PARA PRUEBAS DE TORSION ESTATICA		LAMINA No. 13A TRABAJO DE GRADUACION

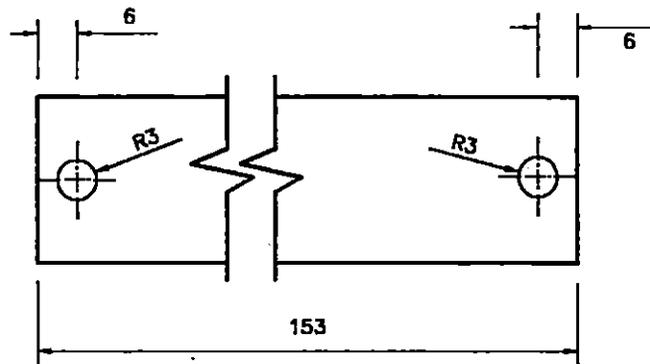
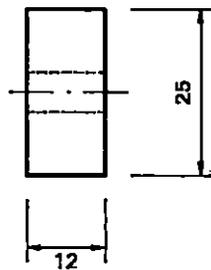
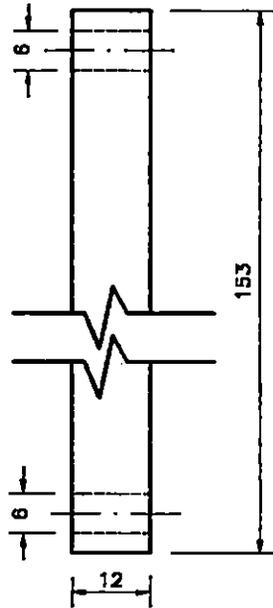




NOTA:
COTAS EN MILIMETROS

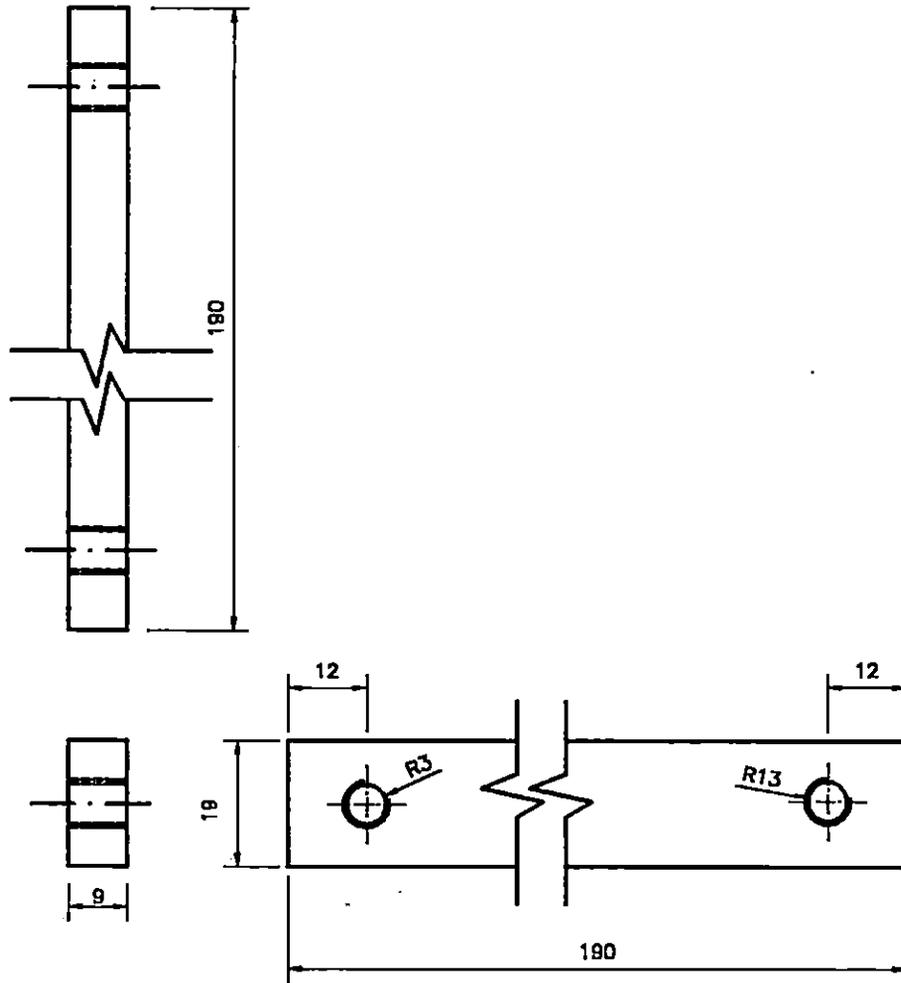
1	BASE DEL SINFIN		ACERO AISI 1020	19X135X195
No. DE PIEZA	DENOMINACION		MATERIAL	MEDIDAS EN BRUTO
	FECHA	NOMBRES	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA	
DIBUJADO	24-09-2000	ELMER PINEDA		
COMPROBADO		NELSON RIVAS		
ESCALA: 1:2	DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MAQUINA PARA PRUEBAS DE TORSION ESTATICA			LAMINA No. 13B TRABAJO DE GRADUACION





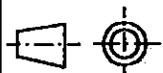
NOTA:
COTAS EN MILIMETROS

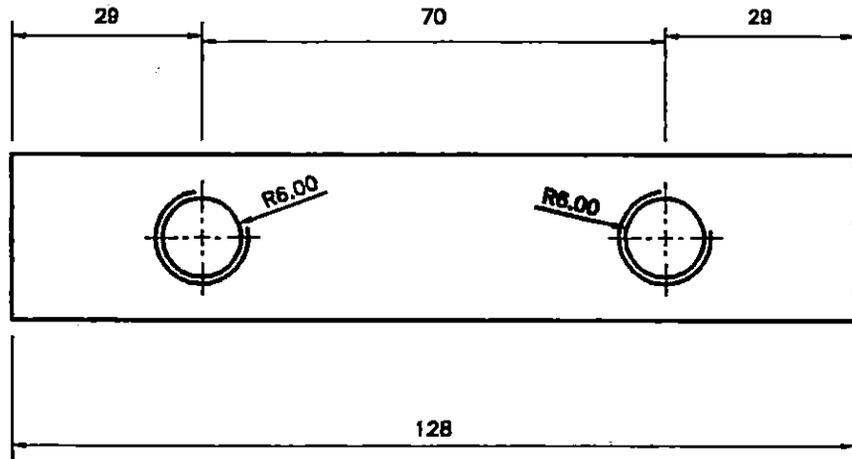
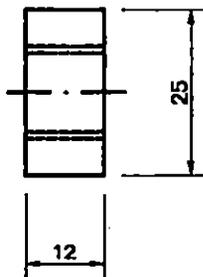
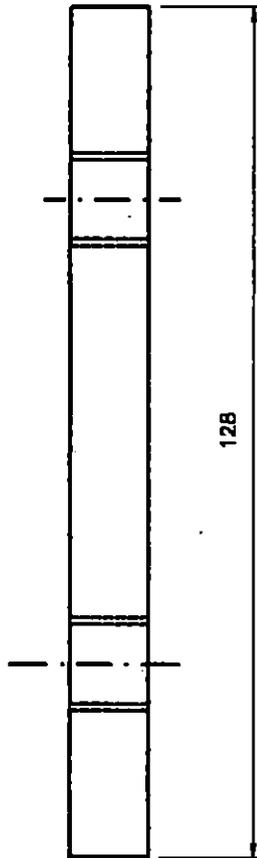
4	REFUERZOS AXIALES	ACERO AISI 1020	12X25X620
No. DE PIEZA	DENOMINACION	MATERIAL	MEDIDAS EN BRUTO
	FECHA	NOMBRES	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
DIBUJADO	24-09-2000	ELMER PINEDA	
COMPROBADO		NELSON RIVAS	
ESCALA: 1:1.25	DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MAQUINA PARA PRUEBAS DE TORSION ESTATICA		LAMINA No.13C TRABAJO DE GRADUACION



NOTA:
COTAS EN MILIMETROS

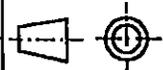
2	REFUERZO TRANSVERSAL	ACERO AISI 1020	9X19X390
No. DE PIEZA	DENOMINACION	MATERIAL	MEDIDAS EN BRUTO
	FECHA	NOMBRES	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
DIBUJADO	24-09-2000	ELMER PINEDA	
COMPROBADO		NELSON RIVAS	
ESCALA: 1:1.25	DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MAQUINA PARA PRUEBAS DE TORSION ESTATICA		LAMINA No. 13 D TRABAJO DE GRADUACION

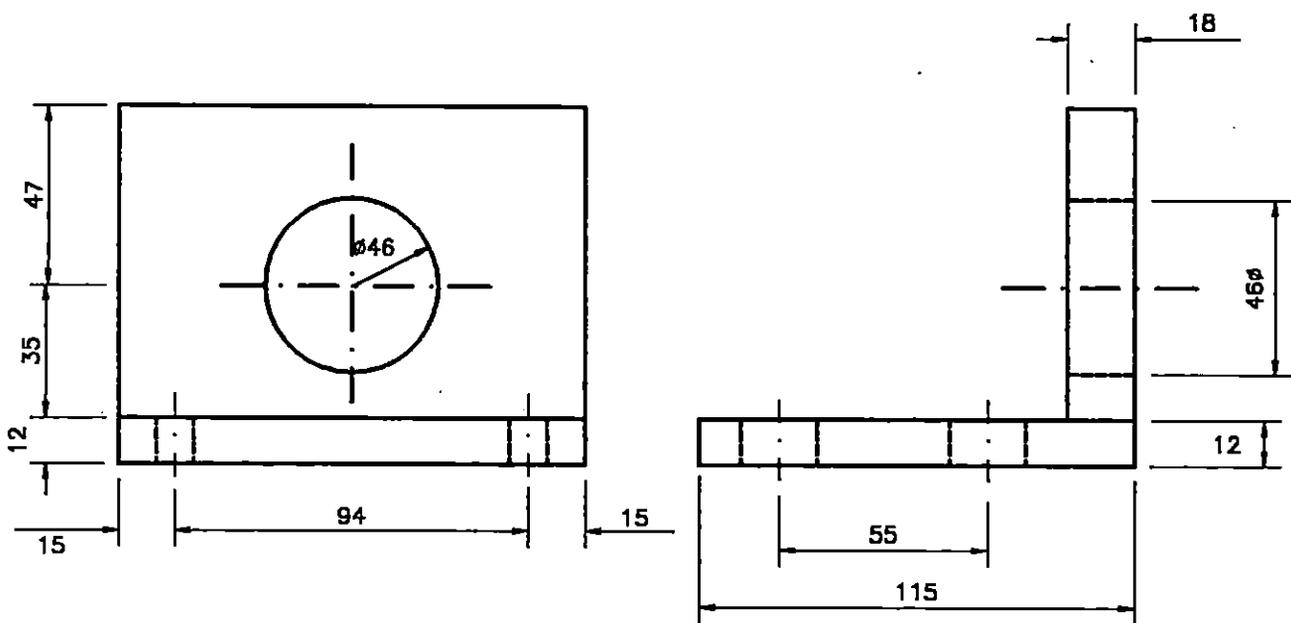
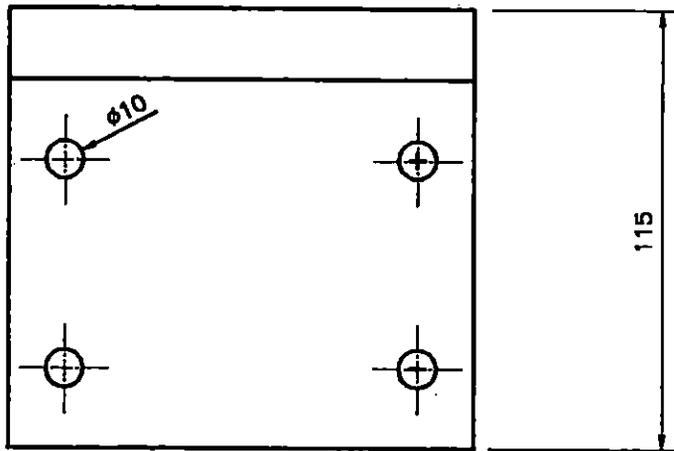




NOTA:
COTAS EN MILIMETROS

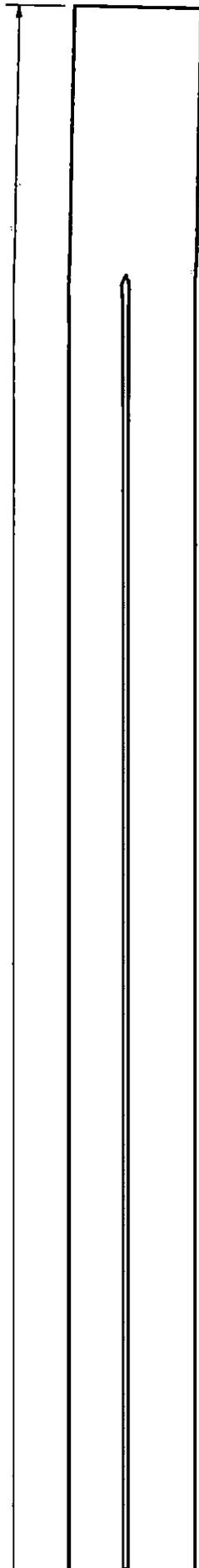
1	PIEZA DE AJUSTE TRANSVERSAL	ACERO AISI 1020	12X25 X130
No. DE PIEZA	DENOMINACION	MATERIAL	MEDIDAS EN BRUTO
	FECHA	NOMBRES	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
DIBUJADO	24-09-2000	ELMER PINEDA	
COMPROBADO		NELSON RIVAS	
ESCALA: 1:1.25	DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MAQUINA PARA PRUEBAS DE TORSION ESTATICA		LAMINA No. 13E TRABAJO DE GRADUACION

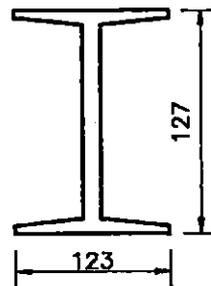
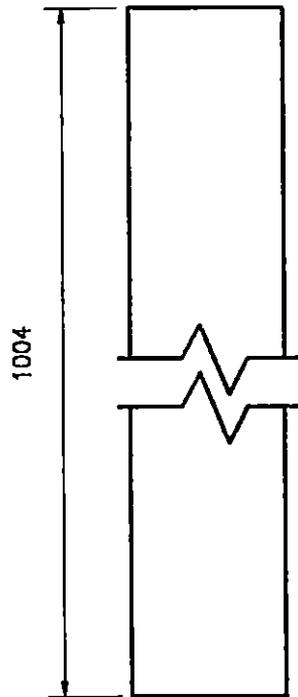




NOTA:
COTAS EN MILIMETROS

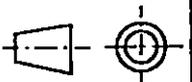
1	SOPORTE DEL TORNILLO DE AVANCE		ACERO AISI 1020	125 X100 X19
No. DE PIEZA	DENOMINACION		MATERIAL	MEDIDAS EN BRUTO
	FECHA	NOMBRES	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA	
DIBUJADO	24-09-2000	ELMER PINEDA		
COMPROBADO		NELSON RIVAS		
ESCALA: 1:2	DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MAQUINA PARA PRUEBAS DE TORSION ESTATICA		LAMINA No. 14	
			TRABAJO DE GRADUACION	

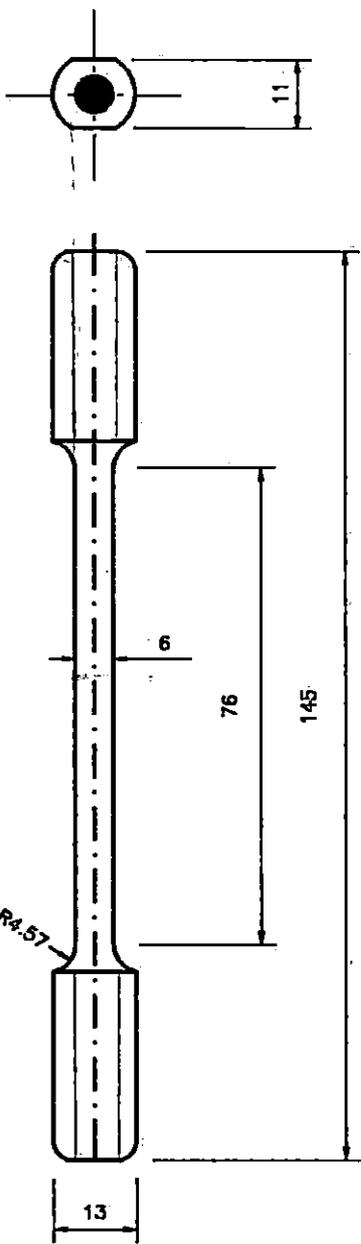




NOTA:
COTAS EN MILIMETROS

1	SOPORTE DE LA MAQUINA	ACERO AISI 1020	127X127X1010
No. DE PIEZA	DENOMINACION	MATERIAL	MEDIDAS EN BRUTO
	FECHA	NOMBRES	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
DIBUJADO	24-09-2000	NELSON RIVAS ELMER PINEDA	
COMPROBADO			
ESCALA: 1:5	DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MAQUINA PARA PRUEBAS DE TORSION ESTATICA		LAMINA No. 15 TRABAJO DE GRADUACION





NOTA:
COTAS EN MILIMETROS

1	PRÓBETA	ACERO	15 # X 160
Nº. DE PIEZA	DENOMINACION	MATERIAL	MEDIDAS EN BRUTO
	FECHA	NOMBRES	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
DIBUJADO	24-09-2000	ELMER PINEDA NELSON RIVAS	
COMPROBADO			
ESCALA: 1:1.25	DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UNA MAQUINA PARA PRUEBAS DE TORSION ESTATICA		LAMINA No. 16 TRABAJO DE GRADUACION

