

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE ENSAYO DE TORSIÓN ESTÁTICA PARA EL LABORATORIO DE DISEÑO DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
por los Brs:  
Cautela Padrón, William Enrique.  
Moscianese Yaguare, Luciano.  
Para optar al título de Ingeniero  
Mecánico.

**Caracas, 2005.**

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

# **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE ENSAYO DE TORSIÓN ESTÁTICA PARA EL LABORATORIO DE DISEÑO DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
por los Brs:  
Cautela P. William E.  
Moscianese Y. Luciano.  
Para optar al título de Ingeniero  
Mecánico.

**Caracas, 2005.**

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

# **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE ENSAYO DE TORSIÓN ESTÁTICA PARA EL LABORATORIO DE DISEÑO DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA**

**TUTOR ACADÉMICO: Prof. Antonio Barragán.**

Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
por los Brs:  
Cautela P. William E.  
Moscianese Y. Luciano.  
Para optar al título de Ingeniero  
Mecánico.

**Caracas, 2005.**

**Cautela P. William E.  
Moscianese Y. Luciano**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA DE ENSAYO  
DE TORSIÓN ESTÁTICA PARA EL LABORATORIO DE  
DISEÑO DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA  
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA.**

**Tutor Académico: Antonio Barragán.**

**Caracas, U.C.V.**

**Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica.**

**Año 2005.**

**135 páginas.**

**PALABRAS CLAVES: DISEÑO DE MAQUINAS DE ENSAYO.**

En este trabajo especial de grado se describe detalladamente el proceso de diseño y construcción de una Máquina de Ensayo de Torsión Estática, que tuviera características superiores a la máquina existente en el laboratorio actualmente. Para ello se hizo una investigación de las tecnologías existentes en el mercado, una identificación y estudio de usuarios, y un análisis de parámetros ergonómicos que involucran el uso de este tipo de máquinas. Luego utilizando técnicas de creatividad como tormentas de ideas y análisis morfológico, se llegó a diferentes conceptos solución, de los cuales se escogió el más favorable. Se hizo el estudio respectivo de cada pieza para determinar las dimensiones y el material a usar en cada una de ellas. Finalmente se procede a describir el proceso de fabricación, y se establecen los criterios de operación y mantenimiento de la máquina. El resultado de este trabajo fue una máquina para ensayos de torsión con una capacidad nominal de 50 N\*m, que puede ensayar elementos de hasta 600 mm.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>Capítulo 1</b>	<b>Anteproyecto.</b>	
1.1	Motivación. ....	7
1.2	Antecedentes. ....	9
1.3	Planteamiento del problema. ....	9
1.4	Objetivos.	
	1.4.1 Objetivo General.....	12
	1.4.2 Objetivos Específicos.....	12
1.5	Recursos disponibles. ....	13
1.6	Alcances.....	14
<b>Capítulo 2</b>	<b>Ensayo de Torsión Estática.</b>	
2.1	Introducción.....	15
2.2	Torsión Estática.....	15
2.3	Método de Ensayo de Torsión Estática.....	19
<b>Capítulo 3</b>	<b>Estudio de las tecnologías existentes.</b>	
3.1	Introducción.....	21
3.2	Elaboración de la ficha tecnológica.....	21
3.3	Análisis de la información recopilada.....	25
<b>Capítulo 4</b>	<b>Estudio de usuarios y de ergonomía.</b>	
4.1	Introducción.....	26
4.2	Investigación de usuarios.....	26
	4.2.1 Desempeño Funcional.....	27
	4.2.2 Requerimientos Físicos.....	28
	4.2.3 Factores Humanos.....	29
4.3	Ergonomía.....	30
	4.3.1 Ergonomía de los controles y mandos.....	32

<b>Capítulo 5</b>	<b>Generación de soluciones.</b>	
5.1	Introducción.....	39
5.2	Método de Diseño.....	39
5.3	Clarificación de Objetivos.....	40
5.4	Establecimiento de Funciones.....	43
5.5	Requerimientos.....	46
5.6	Generación y Evaluación de alternativas.....	49
<b>Capítulo 6</b>	<b>Desarrollo del diseño.</b>	
6.1	Introducción.....	57
6.2	Apariencia inicial de la Maquina de Ensayo propuesta	57
6.3	Ingeniería de Detalle .....	59
<b>Capítulo 7</b>	<b>Máquina de Ensayo de Torsión Estática Final.</b>	
7.1	Introducción.....	98
7.2	Resultado del diseño. ....	98
7.3	Ficha Técnica. ....	103
<b>Capítulo 8</b>	<b>Fabricación</b>	
8.1	Introducción.....	108
8.2	Descripción de la fabricación.....	108
8.3	Exactitud de la máquina.....	119
8.4	Operación y Mantenimiento. ....	123
<b>Recomendaciones</b>	.....	131
<b>Conclusiones</b>	.....	132

<b>Anexos.....</b>	134
<b>Bibliografía.....</b>	136
<b>Índice de Ilustraciones, Fotografías y planos.....</b>	138

## DEDICATORIA

Luciano

A mis padres Ercole y Carmen Luisa

A mi hermana Antonella.

William

A mis padres Domenico e Ysbelia.

A mis hermanos Domingo, Alexander y Franklin.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Central de Venezuela.

Prof. Antonio Barragán.

A la Escuela de Ingeniería Mecánica de la U.C.V.

Prof. Andrea Scagni.

Prof. Alberto Pertuz.

Prof. Cesar Ferrer.

Prof. Crisanto Villalobos

Prof. Enrique Limongi.

Prof. Jorge Barillas

Prof. Manuel Martinez.

Prof. Rafael Valderrama.

A todos los técnicos del taller de la Escuela de Mecánica.

A.C. Talleres Escuela Técnica Don Bosco.

Xacta C.A.

Hernán Gómez.

Del Instituto Universitario Tecnológico (IUTEC)

Prof. Wilson Gamboa.

Prof. Wladimir Delgado.

Luciano:

A mis padres Ercole y Carmen Luisa y a mi hermana Antonella, sin su apoyo durante estos años esto hubiese sido imposible. A Patrizia por todo su amor y comprensión en los momentos buenos y malos. A la Sra. Tania por atenderme como a un hijo, al Sr. Arnaldo y a Mariella por tratarme como parte de la familia.

A mis compañeros y amigos dentro y fuera de la universidad: Ismael, William, Osé, Alfredo, Rafael, David Alfaro, David Carrera, Gerónimo, Alfredo García, Omar, Gustavo, Cesar “El Cumanés”, Andrea, Leonardo, Marianella, Karine, José Manuel, Angie, José Moreno, José Miguel, Guarata, Fernando, Randolf, Nelson, Carlos, Mario. A todas mis Ex novias, que no voy a enumerar ahora...jeje. A todas las personas que en este momento no recuerdo, pero que seguro van a leer esto. A mis guitarras, a la música, al fútbol...y también porque no, a todas las personas que me dieron la rabia para seguir adelante durante todo este tiempo.

William:

A mis padres Domenico e Ysbelia.

A mis hermanos Domingo, Alexander y Franklin.

A Nerys Gonzales por todo su amor y comprensión en cada momento.

A mis primas Celibeth y Celina por todo su apoyo y cariño.

A mi tío Atilio Cautela.

A mi primo Andy Padrón.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN.

### 1.1 MOTIVACIÓN.

El Departamento de Diseño de la Escuela de Ingeniería Mecánica cuenta con diversos espacios en los cuales se realizan diversas pruebas y experimentos que buscan validar o demostrar en la práctica los conocimientos teóricos que se imparten en las clases de las diferentes cátedras que dicta dicho departamento. Durante muchos años en el Laboratorio de Diseño de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Central de Venezuela se han hecho pruebas en la máquina de ensayo de torsión estática exclusivamente para la formación académica pero nunca orientada hacia la investigación.

En el caso específico del tema de Torsión, se cuenta con una máquina en la cual se pueden realizar ensayos de torsión estática donde se pueden analizar la relación entre el torque aplicado a una probeta y su deformación, también se puede medir el efecto de los esfuerzos residuales y el efecto sobre dichos esfuerzos en la superficie de la probeta, además añadiendo tratamientos térmicos a las probetas ensayadas se puede demostrar su utilidad para minimizar los esfuerzos producto de la torsión. Es evidente entonces la versatilidad de una maquina que realiza ensayos de torsión.

En el caso específico del laboratorio actualmente se cuenta con una máquina de torsión marca *Tecquipment* cuyas especificaciones son las siguientes:

Capacidad Nominal	30 N*m (300 lb* in )
Diámetro de la base	76 mm
Largo de la base	914 mm
Peso Total	76 kg
Longitud máxima de la probeta	450 mm

La máquina posee un cabezal rígido con un tensor manual, que básicamente es una caja reductora de tornillo sin fin con una relación de transmisión de 60:1, dicho cabezal posee un medidor de ángulo de torsión conformado por una escala circular con una apreciación de  $\frac{1}{2}$  grado. También posee un contador de revoluciones del árbol interior de la caja reductora. Sobre el extremo libre al cual se sujeta la probeta, se encuentra una balanza de torque, la cual esta fija sobre el bastidor de la máquina, esta balanza tiene la posibilidad de dar la lectura del torque específico en lbs\*in o en Kg\*cm.

La máquina trabaja esencialmente con probetas de acero al carbono de diferentes tipos, aluminio y latón. Dichas probetas están clasificadas de la siguiente manera:

- T15 0,15 % acero al carbono estirado.
- T15N 0,15 % acero al carbono normalizado a 900 °C.
- T40 0,40 % acero al carbono estirado.
- T40N 0,40 % acero al carbono normalizado a 860 °C.
- TR Aleación de aluminio B.S. 1476-H.E.14 recocido.
- TX Latón B.S.249.

En la actualidad las máquinas de ensayo de torsión están hechas en base al uso de equipos que permitan mejorar la exactitud de la medición. Las casa fabricantes ofrecen máquinas de diferentes capacidades, pero todas tienen en común que su diseño permita la realización de la mayor cantidad de pruebas posibles y hasta tratan de tener la mayor adaptación posible a los elementos a ensayar, pues algunas poseen mordazas intercambiables. Es así como conseguimos que estas máquinas actualmente cuentan con medidores de torsión y contadores digitales, extremos móviles automáticos, sistemas de mando y control, estándares de requerimientos de ruido y seguridad de operación, kits de sujetadores intercambiables, etc. Todo esto permite trabajar con comodidad al momento de realizar los experimentos relacionados con la verificación de la ecuación de torsión elástica, la determinación de los módulos de rigidez y de esfuerzo de corte y deformación, determinación de los esfuerzos de

deformación superior e inferior para probetas de acero, investigación del comportamiento de los materiales bajo deformación plástica y el fenómeno del endurecimiento de trabajo, la determinación de módulos de ruptura en torsión, las pruebas de torsión inversa para demostrar el efecto Baueshinger o torsión en sentidos opuestos, y de los esfuerzos de textura en fuerza de torsión, así como demostrar el efecto del tratamiento térmico en esfuerzos residuales y fuerzas de torsión.

Con la intención de disminuir las diferencias tecnológicas de las máquinas actuales para ensayos de torsión y la máquina presente en el laboratorio de diseño, el laboratorio de propone el diseño y la construcción de una maquina para ensayos de torsión estática capaz de realizar los experimentos inherentes a la materia con una mayor exactitud y que a la vez pueda ser usada no solo con el fin académico sino también en labores de investigación. Una máquina con la cual se puedan manejar mayores cargas, que no solo trabaje con probetas prediseñadas sino también que amplíe su rango de trabajo y pueda ensayar elementos de maquinas de diversas geometrías a través del diseño novedoso de mordazas que le permitan a la maquina realizar dicho trabajo. Todo en busca de beneficiar no solamente a la Escuela de Ingeniería Mecánica, pues otras dependencias en la universidad o fuera de ella se podrían beneficiar con el ensayo de piezas en esta máquina.

## **1.2 ANTECEDENTES.**

En el año 1969 se presento un Trabajo Especial de Grado titulado “Diseño Preliminar de una Maquina de Ensayo de Torsión Pura” elaborado por Antonio Castellet R. Este trabajo tuvo como finalidad desarrollar una propuesta para una maquina de ensayo a torsión pura.

El diseño fue hecho considerando que dicha maquina seria capaz de producir y soportar esfuerzos para realizar ensayos a torsión estática, alternativa e intermitente. El objetivo principal de dicha maquina era la construcción de la Curva de Wöhler y el Diagrama de Smith a partir del ensayo de probetas específicamente de acero,

fundición, bronce y aluminio en dicha maquina. El diseño esta caracterizado por el uso de barras cuyo comportamiento cinemático, impulsado por un motor eléctrico, transmite esfuerzos de manera estática, alternativa e intermitente a la probeta. Los resultados obtenidos se registran en elementos indicadores de la época (1969), caracterizados por equipos medidores de aguja. El desarrollo de este trabajo fue totalmente teórico pues nunca se construyó dicha maquina.

Para el año 1973, se realizó otro Trabajo titulado “Proyecto e Instalación del laboratorio de Elementos de Máquina”, en dicho trabajo se presentó la alternativa para la distribución de los equipos de ensayos que se utilizaban en el laboratorio en ese entonces en el laboratorio. En este trabajo se encuentran detalles valiosos sobre los equipos de ensayos de esa época, muchos de los cuales aún siguen operativos o en el laboratorio como es el caso de la máquina de ensayos de torsión estática. También se establecieron allí modelos a seguir para la operación de cada máquina, incluyendo los procedimientos de la práctica de laboratorio que seguirían los estudiantes con dichos equipos.

Recientemente en el año 2003 se realizo un Trabajo Especial de Grado por Homer Frassier y Lino Espinar en el que se propuso el diseño y construcción de un banco de pruebas estáticas de sólidos. Este trabajo surgió debido a las necesidades de utilizar equipos didácticos para complementar la formación didáctica de los estudiantes de la asignatura Mecánica de Sólidos la cual se cursa en el sexto semestre de la carrera de Ingeniería Mecánica. La idea de tal proyecto es presentar una alternativa para permitir la demostración de los fenómenos estudiados en dicha materia de manera visual.

Este trabajo especial de grado presenta una opción versátil para realizar múltiples ensayos a las probetas pues presenta la ventaja de permitir la lectura de los resultados obtenidos directamente en una pantalla, disminuyendo así los errores de medición.

### 1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

En los últimos años se han recibido solicitudes por parte de personas e instituciones tanto internas como externas para realizar ensayos de torsión estática con fines investigativos en la máquina destinada para tal fin ubicada en el Laboratorio de Diseño de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Central de Venezuela.

En muchas oportunidades dicha máquina no puede cumplir con esas solicitudes ya que los elementos a ensayar sobrepasan los límites de carga o las especificaciones dimensionales para la cual la máquina fue diseñada teniéndose que adaptar los diferentes elementos estructurales a las mordazas existentes en la máquina y así obtener un ensayo aproximado pero no el más adecuado.

Dicha problemática nos hace proponer el diseño y la construcción de una nueva máquina para realizar ensayos, capaz de suministrar mayores cargas, que maneje diversas posibilidades de agarre del elemento a ensayar y que posea mordazas de mayores dimensiones que las que maneja actualmente la máquina del laboratorio.



**Figura 1.1** Máquina actual para Ensayos de Torsión Estática ubicada en el Laboratorio de Diseño de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Central de Venezuela.

## **1.4 OBJETIVOS.**

### **1.4.1 OBJETIVO GENERAL.**

Diseño y construcción de una máquina de ensayos de torsión estática para el Laboratorio de Diseño de la Escuela Ingeniería Mecánica de la Universidad Central de Venezuela.

### **1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Investigar cuales son los parámetros y propiedades de los elementos sometidos a torsión que se determinarán experimentalmente en el ensayo.
- Análisis de las diferentes tecnologías de máquinas de ensayo de torsión estática existentes en el mercado.
- Análisis del equipo que actualmente funciona en el Laboratorio de Diseño.
- Determinar cuales son las necesidades del Laboratorio en relación con la máquina de ensayo de torsión estática, con el fin de determinar la carga máxima de operación y las dimensiones de los elementos a ensayar.
- Identificación e investigación de usuarios y análisis de los parámetros ergonómicos involucrados en el problema.
- Establecer las especificaciones técnicas de la máquina de torsión estática.
- Proponer diferentes conceptos solución, utilizando técnicas de creatividad, tal como tormenta de ideas, análisis morfológico, analogías, inversión, etc., seleccionando la mejor solución sobre la base de criterios previamente establecidos.
- Selección de la forma final de los diferentes elementos estructurales de la máquina y cálculo de esfuerzos a los cuales estarán sometidos.

- Selección de materiales para la construcción de la máquina de torsión estática, considerando las condiciones de carga a las cuales estará sometida, así como los acabados superficiales.
- Selección de los equipos de instrumentación para la adquisición de datos en los ensayos.
- Elaboración de los planos de la máquina.
- Construcción de la máquina de ensayo de torsión estática.
- Elaboración de manuales de operación y mantenimiento.

## **1.5 RECURSOS DISPONIBLES.**

### *RECURSOS BIBLIOGRÁFICOS.*

- Biblioteca Central de la Universidad Central de Venezuela.
- Biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la U.C.V.
- Biblioteca de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la U.C.V.

### *RECURSOS COMPUTACIONALES*

- Paquetes computacionales para el diseño en ingeniería como Autocad 2004, SolidWorks, Inventor, Mechanicals Desktop, etc.

### *RECURSOS TÉCNICOS Y CONSTRUCTIVOS.*

- Diversas máquinas-herramientas de los laboratorios de Diseño y Tecnología Mecánica de la Escuela de Ingeniería Mecánica.

### *RECURSOS MONETARIOS.*

- Aportados por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica.

## 1.6 ALCANCES

- Analizar los aspectos ergonómicos, tecnológicos y de usuarios con el fin de establecer las especificaciones de la máquina de torsión estática a diseñar.
- Establecer las especificaciones técnicas de la máquina de torsión estática.
- Proponer diferentes conceptos solución, utilizando técnicas de creatividad, y seleccionar la mejor solución sobre la base de criterios previamente establecidos.
- Selección de la forma final de los diferentes elementos estructurales de la máquina y cálculo de esfuerzos a los cuales estarán sometidos.
- Selección de materiales para la construcción de la máquina de torsión estática, considerando las condiciones de carga a las cuales estará sometida, así como los acabados superficiales.
- Selección de los equipos de instrumentación para la adquisición de datos en los ensayos.
- Elaboración de los planos de la máquina.
- Construcción de la máquina de ensayo de torsión estática.
- Elaboración de manuales de operación y mantenimiento.

## CAPÍTULO II

### ENSAYO DE TORSIÓN ESTÁTICA.

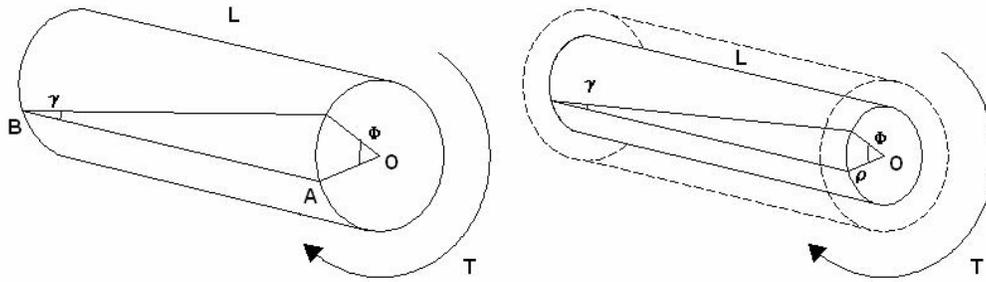
#### 2.1 INTRODUCCIÓN.

Es importante al realizar la construcción de una máquina, revisar los aspectos teóricos relacionados con las tareas que va a ejecutar dicho equipo. En este capítulo se muestran los aspectos teóricos sobre Torsión, de manera de tener claro el fenómeno que se va medir con la máquina que se pretende construir.

#### 2.2 TORSIÓN ESTÁTICA.<sup>(1)</sup>

La torsión se refiere a la deformación que aparece en un sólido cuando una parte de él es sometida a un movimiento de rotación, en tanto que el resto permanece fijo. Los elementos sometidos a torsión se encuentran en muchas situaciones y en diversos tipos de máquinas. La aplicación más común se observa en los ejes de transmisión que se usan para transferir potencia de un punto a otro.

Si se supone un eje circular unido a un soporte fijo en un extremo, y se le aplica un torque  $T$  en el otro extremo, el eje queda sometido a *torsión* y su extremo libre rota un ángulo  $\phi$  llamado *ángulo de torsión*. Dentro de ciertos límites, el ángulo de torsión es proporcional a  $T$ . Generalmente cuando se estudia la Torsión los propósitos son: encontrar una relación entre  $\phi$ , la longitud del elemento  $L$  y el torque aplicado  $T$ , y determinar la distribución de esfuerzos cortantes en el elemento, en este caso de supuesto, el eje.



**Figura 2.1** Eje sometido a torsión.

En la figura 2.1 se observa un eje circular de longitud  $L$  y radio  $c$  que se ha sometido a un ángulo de torsión  $\phi$ , si se extrae de él un cilindro de radio  $\rho$  y se considera un elemento cuadrado formado por dos círculos adyacentes y dos rectas adyacentes en la superficie del cilindro. Se observa que al someter ese eje a torsión, el elemento se transforma en un rombo. La deformación cortante a la cual está sometido ese elemento se mide en los ángulos formados por los lados del elemento, por consiguiente el valor de la deformación cortante  $\gamma$  será:

$$\gamma = \frac{\rho \times \phi}{L} \quad \text{Ecuación 2.1}$$

Donde los valores de  $\phi$  y  $\rho$  se expresan en radianes. La ecuación 2.1 demuestra que la deformación cortante  $\gamma$  en un punto dado de un eje sometido a torsión es proporcional al ángulo de torsión  $\phi$ . También demuestra que  $\gamma$  es proporcional a la distancia  $\rho$  desde el eje hasta el punto considerado. Finalmente se puede concluir que la deformación cortante en un eje circular varía linealmente con la distancia al centro del eje. Por lo tanto si se considera que la deformación cortante máxima se presenta en la superficie de dicho eje y que a partir de eso  $\rho = c$ .

$$\gamma_{\max} = \frac{c \times \phi}{L} \quad \text{Ecuación 2.2}$$

*Esfuerzos en el Rango Elástico.*

Si se considera el caso en el cual el torque T es tal que todos los esfuerzos cortantes permanecen por debajo del límite de fluencia, se sabe entonces que los esfuerzos en el eje permanecerán por debajo del límite de proporcionalidad y del límite elástico también. Aplicando la Ley de Hooke y sin la existencia de deformaciones permanentes.

$$\text{Ley de Hooke.} \quad \tau = G \times \gamma \quad \text{Ecuación 2.3}$$

Donde G es el Módulo de Rigidez del material, si se considera la ecuación 2.2 se tiene que:

$$G \times \gamma = \frac{\rho}{c} \times (G \times \gamma_{\max}) \quad \text{Ecuación 2.4}$$

Finalmente,

$$\tau = \frac{\rho}{c} \times \tau_{\max} \quad \text{Ecuación 2.5}$$

La ecuación muestra que mientras no se exceda el límite de fluencia en alguna parte del eje circular, el esfuerzo cortante en el eje varía linealmente con la distancia  $\rho$  al centro del eje. Si se considera la distribución de la fuerza internamente en el eje, se debe tomar en cuenta el momento polar de inercia J de la sección transversal con respecto al centro del eje. Tal situación hace que la expresión del esfuerzo cortante a cualquier distancia  $\rho$  del centro del eje se exprese como:

$$\tau = \frac{(T \times \rho)}{J}$$

Los materiales dúctiles fallan generalmente por un esfuerzo cortante. Por

consiguiente cuando se somete una probeta hecha con un material dúctil, se rompe en el plano perpendicular a su eje longitudinal; en cambio los materiales frágiles son más débiles a tensión que a esfuerzo cortante. Por lo tanto al someter una probeta construida de un material frágil, tiende a fallar en las superficies perpendiculares a la dirección en que la tensión es máxima, es decir, en las superficies que forman 45° con el eje longitudinal de la probeta.

### *Ángulo de Torsión en el Rango Elástico*

Si se mantienen las mismas suposiciones hechas en los párrafos anteriores, la Ley de Hooke es válida, por lo tanto la expresión de la deformación cortante será:

$$\tau_{\max} = \frac{\tau_{\max}}{G} = \frac{T \times c}{J \times G} \quad \text{Ecuación 2.6}$$

Entonces la ecuación que describe el ángulo de Torsión queda:

$$\varphi = \frac{T \times c}{J \times G} \quad \text{Ecuación 2.7}$$

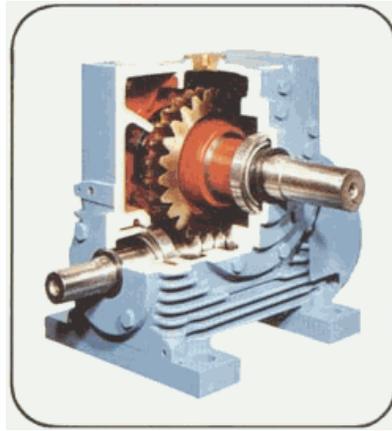
Donde  $\varphi$  está en radianes. Dicha relación muestra que dentro del rango elástico, el ángulo de torsión es proporcional al torque T aplicado. Con la ecuación 2.7 se puede determinar el módulo de rigidez de un material, utilizando una máquina para prueba de Torsión, pues sobre una probeta cilíndrica se aplica un torque T de magnitud creciente, y se registran los valores correspondientes del ángulo de torsión  $\varphi$  en una longitud L. Mientras no se exceda el esfuerzo de fluencia del material, los puntos obtenidos al trazar T vs.  $\varphi$  se localizarán en una línea recta. La pendiente de esta línea representa la cantidad  $J \cdot G / L$ , de la cual puede calcularse el módulo de rigidez G.

## **MÉTODO DE ENSAYO DE TORSIÓN ESTÁTICA.**

El Método de Ensayo de Torsión Estática consiste en la obtención del módulo de corte o módulo de rigidez experimental de un material siempre que sea ensayado en su rango elástico por medio de la aplicación de un momento torsor en una máquina diseñada para tal fin. El ensayo de torsión se logra aplicando un par de fuerzas o momento de torsión a extremo de una probeta circular en un plano perpendicular al eje de la misma, esta aplicación del momento se realiza en un extremo de la probeta mientras el otro extremo se mantiene fijo o empotrado.

La máquina general de ensayo de torsión consta de una base rígida que puede ser de forma circular o romboidal que hace de bancada para la máquina en general, sobre ella se encuentran varios dispositivos como lo son: una caja reductora, dos mordazas para la sujeción de la probetas, el instrumento de medición del torque aplicado, el instrumento de medición para el ángulo de torsión, un contador de vueltas para el eje de entrada de la caja reductora y niveladores de burbuja para equilibrar la máquina antes y después del ser aplicadas las fuerzas de torsión.

El cabezal donde esta montada la caja reductora se mueve a todo lo largo de la bancada de la máquina, esto es para fijar la posición necesaria del cabezal según el largo de la probeta a ensayar. La aplicación de la fuerza se logra básicamente por medio de una caja reductora de fuerzas que generalmente es de tornillo sin fin con relación de transmisión de 60:1, esto quiere decir que por cada sesenta vueltas completas del eje de entrada de la caja el eje de salida da una vuelta completa. Este tipo de caja reductora tiene la ventaja de que solo pueden ser aplicados giros desde su eje de entrada puesto que la operación inversa no puede realizarse ya que la configuración del tornillo sin fin no permite el movimiento de reversa desde el eje de salida de la caja, lo que la hace perfecta para la aplicación del torque a la probeta.



**Figura 2.2** Caja reductora de tornillo sin fin

Una vez sujeta la probeta entre las dos mordazas y sin aplicar ninguna fuerza se nivela o equilibra la maquina horizontalmente por medio de los niveladores de burbuja, también se debe poner en cero el instrumento medidor de torque así como el medidor de ángulo. Se hace girar la probeta con el volante de entrada de la caja reductora, los dos extremos de la probeta giran obteniéndose así en ángulo de torsión al cual se esta sometiendo el material, este ángulo es leído directamente del instrumento que esta fijado a el eje de salida de la caja reductora y a la mordaza, luego por medio de un dispositivo que consta de un volante, un tornillo sin fin y el instrumento de medición de torque se realiza la torsión de la probeta haciendo girar en sentido contrario al inicial suministrado por la caja reductora, este movimiento de giro inverso es el que hace registrar la cantidad de torque aplicado a la probeta puesto que la mordaza empotrada en la caja reductora no gira por efecto del tornillo sin fin mientras el otro extremo de la probeta si, allí es tomada la lectura del torque aplicado a la probeta.

Una vez obtenidos los valores del ángulo de torsión y sus respectivos valores de momento torsor se puede graficar la curva característica del material de la probeta, así como también por las ecuaciones antes mencionadas se puede obtener el modulo rigidez o modulo corte del material.

## **CAPÍTULO III**

### **ESTUDIO DE LAS TECNOLOGIAS DE MÁQUINAS DE ENSAYO DE TORSIÓN ESTÁTICA EXISTENTES.**

#### **3.1 INTRODUCCIÓN.**

Hoy en día para la fabricación de muchos elementos de máquinas, para servicios de pruebas a elementos de máquinas o con intenciones meramente académicas, se realizan ensayos de torsión a piezas y/o probetas. Existen diversas empresas a nivel mundial que se encargan de fabricar y comercializar máquinas de ensayo de torsión estática, dichas marcas poseen diversos modelos para diferentes capacidades o aplicaciones del ensayo. El objetivo de este capítulo es realizar un estudio de las tecnologías existentes actualmente en el mercado de las máquinas de ensayo de torsión estática, esto con el fin de realizar un diseño actualizado y acorde con las exigencias de hoy en día.

#### **3.2 FICHAS TECNOLÓGICAS.**

La mejor manera de hacer un análisis ordenado de un producto, es elaborar una ficha de análisis tecnológico donde se coloquen los aspectos más resaltantes de la máquina que puedan ayudar en el diseño. A continuación se presentan las fichas de los equipos analizados según los datos que comercialmente son aportados por las casa fabricantes.

**Tabla 3.1** Tecquipment – Máquina para Ensayo de Torsión SM1.

Autor	Tecquipment
Dimensiones	1550 x 360 x 400 mm 33 Kg. Peso Bruto. 0,3 m <sup>2</sup>
Material	Acero – Aluminio - Plástico
Apariencia	La máquina está pintada de negro y algunos de sus acabados son con la apariencia del metal.
Manufactura	Acabados hechos con máquinas herramientas, y con equipos de producción en serie.
Funcionamiento	Se opera manualmente, al girar un volante se le aplica torque a la probeta que por el otro extremo se encuentra sujeta por una mordaza que está unida a un volante de calibración, el cual al nivelar el brazo móvil hace que se registre en un medidor de aguja la torsión, el ángulo y la deformación se miden en discos graduados. También posee un sistema donde se pueden colgar pesas de calibración, en el caso que se desee sustituir el efecto del volante de calibración. Acepta probetas hasta de 750 mm. Capacidad 30 N*m.
Vida	Diseñada bajo vida infinita, pero con 2 años de garantía.
Acabados	Posee acabados de calidad, pintada con pistola neumática y con distintivos y calcomanías
Mantenimiento	Posee un manual de mantenimiento que se suministra con la compra.
Confiabilidad	Puede ser utilizada hasta que la probeta rompa, realizando una medición precisa.
Embalaje	Es desarmable y se embala en una caja de aprox. 60 Kg.
Ergonomía	Buen diseño ergonómico con todos los controles en buena ubicación. Se pueden añadir medidores de torsión digital.
Patentes	Cumple con las directivas de seguridad de EEC. Todos los derechos de Tecquipment- England. Certificada con la ISO 9001
Ruido	Produce menos de 70 dB. durante su operación
Historia	Es la continuación de los modelos fabricados anteriormente (uno de sus predecesores es la máquina presente en el laboratorio de diseño)

**Tabla 3.2** TERCO AB. - MT3005 Máquina para Ensayo de Torsión y Flexión.

Autor	TERCO AB
Dimensiones	790 x 225 x 345 mm 13 Kg. Bruto.
Material	Acero – Aluminio – Plástico.
Apariencia	Sus acabados son con la apariencia del metal.
Manufactura	Acabados bastante sencillos, máquina carece de robustez. Las piezas son de geometría sencilla.
Funcionamiento	La máquina puede ser usada para ensayos de torsión y ensayos de flexión. Consta de dos mordazas que deslizan sobre un par de rieles, la torsión se aplica colocando pesos a un extremo de un volante, en el cual se encuentra un torsímetro el cual registra la medición. Distancia máxima entre soportes 600 mm. Su uso es meramente académico. Se suministran pesos variados para realizar el ensayo de torsión.
Vida	Bajo vida infinita.
Acabados	Piezas pulidas y pintadas.
Mantenimiento	El mantenimiento se limita a la limpieza de las partes.
Confiabilidad	Precisión de 0.01 grados (para la torsión)
Embalaje	Desarmable y puede colocarse en una caja relativamente pequeña.
Costos	No suministrados
Ergonomía	El diseño no muestra mucha dedicación a la ergonomía, pero es de un uso sencillo para el operador.
Patentes	TERCO AB – Estocolmo, Suecia.
Estética	Sus acabados son básicos, lo que le da sencillez al modelo.
Historia	No se suministran datos, pero la casa fabricante es especialista en equipos para laboratorio, por lo tanto con seguridad deben haber modelos predecesores fabricados para el mismo fin por esa empresa.
Moda	Posee un diseño sencillo.

**Tabla 3.3** Cooper Instrument and Systems. - TSTMH

Autor	Cooper Instrument and Systems
Dimensiones	30,4" x 5,95" x 10"
Material	Acero - Plástico
Apariencia	Acabados industriales de pocos detalles.
Manufactura	Las piezas del equipo están elaboradas con máquinas herramientas, como taladros y fresadoras.
Funcionamiento	Se ajusta la probeta en los mandriles del equipo, al ser ajustada un motor eléctrico aplica la fuerza de torsión, dicha fuerza es registrada en un medidor digital que a su vez da el valor de la deformación. Capacidad 11.3 N*m. Máxima apertura entre mandriles 394 mm.
Vida	Infinita.
Acabados	Los acabados son rectos, propios de los hechos por una máquina fresadora. Está pintada en dos colores (Gris y Negro)
Mantenimiento	Limpieza y lubricación de los elementos. El cuidado respectivo al motor eléctrico.
Confiabilidad	La apreciación de la deformación es de 2°
Embalaje	Totalmente desarmable
Costos	No suministrados
Ergonomía	La realización del ensayo es bastante sencilla, el operador prácticamente se limita a colocar la probeta y leer la medición en el equipo digital.
Patentes	Cooper Instrument and System.- USA
Estética	Sin grandes detalles estéticos pero de apariencia agradable.
Historia	Pertenece a una línea de equipos de medición de propiedades de materiales para laboratorio. Existe también en el mercado una compañera con las mismas capacidades pero con disposición vertical la TSTM.
Moda	El diseño es moderno, tiende a ser como las máquinas industriales, pero de un tamaño pequeño.

### 3.3 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN RECOPIADA.

Luego de haber hecho la investigación tecnológica notamos que existen variadas opciones en el mercado al momento de comprar una máquina de ensayo de torsión. Se hallan diferencias notables entre las máquinas dependiendo del uso al que se les vaya a someter. Existen los equipos con fines demostrativos o académicos, donde se busca mostrar el fenómeno de la torsión en una probeta, estos equipos son bastante sencillos, algunos no aplican gran carga a las probetas o usan probetas bastante pequeñas para provocar la ruptura con poca carga, tal como se nota en la máquina fabricada por TERCO AB. Hay un segundo grupo donde se encuentran máquinas que pueden ser usadas tanto para fines académicos, como para la investigación o el estudio de materiales para los fabricantes de piezas, la máquina de TECQUIPMENT es una máquina de una capacidad apreciable, con un tamaño adecuado para ensayar probetas pequeñas y relativamente grandes; hace las medición con bastante exactitud y posee elementos de diseño que considera adaptaciones ergonómicas importantes con respecto a sus predecesoras con capacidades similares (incluyendo la máquina de la misma marca presente en laboratorio). Finalmente se consiguió un grupo de pequeñas máquinas para medir torsión donde un pequeño motor eléctrico es el que aplica la fuerza y donde generalmente la medición se realiza a través de un equipo digital, representada en este caso por la máquina de COOPER INSTRUMENT, dicha máquina también tiene la posibilidad de aplicar el torque manualmente, su capacidad es algo baja con respecto a las estudiadas anteriormente 11.3 N\*m, pero en cuanto a la medición del torque se obtiene un poco más de precisión que las otras, lo desfavorable es su pequeño tamaño, prácticamente la mitad de las otras dos.

Se observó que las tecnologías existentes actualmente con respecto a este tipo de máquinas tiene cuidado en la precisión de los elementos de la máquina, para evitar que se aumente la incertidumbre en la medición. También se notó que existe cuidado por dar los detalles de los elementos de las máquinas y su mantenimiento, además de las capacidades y los tipos de probetas que se pueden ensayar con las mismas.

## **CAPÍTULO IV**

### **ESTUDIO DE USUARIOS E INVESTIGACIÓN ERGONÓMICA.**

#### **4.1 INTRODUCCIÓN.**

En este capítulo se expondrán los resultados obtenidos de la investigación de usuarios así como de los parámetros ergonómicos que se deben tomar en cuenta al diseñar una máquina de ensayo de torsión estática. Los pasos a seguir serán: identificar el universo de personas que son usuarios de la máquina de ensayo de torsión estática que actualmente se encuentra en el laboratorio, con el fin de descubrir sus necesidades con respecto a la máquina y luego determinar la interrelación entre el operador y la máquina, para establecer los nuevos parámetros ergonómicos necesarios en el diseño.

#### **4.2 INVESTIGACION DE USUARIOS.**

La máquina de ensayo de torsión estática está ubicada en el Laboratorio de Diseño, el universo de usuarios lo comprenden principalmente los profesores del departamento de diseño, los preparadores de cada cátedra que poseen horas de laboratorio. La máquina es usada específicamente para demostrar el efecto de la torsión sobre una probeta cuando esta falla debido a la fatiga producida por la carga de torsión. Los diferentes materiales de las probetas permiten estudiar el efecto de la torsión en cada uno de ellos independientemente. En base a los usuarios citados anteriormente se realizaron entrevistas con la finalidad de obtener las impresiones de ellos acerca de la máquina que funciona actualmente, y lo que esperarían de una nueva máquina. Se establecieron los siguientes criterios:

#### 4.2.1 DESEMPEÑO FUNCIONAL

La máquina de torsión estática requiere de una transmisión de fuerza por parte del operador, hacia el volante de la máquina, dicha fuerza es transformada y transmitida a la probeta. Para los usuarios actuales de la máquina esta fuerza no representa un esfuerzo de gran cuantía, por lo tanto pueden realizar los ensayos con comodidad por lo menos en lo que se refiere a dicho aspecto. Se conoció que la fuerza máxima recomendada al momento de realizar este tipo de esfuerzos, va depender de los grados de inclinación del brazo y el tipo de movimiento que se hace <sup>(4)</sup>, lo cual nos permite establecer un parámetro en el punto de partida de aplicación de la fuerza con respecto a la capacidad de torque de la máquina a diseñar.

Por otra parte la lectura de la información que entrega la máquina si fue un punto de mayor discusión. Se conoció que existen ensayos en los cuales el material alcanza su deformación plástica a niveles bastante bajos de deformación, es decir que es probable hacer un ensayo en el cual la probeta se deforme plásticamente al girar apenas uno de sus extremos en  $\frac{1}{2}$  grado. Dicha situación añade incertidumbre a la medición y no permite establecer con exactitud el punto de transición de deformación elástica a plástica de dichos materiales. Esa situación despertó la inquietud en los usuarios entrevistados sobre lo que se podría hacer para dar una mayor exactitud a la lectura de la deformación que se hace en grados.

Finalmente para el aspecto del desempeño funcional, no se tuvieron comentarios en cuanto a la dificultad de colocar la probeta en las mordazas del equipo, inclusive usuarios zurdos no reportaron incomodidad para realizar dicha operación. Los pasos que se requieren para realizar el ensayo con la máquina de torsión estática son los siguientes:

- 1.\_ Fijar la probeta a ensayar en los cabezales por medio de las mordazas.
- 2.\_ Fijar el cabezal móvil.
- 3.\_ Colocar la balanza sin la carga y el contador de vueltas ambos calibrados en cero.

- 4.\_ Ajustar en cero los diales de los ángulos de manera que el nivel esté centrado sin ninguna carga.
- 5.\_ Girar la probeta con la máquina un cierto ángulo.
- 6.\_ Se nivela el brazo móvil a través del volante que sostiene la balanza.
- 7.\_ Se procede a tomar las mediciones de ángulo y torque.

#### 4.2.2 REQUERIMIENTOS FÍSICOS.

La estación de trabajo debe ser un espacio en el cual el operador pueda realizar cómodamente su trabajo. Esto se refiere a que el operador posea un espacio lo suficientemente grande para desplazarse libremente, el equipo y los controles del mismo deben encontrarse a una altura adecuada, para evitar incomodidad al momento de operar la máquina o al realizar alguna lectura de datos. La posición en la que se realiza el ensayo es tal que los brazos forman un ángulo entre 120° y 150° con respecto a la cabeza, y el movimiento de las manos puede hacerse se arriba hacia abajo, o hacia delante y hacia atrás <sup>(4)</sup>. Tales movimientos limitan los valores de fuerza que un individuo debe aplicar al operar una máquina, para este caso específico se observan los valores en la tabla siguiente.

**Tabla 4.1** Fuerzas permisibles a aplicar por un individuo con el brazo. <sup>(4)</sup>

Ángulo del Brazo	Brazo Izquierdo	Brazo Derecho	Brazo Izquierdo	Brazo Derecho
	<b>Subir</b>		<b>Bajar</b>	
150°	231 N.	249 N.	182 N.	209 N.
120°	240 N.	266 N.	226 N.	257 N.
	<b>Halar</b>		<b>Empujar</b>	
150°	498 N.	542 N.	493 N.	547 N.
120°	418 N.	462 N.	440 N.	458 N.

### 4.2.3 FACTORES HUMANOS.

Los factores humanos están relacionados con la percepción que tiene el usuario de dicha máquina, la coincidencia en las opiniones de los entrevistados giró en torno a la apariencia de la máquina. La máquina que está actualmente en funcionamiento tiene bastante tiempo de haber sido construida, inclusive aparece data de esta máquina en un trabajo de grado hecho en 1969, por lo tanto su apariencia en cuanto a los acabados se ha deteriorado con el paso de los años, además su diseño que probablemente fue bastante moderno en la época de su construcción actualmente no resulta muy atractivo a los usuarios de hoy en día.

Probablemente en esa época no existían instrumentos de medición que pudieran hacerse de un tamaño pequeño y ser confiables, o hacerlos de un tamaño menor hubiese aumentado mucho el costo del equipo. Para los usuarios actuales las dimensiones del medidor de torsión resultan incómodas no solo a la vista por su semejanza con un “peso de mercado”, sino porque hacen la medición incómoda al obligar al operador a mantener sus brazos elevados mientras gira el volante de calibración que actúa sobre dicho medidor para arrojar una lectura de torque.

Una apariencia limpia en la máquina y un buen acabado entre las partes móviles que están en contacto en la máquina, son requerimientos indispensables para que el cabezal móvil de la máquina se desplace con libertad sobre el carril. El equipar la máquina con controles y medidores con cierto grado de automatización añadiría confianza en la medición. Los usuarios manifestaron su incertidumbre en cuanto al funcionamiento de elementos como el contador de revoluciones, sobretodo en los momentos en los cuales ni siquiera se llega a dar una vuelta al volante de carga.

Otro deseo de los usuarios es contar con una máquina que le permita realizar la mayor cantidad de ensayos posible relacionados con torsión, de manera tal de contar con un máquina que ofrezca versatilidad al momento de ser utilizada. El mantenimiento de la máquina también es un punto importante, en el cual la persona que está en contacto con dicho equipo, desea que se pueda realizar con facilidad y

evitando en lo posible procedimientos engorrosos, además el contar con rutinas de mantenimiento y una tabla de posibles problemas con sus respectivas soluciones son valiosas para reducir el tiempo de mantenimiento y de parada del quipo.

### **4.3 ERGONOMÍA**

La ergonomía trata de los factores existentes en la relación hombre-máquina-entorno que conlleven a una operación bien ordenada y que no presente ningún problema hacia la integridad física o psicológica del operador de un equipo o del trabajador en una estación de trabajo. Entiéndanse como factores todos aquellos con los que tiene contacto directo el trabajador, sean estos tangibles o intangibles. Como tangibles se pueden distinguir las características físicas de la máquina y su adaptabilidad a las dimensiones y formas del trabajador; las intangibles están relacionadas con la mente, con lo que este siente, percibe, etc. La ergonomía sirve para que todos los factores en juego dentro de una actividad estén presentes de tal manera que el operador y la máquina desempeñen funciones en un ambiente de acuerdo a sus necesidades. Por otro lado, la máquina también debe estar acorde a las características y dimensiones físicas del trabajador tanto como a sus movimientos, por lo que esta también tiene que ser adaptada ya sea por modificaciones en su estructura o en la forma en la que funciona.

El uso de la ergonomía en el diseño de un equipo está estrechamente ligado a la consideración de la antropometría. Al diseñar cualquier máquina que va a ser utilizada por una persona debe considerarse la ocupación física del cuerpo sobre dicha máquina. El estudio de la medida de las partes del cuerpo es tarea de la *antropometría*, la cual parte de la antropología física. Bien se sabe que no todas las personas cuentan con las mismas dimensiones, todos somos diferentes, más cuando se comparan personas de sexos distintos, razas y edades distintas. Tener en cuenta estas dimensiones abre más posibilidades a la adaptabilidad y a la ergonomía enfocada hacia la persona.

**Tabla 4.2** Algunas dimensiones estructurales combinadas del cuerpo humano<sup>(10)</sup>

	<b>Hombres</b>		<b>Mujeres</b>	
	95 %	5%	95%	5%
 <p>Alcance punta de Mano</p>	35,0 pulg. 88,9 cm.	29,7 pulg. 75,4 cm.	31,7 pulg. 80,5 cm.	26,6 pulg. 67,6 cm.
 <p>Alcance Lateral</p>	39 pulg. 99,6 cm.	29,0 pulg. 73,7 cm.	38 pulg. 96,5 cm.	27 pulg. 68,6 cm.
 <p>Alcance Vertical</p>	88,5 pulg. 224,8 cm.	76,8 pulg. 195,1 cm.	80 pulg. 213,4 cm.	72,9 pulg. 185,2 cm.
 <p>Altura de Codo</p>	47,3 pulg. 120,1 cm.	41,3 pulg. 104,9 cm.	43,6 pulg. 110,7 cm.	38,6 pulg. 98 cm.
 <p>Altura de los ojos</p>	68,6 pulg. 174,2 cm.	60,8 pulg. 154,4 cm.	64,1 pulg. 162,8 cm.	56,3 pulg. 143 cm.

La consideración de la antropometría da respuestas y sugerencias de lo que se debe hacer cuando se está en el proceso de toma de decisiones al momento de realizar el diseño de aparatos o máquinas usadas por hombres y mujeres, inclusive niños o discapacitados. Ciertas posiciones del cuerpo pueden hacer que el cansancio sea menor o sea nulo si se hacen trabajar los músculos correctos para realizar una actividad.

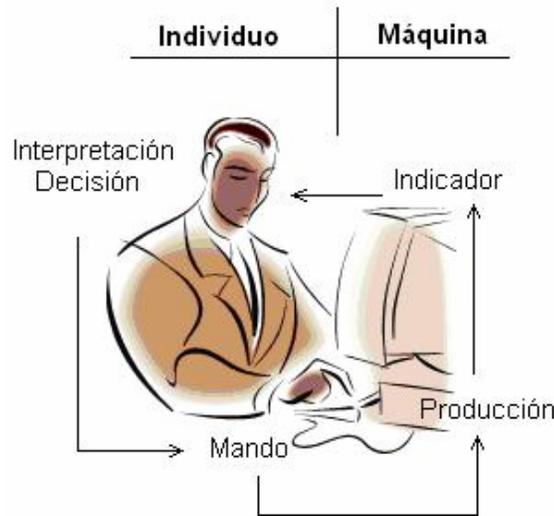
En el caso de este trabajo especial se grado se va a desarrollar el diseño de una máquina para ensayos de Torsión Estática, en el diseño de la máquina desde el punto de vista ergonómico debe tomarse en cuenta hasta la posición que el operador adopta durante el ensayo, pues dependiendo de ésta se deben seguir ciertos factores recomendados:

- Los paneles de control deben estar situados entre los hombros y la cintura.
- Hay que evitar colocar por encima de los hombros objetos o controles que se utilicen a menudo. Es decir a una altura promedio menor a 1,60 m.
- Los objetos deben estar situados lo más cerca posible al alcance del brazo para evitar tener que extender demasiado los brazos para alcanzarlos o sacarlos.
- Se debe que mantener los materiales y herramientas de uso frecuente cerca del cuerpo y frente a él.
- Hay que ajustar la superficie de trabajo para que esté a la altura del codo para la mayoría de las tareas generales. La altura máxima que se suele considerar del suelo al codo para un hombre suele ser 1,20 m. y para una mujer 1,10 m.
- Cuidar de que los objetos que haya que levantar estén a una altura situada entre la mano y los hombros. Entre 1,60 y 0,91 m.
- Las asas, las agarraderas y los mangos deben ajustarse a las manos. Hacen falta asas pequeñas para manos pequeñas y mayores para manos mayores.
- Hay que dejar espacio de trabajo bastante para las manos más grandes.
- El operador no debe tener que estirarse para realizar sus tareas. Así pues, el trabajo deberá ser realizado a una distancia de 20 a 30 centímetros frente al cuerpo.

#### **4.3.1 ERGONOMÍA DE LOS CONTROLES Y MANDOS DE LA MÁQUINA.**

El sistema hombre - máquina es una combinación de uno o más seres humanos y uno o más componentes físicos, que actúan recíprocamente para efectuar,

a partir de unas entradas de energía e información determinadas, una tarea. Esta interrelación implica un circuito de comunicación en el que la persona ocupa una posición clave: a ella lo corresponde tomar las decisiones.



**Figura 4.1** Sistema de Comunicación Individuo-Máquina.

Cuando se hace el estudio ergonómico de estas comunicaciones se debe buscar los datos que permitan la mejor adaptación posible de los dos componentes del sistema, evitando los errores en la transmisión y la interpretación de la información. Los mandos representan el último eslabón en este circuito de informaciones; unos mandos mal diseñados pueden ocasionar distorsiones en el sistema.

En la mayoría de los casos las posibles limitaciones para un trabajo eficiente del sistema hombre-máquina residen en la capacidad de la persona para utilizar el cuerpo de manera adecuada. La antropometría aporta los datos necesarios en ese aspecto para adaptar la máquina al individuo con el fin de diseñar un sistema que respete las capacidades físicas de la persona, en cuanto a tipo de mandos, tamaño y ubicación de los mismos, ya que el alcance, la velocidad, la precisión y la fuerza del movimiento dependen de la parte del cuerpo utilizada. La ergonomía utiliza los datos de la antropometría para adaptar las máquinas y el entorno a las personas, basándose en la parte del cuerpo que va a ser utilizada.

*Tipos de mandos.*

Mandos utilizados en momentos concretos.

- Activación.
- Entrada de datos.
- Selección (de un punto determinado).

Mandos utilizados en acciones continuas.

- Selección continua.
- Control continuo (intervención continua en la máquina).

Para la selección del tipo de mando según el uso del mismo, se cuentan con tablas

**Tabla 4.3** Clasificación de los tipos del tipo de control según su accionamiento <sup>(10)</sup>.

Tipo de control	Accionamiento Puntual			Accionamiento Continuo	
	Activación	Entrada de datos	Selección	Selección continua	Control continuo
Pulsador manual	Excelente	Bueno	Malo	No aplicable	No aplicable
Pulsador de palanca	Bueno	No aplicable	Malo	No aplicable	No aplicable
Pulsador de pie	Posible activación accidental	No aplicable	Bueno	No aplicable	No aplicable
Interruptor giratorio	Pueden confundirse sus posiciones	No aplicable	Excelente	No aplicable	No aplicable
Botón	No aplicable	No aplicable	Pobre	Bueno	Regular
Manivela	Solo en caso de aplicar mucha fuerza	No aplicable	No aplicable	Regular	Bueno
Volante	No aplicable	No aplicable	No aplicable	Bueno	Excelente
Palanca	Buena	No aplicable	Buena	Buena	Buena
Pedal	Regular	No aplicable	No aplicable	Bueno	Regular

Existe también otra clasificación de los mandos, pero esta está basada en el esfuerzo que debe realizar el operador:

Mandos que exigen un esfuerzo muscular pequeño.

- Botones.
- Teclas.
- Interruptores.

Mandos que exigen un cierto esfuerzo muscular. (Haciendo intervenir grupos importantes de músculos de brazos y piernas)

- Palancas.
- Manivelas.
- Volantes
- Pedales.

La recomendación de la respuesta de cada tipo de mando según la rapidez de respuesta, la precisión y la fuerza exigida se recoge en la siguiente tabla:

**Tabla 4.4** Cualidades de los tipos de controles.

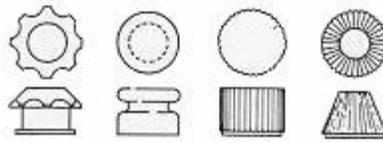
<b>Tipo de Control</b>	<b>Rapidez</b>	<b>Precisión</b>	<b>Fuerza</b>
Manivela: Pequeña	Buena	Pobre	No adecuada
Grande	Pobre	No adecuada	Buena
Volante	Pobre	Buena	Utilizable
Botón	No utilizable	Regular	No utilizable
Palanca: Horizontal	Buena	Pobre	Pobre
Vertical	Buena	Regular	Corta: Pobre
(perpendicular al cuerpo)	Regular	Regular	Larga: Buena
Vertical	Buena	Regular	Regular
(siguiendo el cuerpo)	Buena	Regular	Pobre
“Joystick”	Buena	Regular	Buena
Pedal	Buena	Pobre	Buena
Pulsador	Buena	No utilizable	No utilizable
Interruptor Giratorio	Buena	Buena	No utilizable
Interruptor de Palanca	Buena	Buena	Pobre

Estas dos variables, acción requerida y función que cumple el mando, determinarán el mando a utilizar así como el tamaño y dimensiones del mismo, que evidentemente deberán corresponderse con los datos antropométricos de los miembros del cuerpo a utilizar. En el momento del diseño, y haciendo referencia al tamaño, hay que considerar si se utilizan o no prendas de protección personal, principalmente guantes o botas de seguridad, en cuyo caso deberá preverse una mayor holgura que permita el manejo del mando.

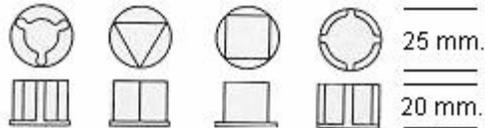
### *Diferenciación*

Las máquinas que son utilizadas en las aplicaciones de ingeniería suelen estar provistos de numerosos mandos, cada uno de los cuales cumple una función distinta. Es importante pues que los mandos puedan ser identificados y diferenciados sin dificultad. Para ello existen distintos criterios:

- La estructura o el material; la textura del material empleado, o del propio mando (liso, estriado, rugoso) puede ayudar a identificarlo, especialmente cuando una operación se realiza "a ciegas", sin fijar la vista en el mando. (Figura 4.2)
- El color está indicado cuando se encuentra en el campo visual; si la iluminación es tenue deberá disponerse de iluminación localizada.
- El tamaño: Da información visual y táctil aunque generalmente, por sí mismo, no es tan fiable como la forma o el color. La diferencia de tamaño ha de ser tal que puedan distinguirse fácilmente unos de otros, lo que puede resultar en un tamaño inadecuado para el movimiento requerido.



**Botones de Rotación Múltiple**



**Botones de Rotación Fraccional**

**Figura 4.2** Diferenciación de los mandos según su estructura <sup>(10)</sup>.

*Posición de los controles.*

La posición de los controles es de suma importancia. Un espacio demasiado amplio entre ellos obligará a movimientos innecesarios, mientras que un espacio reducido puede provocar errores. El espacio mínimo depende del tipo de mandos, y por tanto, de la parte del cuerpo utilizado; de cómo deber ser accionado (sucesivamente, simultáneamente, rara vez) y de si se utiliza o no protección personal.

**Tabla 4.5** Distancias deseables entre mandos en centímetros <sup>(10)</sup>.

Tipo de acción requerida	Dedo		Mano			Pie	
Sucesivamente	2,5	2,5	12,5	12,5	12,5	10	20
Esporádicamente	5	5	10	10	10	15	25
Más de un dedo	1	1,5					

El diseño racional de un panel de mandos facilita su control, reduciendo la fatiga y el riesgo de error debido a una lectura equivocada. Para ello es útil atenerse a los siguientes principios:

- El mando y el indicador correspondiente deben estar situados lo más cerca posible, estando el mando encima o a la izquierda del indicador.
- Si han de estar en dos paneles distintos ha de haber una correspondencia evidente según la situación de cada uno en el panel.
- Cuando una serie de mandos corresponden a una secuencia de operaciones, su situación debe respetar el orden de la secuencia, de izquierda a derecha.
- Si no existe una secuencia temporal se ordenarán siguiendo criterios de frecuencia de uso o importancia, colocando los más utilizados delante del trabajador, y de lado los de uso menos frecuente.

## CAPÍTULO V

### GENERACIÓN DE SOLUCIONES

#### 5.1 INTRODUCCIÓN

Una vez que se han analizado todos los factores correspondientes a los usuarios y a los aspectos ergonómicos, se ha llegado a la instancia de creación. Este capítulo describe el procedimiento usado para conseguir una solución cónsona, con los aspectos antes analizados en los capítulos anteriores. Se especifican que métodos creativos se utilizaron, y las estrategias de diseño en cuanto a los objetivos planteados y las funciones a realizar por la máquina.

#### 5.2 MÉTODO DE DISEÑO.

En la actualidad existen variados métodos de diseño, todos tienen la intención de introducir en el diseño procedimientos que tengan una base lógica. Las bibliografías consultadas describen una amplia gama de métodos de diseño, pero estos pueden clasificarse en cuatro grandes grupos <sup>(2)</sup>:

*Métodos para explorar las situaciones de diseño:* Son los utilizados en las fases investigativas, su principal objetivo es recopilar la mayor cantidad de información útil, haciendo entrevistas, revisando bibliografías y planteando los objetivos primarios.

*Métodos de búsqueda de ideas:* Representan la fase creativa básica al momento de diseñar, sus objetivos son estimular a los diseñadores a expresar sus ideas y a ampliar

el área de búsqueda de soluciones a un problema, así como despejar los caminos aparentemente cerrados al diseñar.

*Métodos de exploración de la estructura del problema:* Con estos se realiza una búsqueda sistemática de las conexiones entre los elementos de un problema, también buscan dividir el problema de diseño en varias partes para facilitar su solución. Inclusive con estos métodos se trata de transformar las propuestas iniciales para eliminar sus posibles fallas.

*Métodos de evaluación:* Finalmente se debe dar una ponderación a las alternativas que se generaron gracias a los métodos anteriores. En este caso se usan los métodos de evaluación, con ellos se establecen los criterios para comparar las alternativas y decidir el criterio que decidirá si un diseño es aceptable o no.

Es evidente que a esta altura del trabajo se han usado los métodos para explorar las situaciones de diseño, específicamente el planteamiento de objetivos, las consultas bibliográficas, la entrevista de usuarios, el estudio del comportamiento de los usuarios y el estudio de los factores ergonómicos que se deben considerar al diseñar una máquina de este estilo. Esta etapa del diseño requiere ahora búsqueda de ideas para diseñar la nueva máquina de ensayo de torsión estática, se utilizará la técnica de la Tormenta de Ideas (Brain Storming). Dicha técnica será útil al momento de crear tanto la forma de la máquina como un conjunto así como para cada uno de los elementos que compondrán a la máquina.

### **5.3 CLARIFICACION DE OBJETIVOS.**

El proceso de diseño llega ahora al nivel donde los métodos creativos deben coexistir con los métodos de diseño con un marco de referencia lógico. Estos últimos son métodos sistemáticos que pretenden mejorar la calidad de las decisiones de

diseño, tomando en cuenta los aspectos relativos a las condiciones de uso del producto final. Estos tienen como punto de partida la clarificación de objetivos, momento en el cual se van a especificar los objetivos de diseño y los sub-objetivos, así como las relaciones entre ellos. Para dicha clarificación se utilizó el método del árbol de objetivos, cada uno de los pasos que se usaron para armar el árbol de objetivos se describen a continuación <sup>(2)</sup>.

### *Método del Árbol de Objetivos.*

#### **Paso 1**

Lista de objetivos del diseño.

- Cumplir con todos los requerimientos del ensayo de torsión estático.
- Hacer una máquina que considere la ergonomía.
- La operación de la máquina debe ser lo más sencilla posible.
- La capacidad de torque de la máquina debe ser mayor a 30 N\*m
- Debe ser fácil de armar y desarmar.
- Deben considerarse rutinas de mantenimiento
- Tratar de reducir los posibles errores de medición al mínimo posible.
- Las piezas deben ser hechas con materiales y elementos fáciles de conseguir en el mercado, en caso que deban ser cambiados.
- Una apariencia agradable de la máquina para la vista del usuario.
- El operador no debe realizar una fuerza mayor de 25 Kg.
- Versatilidad al momento de hacer el ensayo.
- Obtener una buena relación costo-calidad.
- Considerar mejoras futuras.
- Asegurar que la transmisión de fuerza en los elementos sea la adecuada.

## **Paso 2**

Ordenar la lista en conjuntos de objetivos de mayor y menor nivel.

### Nivel A

- Cumplir con todos los requerimientos del ensayo de torsión estático.

### Nivel B

- La capacidad de torque debe ser mayor a 30 N\*m
- El operador no debe realizar una fuerza mayor a 25 Kg.
- La operación de la máquina debe ser lo más sencilla posible.

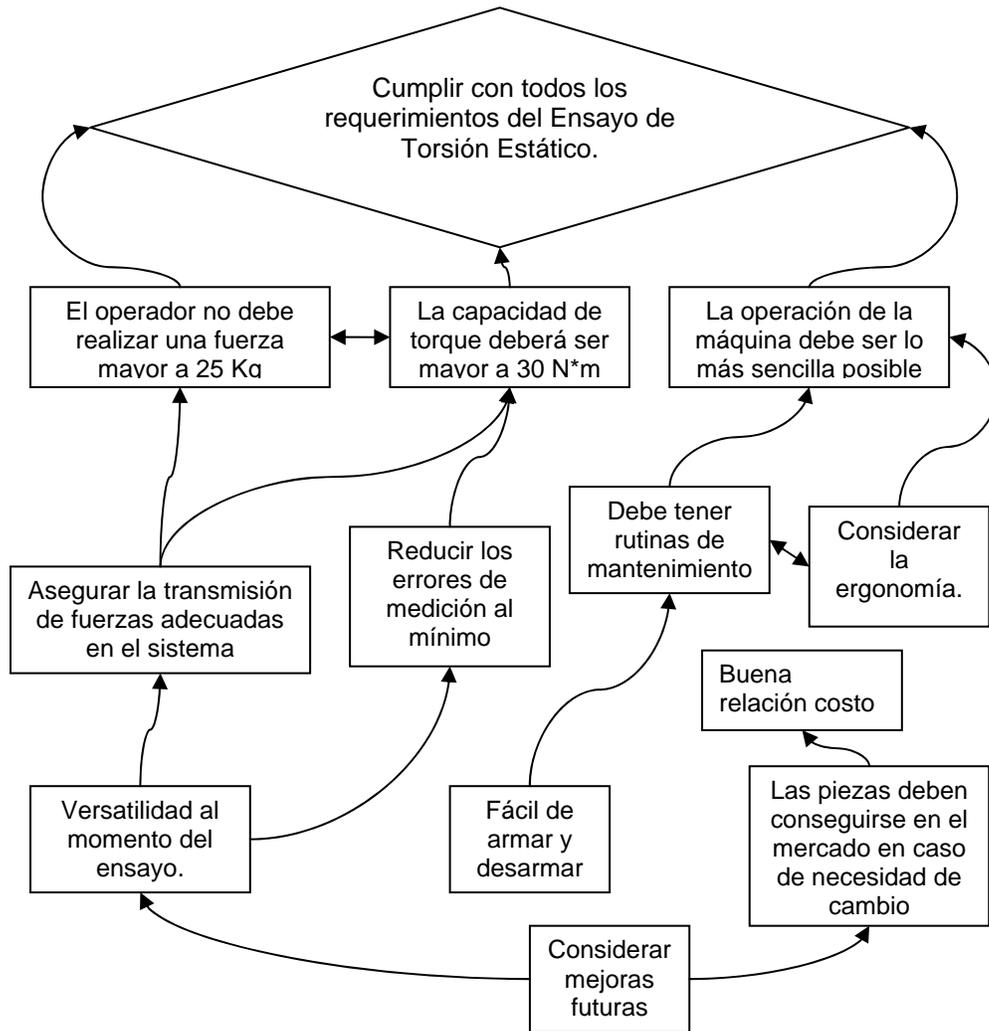
### Nivel C

- Asegurar que la transmisión de fuerza en los elementos sea la adecuada.
- Tratar de reducir los errores de medición al mínimo posible.
- Hacer una máquina que considere la ergonomía.
- Deben considerarse las rutinas de mantenimiento.
- Obtener una buena relación costo-calidad

### Nivel D

- Versatilidad al momento del ensayo.
- Las piezas deben ser hechas con materiales y elementos fáciles de conseguir en el mercado, en caso que deban ser cambiados.
- Una apariencia agradable de la máquina para la vista del usuario.
- Considerar mejoras futuras.
- Debe ser fácil de armar y desarmar.

**Paso 3** Dibujar un diagrama del árbol de objetivos jerarquizados.



**Figura 5.1** Árbol de objetivos del diseño de la Máquina de Ensayo de Torsión.

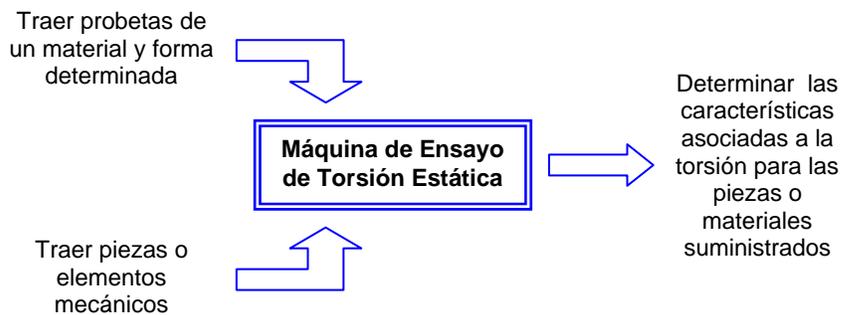
#### 5.4 ESTABLECIMIENTO DE FUNCIONES.

En la clarificación de objetivos se jerarquizaron tareas dependiendo de su importancia, pero con un alto contenido de generalidad. La idea ahora es establecer las funciones del diseño, para considerar el nivel del problema o los problemas que deben resolverse. Como herramienta para este fin se utiliza el método del Análisis de Funciones, con él se establecen las funciones esenciales y el nivel del problema.

Entiéndase como funciones esenciales las que la máquina a diseñar debe satisfacer, y nivel como los límites del diseño dentro de las consideraciones de las funciones a realizar por la nueva máquina de ensayo de torsión <sup>(2)</sup>.

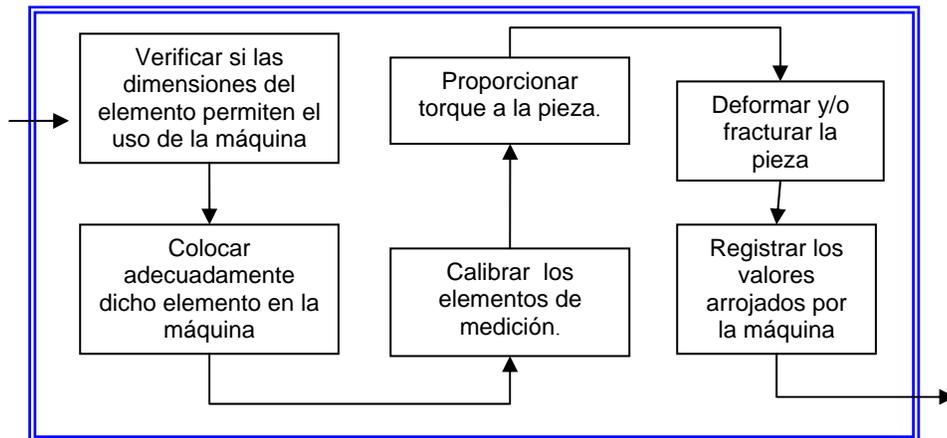
*Método de Análisis de Funciones.*

**Paso 1** Expresar la función general del diseño en términos de la conversión de entradas y salidas.



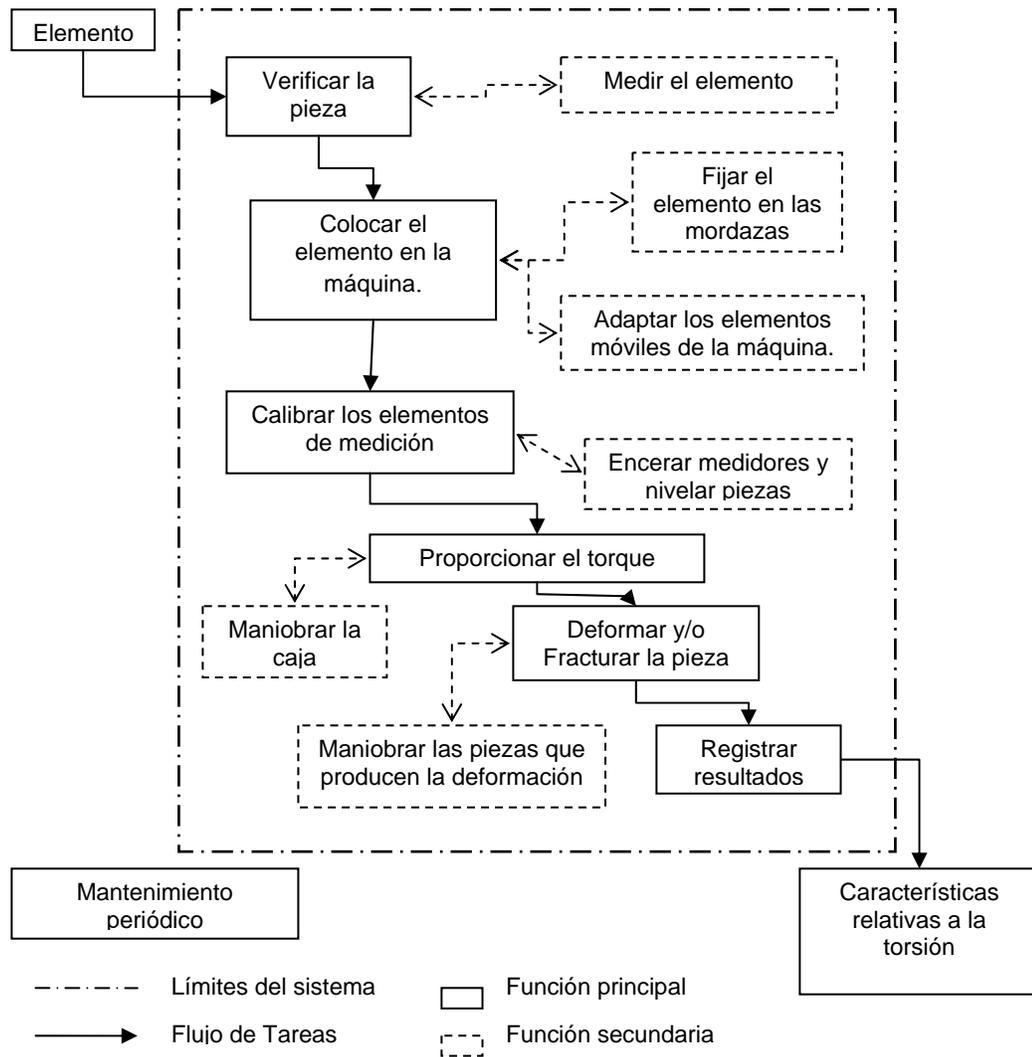
**Figura 5.2** Modelo de la caja negra del diseño

**Paso 2** Descomponer la función general en un conjunto de funciones secundarias esenciales.



**Figura 5.3** La caja negra ahora se hace transparente develando las funciones.

**Paso 3** Dibujar un diagrama de bloques que muestre las interacciones entre las funciones secundarias con los límites del sistema.



**Figura 5.4** Ampliación de las funciones como consecuencia del paso 3.

**Paso 5**      Buscar componentes apropiados para realizar las funciones secundarias y sus interacciones.

**Tabla 5.1**      Soluciones a las funciones secundarias

<i>Funciones Secundarias</i>	<i>Medios para cumplirlas</i>
Medir el elemento	* Se deben tener a la mano equipos de medición
Fijar el elemento en las mordazas	* De ser necesario, maquinar los extremos
Adaptar los elementos móviles de la máquina	* Disponer de correderas y un carril de largo adecuado
Encerar medidores y nivelar piezas	* Disponer de equipos que permitan su calibración, añadir piezas que puedan facilitar la nivelación de la máquina e inclusive de alguna de sus piezas de manera independiente.
Maniobrar la caja reductora.	* Definir los controles adecuados ergonómicamente para que el operador haga un manejo preciso, como volantes o palancas. Añadir diales o escalas para que el usuario conozca siempre cuando se ha desplazado el eje que aplica el torque.
Maniobrar las piezas que producen deformación	* Tornillos de potencia o palancas mecánicas pueden usarse para asegurar la deformación del elemento ensayado, con el cuidado de ser suficientemente precisas para no perder lecturas importantes en los límites de deformación elástico-plástico.

## 5.5 REQUERIMIENTOS.

Dependiendo de las funciones a cumplir por el diseño, se pueden establecer límites subsiguientes relacionados con la exactitud, tamaño, maniobrabilidad y apariencia. Un método útil para la identificación y desarrollo de esos requerimientos es el de La Especificación del Rendimiento. Con este método se busca que las especificaciones definan un rendimiento requerido, por consiguiente se hace énfasis en el rendimiento que debe alcanzar una solución de diseño y no en un componente

en particular <sup>(2)</sup>. En fin se va a hacer una especificación exacta del rendimiento requerido de la solución del diseño.

*Método de la Especificación del Rendimiento.*

**Paso 1** Considerar los diferentes niveles de generalidad de solución a aplicar.

*Nivel de generalidad bajo:* considera un diseño de una máquina de ensayo de torsión estática de gran exactitud; tanto en los medidores de deformación y torque, como en el acabado y fabricación de cada una de sus piezas. La capacidad de realizar una gama extensa de ensayos de torsión para validar valores teóricos, o determinar valores exactos de esfuerzos, módulos y fuerzas.

*Nivel de generalidad intermedio:* la máquina a diseñar posee todos los elementos básicos para realizar el ensayo de torsión estática, con una exactitud y precisión que permita convalidar con cierto margen de error los resultados teóricos que se puedan esperar de un material. Un diseño que considere factores ergonómicos.

*Nivel de generalidad alto:* un diseño en el cual se planteen la máquina con sus elementos básicos, con alguna mejora de forma o alguna alternativa para la medición de los parámetros.

**Paso 2** Determinar el nivel de generalidad en el cual se va a trabajar.

Se escogió trabajar en el nivel de generalidad intermedio, enfocados en la búsqueda de una alternativa que tome en cuenta mejoras ergonómicas con respecto a la máquina de ensayo de torsión estática que funciona actualmente en el laboratorio. Se buscará lograr construir una máquina que permita hacer las mediciones con una precisión aceptable, debido a que los factores de disponibilidad de herramientas hacen que la exactitud de la fabricación, varíe con respecto a lo calculado.

**Paso 3** Identificar los atributos de rendimiento requeridos.

- La máquina debe tener una capacidad mayor a la actual en el laboratorio.
- Asegurar que la transmisión de fuerza en los elementos sea la adecuada.
- Partes que permitan adaptar con facilidad los elementos que vayan a ser ensayados en la máquina.
- El usuario no debe realizar una fuerza exagerada para torsionar el elemento.
- Suministrar los detalles para su mantenimiento y operación.
- Considerar detalles de ergonomía.
- Poseer elementos de medición con cierto grado de precisión.

**Paso 4** Establecer requerimientos de rendimiento precisos para cada atributo.

**Tabla 5.2** Establecimiento de los requerimientos.

<i>Atributos de Rendimiento</i>	<i>Requerimientos de rendimiento precisos</i>
Capacidad mayor a la maquina actual del laboratorio.	* Proporcionar un torque mayor a 30 N*m. * Dimensiones mayores, para permitir el ensayo en probetas de más de 350 mm de longitud
Asegurar que la transmisión de fuerza en los elementos sea la adecuada	* Diseñar una caja reductora que satisfaga las condiciones de torque y relación de vueltas que se establezcan. * Definir la forma de las piezas de la máquina, y en función a las fuerzas que se deban aplicar, calcular los esfuerzos en las mismas y el tipo de material a usar para que soporten esas cargas.
Partes que permitan adaptar con facilidad los elementos que vayan a ser ensayados en la máquina.	*Diseñar mordazas con tamaños adecuados, que permitan sostener una variedad de elementos, sin alterar la línea imaginaria que comprende el eje entre mordazas. * Diseñar una o varias partes móviles con las cuales se pueda adaptar la separación de las mordazas y representen un soporte rígido sobre el carril de la máquina.

<p>El usuario no debe realizar una fuerza exagerada para torsionar el elemento.</p>	<p>* La fuerza máxima que debe ejercer el usuario no debe ser mayor a 25 Kg.          * El tamaño del volante o palanca que se use para accionar la caja reductora debe ser lo suficientemente grande, para transmitir bastante torque con poca fuerza.</p>
<p>Suministrar los detalles para su mantenimiento y operación</p>	<p>* Recomendar las rutinas de operación y de mantenimiento.</p>
<p>Considerar detalles de ergonomía.</p>	<p>* Considerar en el diseño parámetros de ergonomía como:          -Distancia entre mandos.          -Altura y ubicación de los mandos.          -Posiciones de operación que tenga que adoptar el usuario.          -Apariencia final de la máquina.</p>
<p>Poseer elementos de medición con cierto grado de precisión.</p>	<p>* Balanzas de torque o peso, según el torque de salida que se escoja.          * Diseñar ubicación y forma de 2 transportadores con los cuales se conozca, primero cuanto se ha girado el volante de la caja reductora y segundo la deformación del elemento ensayado.          *Contador de revoluciones para el volante de la caja.          * Niveladores de burbuja o de mejor precisión para nivelar la máquina y/o algunos elementos independientes en la máquina</p>

## 5.6 GENERACION Y EVALUACION DE ALTERNATIVAS.

A estas alturas el diseño llega a la etapa creativa combinada con las etapas de razonamiento lógico. En todo diseño la fase creativa es vital, pero se pueden conseguir mejores resultados si se utiliza un ordenamiento creativo. Ese ordenamiento creativo se hace a través del método de diagrama morfológico. El propósito de este método es ampliar la búsqueda de soluciones posibles a través del estudio de la forma, para ello se hacen arreglos o tablas donde se puedan combinar las opciones que van saltando a la imaginación con la tormenta de ideas.

### *Método del Diagrama Morfológico.*

Aplicado al diseño de la forma de la máquina de torsión estática.

**Paso 1**            Lista de funciones o características esenciales.

**Paso 2**            Mencionar los medios con los cuales se puede solucionar.

1.\_ Proporcionar un torque determinado al elemento a ensayar.

Para solucionar este aspecto se debe utilizar un elemento mecánico que transforme la fuerza del usuario en torque sobre la pieza. Generalmente este tipo de mecanismo es una caja reductora, donde a través del uso de un engrane y un tornillo sin fin se transmite fuerza a otro extremo. Dicha fuerza depende en un principio de las características geométricas de ambos elementos. La colocación de dicha caja es vital en la forma final de la máquina, pues define el eje de trabajo.

Es posible que para asegurar la torsión en el elemento a ensayar, sea necesario adaptar sistemas que garanticen que el elemento se mantiene fijo en un extremo mientras se mueve por el otro, ya sea con la caja reductora o con otro elemento que aplique carga.

2.\_ La máquina debe contar con un diseño ergonómico, para facilitar el manejo al operador.

Este tópico es muy importante debido a que la máquina se construye para ser utilizada por un individuo que requiere de ciertas condiciones, que van a facilitar y optimizar el desempeño del mismo. Un diseño ergonómico debe considerar que el usuario tenga suficiente espacio para maniobrar, que no tenga que doblarse o encorvarse para ejecutar la operación, que no realice operaciones con las manos a una altura mayor a sus hombros, si hace un trabajo manual sus muñecas no estén dobladas por mucho tiempo. Existen parámetros y tablas que recomiendan dimensiones aceptadas como ergonómicas al momento de diseñar mandos o equipos.

La apariencia del equipo es importante pues permite que el usuario afronte la operación sin prejuicios, es decir, que no piense que se va a lastimar, o que la máquina se va a dañar en medio de su uso.

### 3. \_ Exactitud aceptable en la medición de las variables relativas a la torsión.

El usar elementos que transmitan fuerzas o que la alteren de alguna manera crea distorsiones en los resultados que se esperaban obtener. Al realizar los cálculos se espera trabajar en un rango de posibilidades debido a esas “distorsiones”, por lo tanto se debe hacer un diseño en el cual las piezas transmitan de la manera más fidedigna las fuerzas en el sistema. La escogencia de los materiales de fabricación y las dimensiones de las piezas son fundamentales para el éxito de esta premisa.

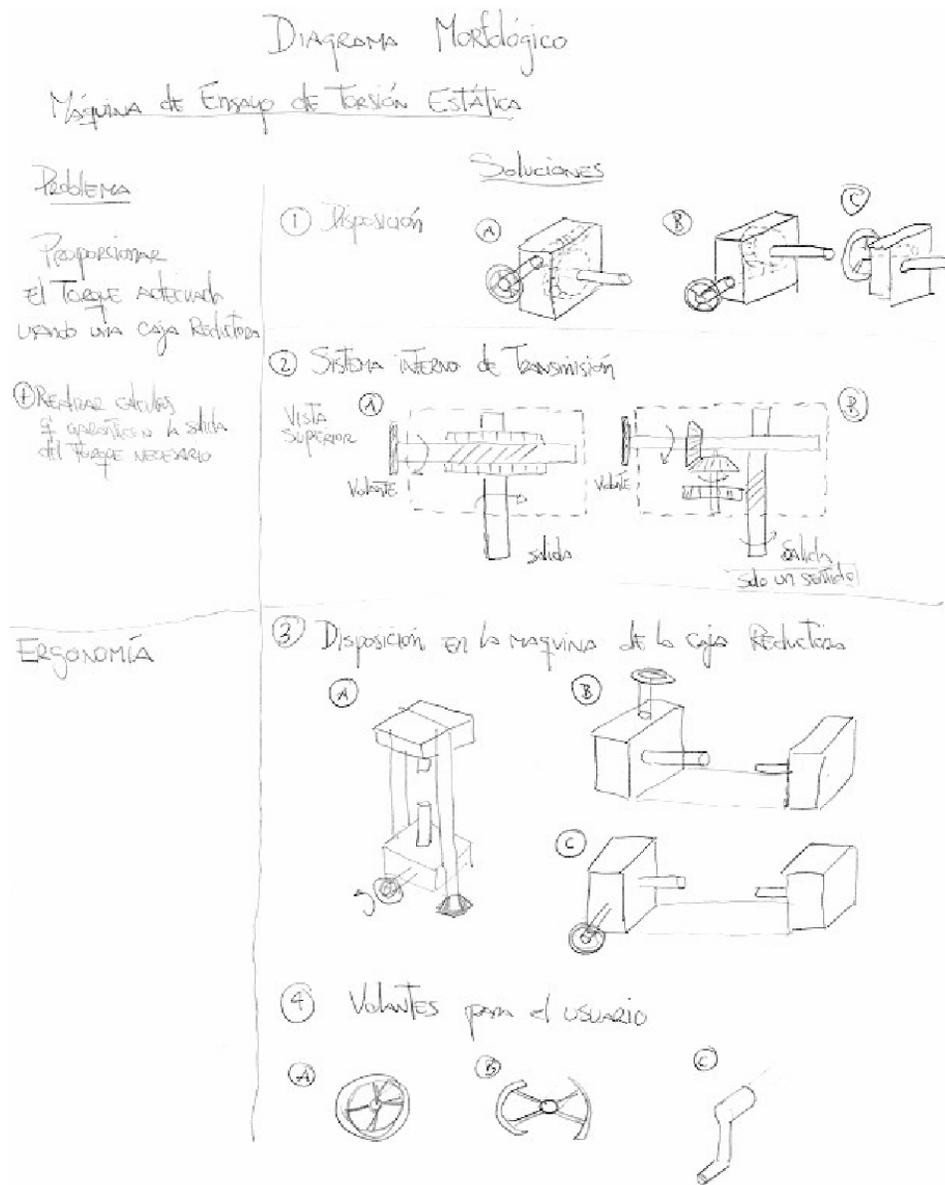
Es importante predecir como se hará la calibración del diseño final, pues en el caso del ensayo de torsión es importante mantener el eje de la pieza coincidente con el eje de la máquina. Se deben entonces considerar añadir medidores que reduzcan al mínimo desalineamientos en la máquina.

Los instrumentos de medición son también importantísimos, debido a que la apreciación de los mismos limitará la exactitud de la medición del proceso que se hace. En el caso del ensayo de torsión se tienen 3 alternativas: usar una balanza que mida fuerza y establecer el brazo, usar una balanza que mida directamente el torque o utilizar una galga la cual transmita información a un sistema integrado que presente la medición de torque en una pantalla.

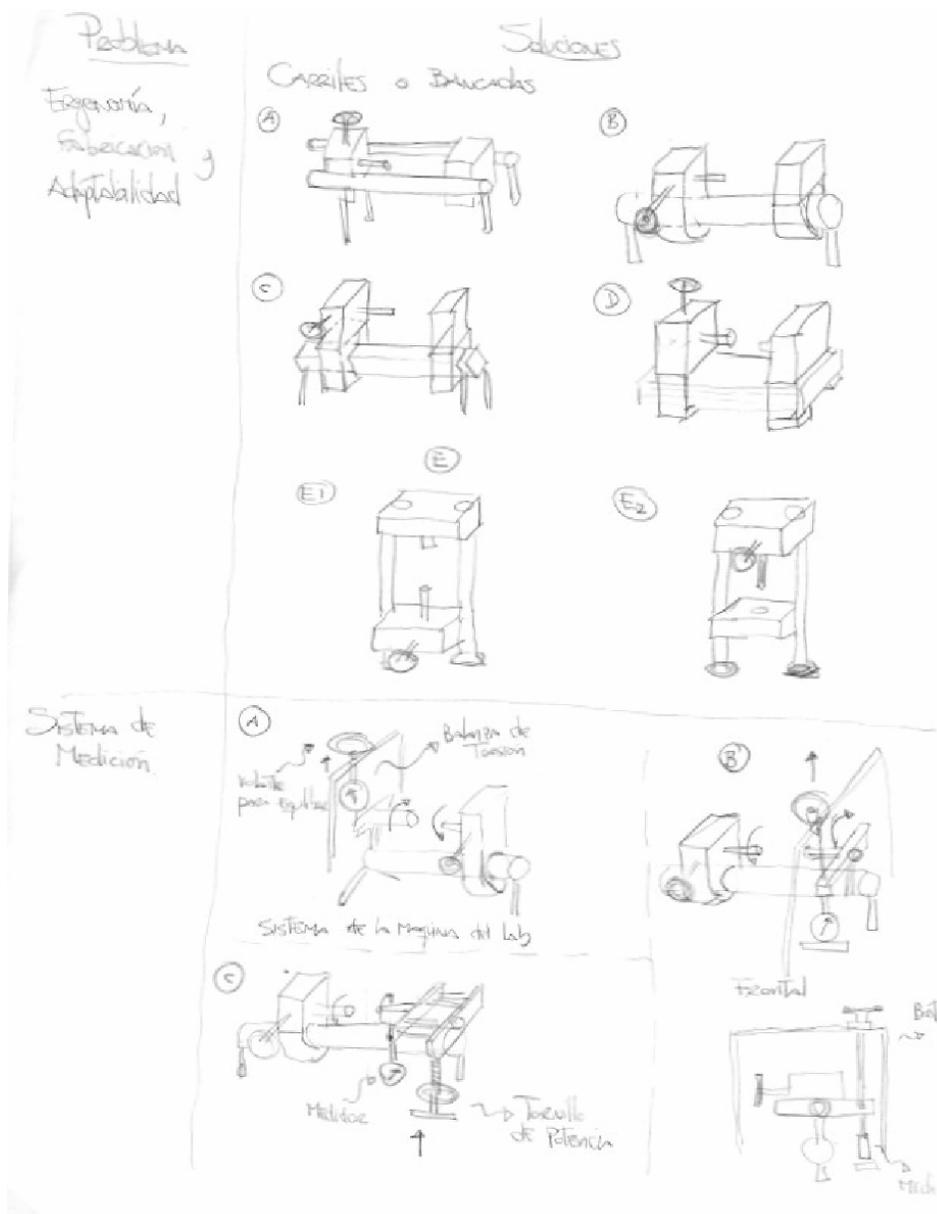
### **Paso 3**          Hacer el diagrama morfológico con las soluciones.

El proceso de diseño de la máquina hace necesario la elaboración de varios diagramas morfológicos, pues cada pieza de la misma representa un proceso de generación de alternativas, evaluación y toma de decisiones. El hecho de haber realizado una lista de funciones y sus posibles métodos de solución facilita la creación del dicho diagrama. A continuación se presenta la figura del diagrama morfológico que se generó para la obtención de la solución con respecto a la

configuración de los elementos básicos de la máquina. Entendiéndose esto como el tipo de sistema y la disposición de la caja reductora (elemento a través del cual se aplica el torque), la configuración de la bancada de la máquina y la distribución del sistema de medición del equipo, al igual que un accesorio ligado directamente al usuario y a la ergonomía como es el volante de aplicación de fuerza.



**Figura 5.5a** Diagrama morfológico para el diseño de la máquina.



**Figura 5.5b** Diagrama morfológico para el diseño de la máquina.

En la figura anterior se observa el diagrama que se generó para la solución del problema. Ahora toca explicar cual se escogió y el porque de la escogencia. Se verá más adelante como estas decisiones tomarán forma gracias a los requerimientos que

se van planteando, a medida que se realizan los cálculos que aseguran el correcto funcionamiento de la máquina. Pero gracias a este diagrama se establecen las directrices fundamentales del diseño.

### *Caja Reductora.*

La caja reductora es el elemento que va transformar la fuerza aplicada por el usuario en torque a la pieza. Para este tipo de aplicación la caja reductora apropiada es la caja de tornillo sin fin, pues esta no permite que el eje de salida se devuelva o gire en dirección contraria al giro que se aplique. La disposición de dicha caja en la máquina es importante pues es uno de los elementos ligados directamente con el usuario, en el diagrama se observan las tres soluciones generadas en apariencia la solución A y B son similares pero si se observa con atención la altura del eje de salida es diferente, la solución C plantea un cambio en cuanto a la aplicación de la fuerza debido a la posición del volante.

Se escogió la opción B, primero porque la ubicación del volante permite al operador usar las dos manos dándole precisión al movimiento y disminuyendo la fuerza por brazo que se debe aplicar, con la opción c se obliga a utilizar una sola por lo tanto se debe aplicar toda la fuerza con un brazo. Y segundo, porque una altura mayor del eje de salida disminuye el riesgo de que la pieza en caso de no ser una probeta normalizada, tropiece con la bancada y además facilita el montaje de las misma al usuario.

El sistema interno de transmisión de una caja de este tipo puede ser de dos maneras, un engranaje contiguo al tornillo sin fin (opción A) ó un conjunto de engranajes cónicos y rectos que transmitan la fuerza al tornillo sin fin. Con ambos se obtiene los resultados deseados, pero el de mayor difusión comercial y de fabricación más sencilla por la menor cantidad de piezas es representado por la opción A.

### *Disposición de la máquina.*

Horizontalmente o verticalmente son las maneras en la cual se puede colocar la máquina, adicionalmente a esto se puede colocar el volante de frente al usuario o vertical a este. La opción C se distinguió sobre las demás debido a que se disminuyen al mínimo los movimientos de las piezas por el efecto de la gravedad o por el hecho de tropezar a la máquina, se conserva el volante frente al usuario para que pueda utilizar las dos manos.

### *Volantes.*

La opción A de un volante convencional, permite al operador mantener el control y estar en contacto en todo momento con el mismo. La posición que adoptan las muñecas es la adecuada, pues se evitan que estas estén dobladas mientras se aplica la fuerza.

### *Bancada.*

La bancada presenta una variedad de alternativas útiles tanto de manera vertical como horizontal, como de uno o más elementos de la bancada (opciones A, E1 y E2). Todas las opciones planteadas son usadas comúnmente en equipos de medición y en máquinas herramientas, por lo tanto en la escogencia va a pesar la facilidad de fabricación y las garantías de rigidez que cada sistema ofrezca. En este orden de ideas es importante el material que se escoja, pero es importante también el área de contacto entre la bancada y los soportes de los elementos de la máquina. Un área de contacto mayor disminuye los movimientos relativos entre las piezas pues descansan con mayor seguridad sobre la bancada. La geometría es importante pues puede facilitar o complicar la construcción de dichos soportes. Un elemento único en la bancada junta ambas cualidades (opciones B, C y D) y de las opciones generadas la opción C posee la ventaja de tener 4 caras de contacto que pueden ser mayores a las

de B y D, pues en la B debería hacerse una cuña la cual da una pequeña área de contacto y en la D debería usarse una bancada mas gruesa y pesada.

#### *Sistema de Medición.*

El elemento de medición es parte fundamental de la construcción de una máquina de ensayos mecánicos, pues nos traduce el fenómeno en valores numéricos que permiten establecer que está sucediendo. La apreciación y capacidad son importantes, pero la ubicación del equipo también lo es pues facilita su lectura al operador. La ubicación del aparato deberá ser en lo posible de frente al operador, en el caso de este diseño debe ser paralelo al volante de la caja reductora, pues en ese lado estará el o los operadores de la máquina.

Por supuesto su ubicación depende de la ubicación del brazo de torsión, para lo cual se plantean 3 opciones. La opción A y B con los volantes para equilibrar el brazo montados sobre un bastidor y la opción C con ese volante a una altura menor. La ventaja fundamental de la opción C es que garantiza que el usuario hará la operación a una altura por debajo de sus hombros, lo cual es ergonómicamente correcto; pues no se recomienda aplicar fuerza a la altura de los hombros, pues pueden ocasionar lesiones que quizás se manifiesten en el momento o al hacer varias acciones de ese estilo.

En resumen las opciones que se escogen para el diseño de La Máquina de Ensayo de Torsión Estática, mediante el diagrama morfológico (Figura 5.5) son:

- Caja Reductora: Opción B.
- Sistema interno de transmisión de la caja: Opción A.
- Disposición de la Máquina: Opción C.
- Volantes: Opción A.
- Bancada: Opción C.
- Sistema de Medición: Opción C.

## **CAPÍTULO VI**

### **DESARROLLO DEL DISEÑO**

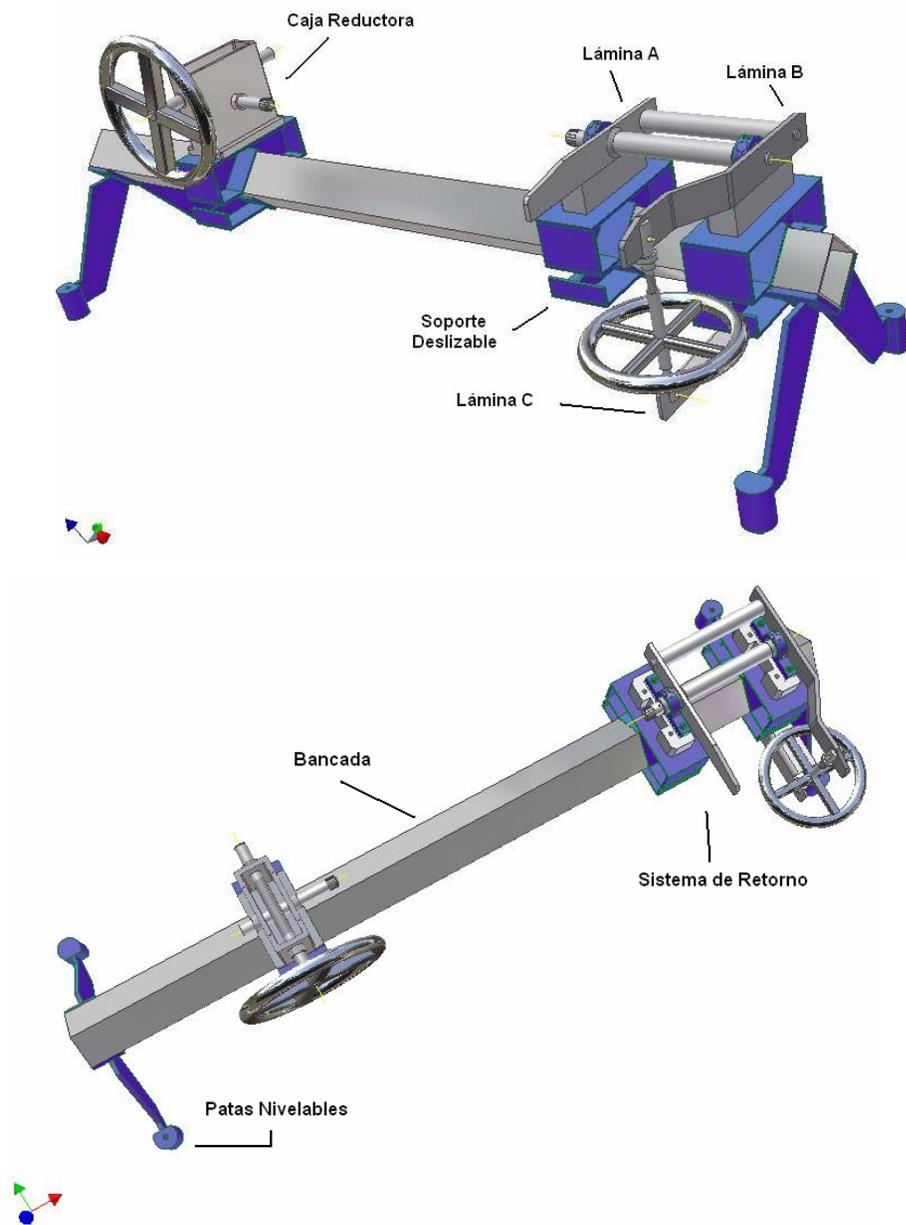
#### **6.1 INTRODUCCIÓN**

Luego de haber descrito que herramientas se utilizaron en el proceso creativo de generar las soluciones, toca ahora realizar el trabajo de diseño un poco más al detalle. Para ello se utilizarán las herramientas matemáticas y científicas que se adquieren durante la carrera de ingeniería. En este capítulo se describen los procedimientos y cálculos referentes a cada una de las piezas que componen la máquina. Todas estas piezas pasaron primero por el proceso del diseño creativo y luego fueron modificadas o confirmadas de su forma inicial a través de los cálculos que garantizan su funcionamiento correcto.

#### **6.2 APARIENCIA INICIAL DE LA MÁQUINA DE ENSAYO DE TORSIÓN ESTÁTICA PROPUESTA.**

Toda máquina usada para una tarea posee partes primordiales para su funcionamiento, en este caso específico se hizo la ejemplificación de cómo se llegó a la solución de las partes fundamentales básicas de este diseño en el capítulo anterior. Ese procedimiento se repitió en cada pieza que se fue integrando a la máquina a medida que se avanzó en el diseño.

Se llegó entonces a lo que sería el primer prototipo “ideal” de la máquina. La intención era dar la forma inicial para encaminar el aspecto y las funciones de cada pieza. Como se observa en la figura 6.1 el prototipo tiene dimensiones e inclusive piezas que a medida que se desarrollen el cálculo y la ingeniería de detalle, cambiarán debido a los requerimientos tanto de las cargas en el sistema como por las tareas que la máquina debe realizar. El prototipo inicial se sienta en las bases creativas y será moldeado hacia su forma final por las herramientas de la ingeniería.



**Figura 6.1** Prototipo inicial del diseño propuesto.

La máquina consta de tres partes fundamentales: La Caja Reductora, El Sistema de Retorno y La Bancada. La máquina contará con un par de mordazas las cuales estarán una en la caja reductora y otra en el sistema de retorno. El procedimiento de operación de la máquina consiste en fijar la probeta entre las dos

mordazas, asegurarse de que todos los elementos móviles de la máquina se encuentren a nivel. Luego se aplica la fuerza a la probeta a través de una caja reductora de tornillo sin fin. Este tipo de caja reductora no permite que el eje de salida se devuelva, por lo tanto una vez aplicado el torque sobre la probeta entonces con el sistema de retorno que sostiene la probeta del otro extremo se aplica una fuerza en el sentido contrario a la que produjo la caja. La fuerza se aplica a través de un sistema de tornillo de potencia, que se observa unido a la lámina B de la figura 6.1. Al extremo de la lámina A de la misma figura se coloca el elemento mecánico de medición de torque, o un elemento que mida fuerza y como el brazo sería una dimensión conocida en la máquina entonces se tendría el momento. A esta máquina se le añade un transportador en el eje de salida de la caja el cual reflejará la deformación de la probeta en ángulos.

Con los valores de la deformación y el momento torsor aplicado sobre la probeta o el elemento se puede hallar con las expresiones 2.2 y 2.5 los valores de deformación y esfuerzo cortantes respectivamente. También si se hace una gráfica del Ángulo de Deformación vs. Torque, se puede determinar el punto de fluencia del material debido al salto que se observará en la gráfica. Además si se toman en cuenta los valores obtenidos en el rango elástico, con la ecuación 2.7 se puede conseguir el Módulo de Rigidez del material en caso de ser desconocido.

### **6.3 INGENIERIA DE DETALLE.**

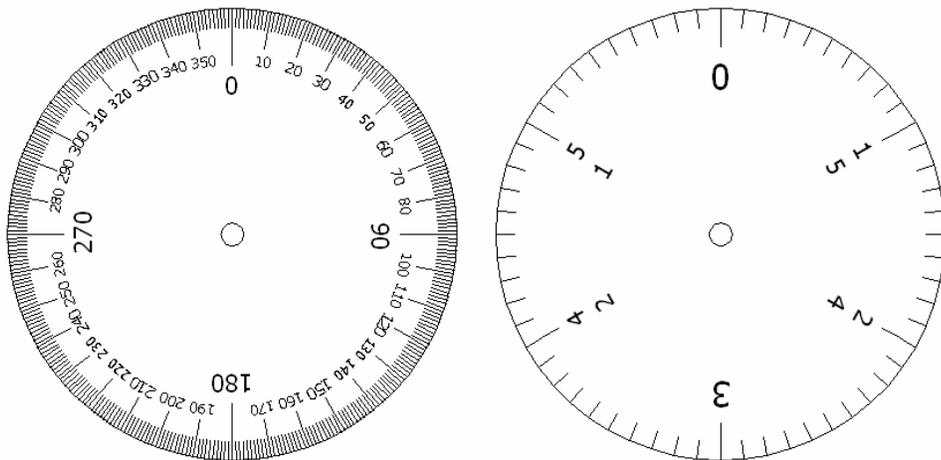
Llega el momento de utilizar las herramientas de cálculo en ingeniería para justificar el diseño y saber que detalles deben ser cambiados, con el fin de asegurar el correcto funcionamiento y la disminución de las fallas al mínimo de cada elemento de la máquina.

Por lo tanto a continuación se hará una descripción detallada de cada uno de los componentes que integran la Máquina de Ensayo de Torsión Estática a diseñar.

### *Caja Reductora.*

La caja reductora es el equipo que se va a utilizar para transformar la fuerza aplicada por el operador en el torque a aplicar sobre la probeta o elemento. El sistema más comercial y de mayor facilidad de construcción son las cajas reductoras de tornillo sin fin. Estas cajas garantizan que el eje de salida no va a girar en sentido opuesto al aplicado así se le aplique una carga. Eso debido a que requiere el uso de un engranaje el cual tiene un pequeño ángulo en los dientes (ángulo de desplazamiento  $\lambda$ ).

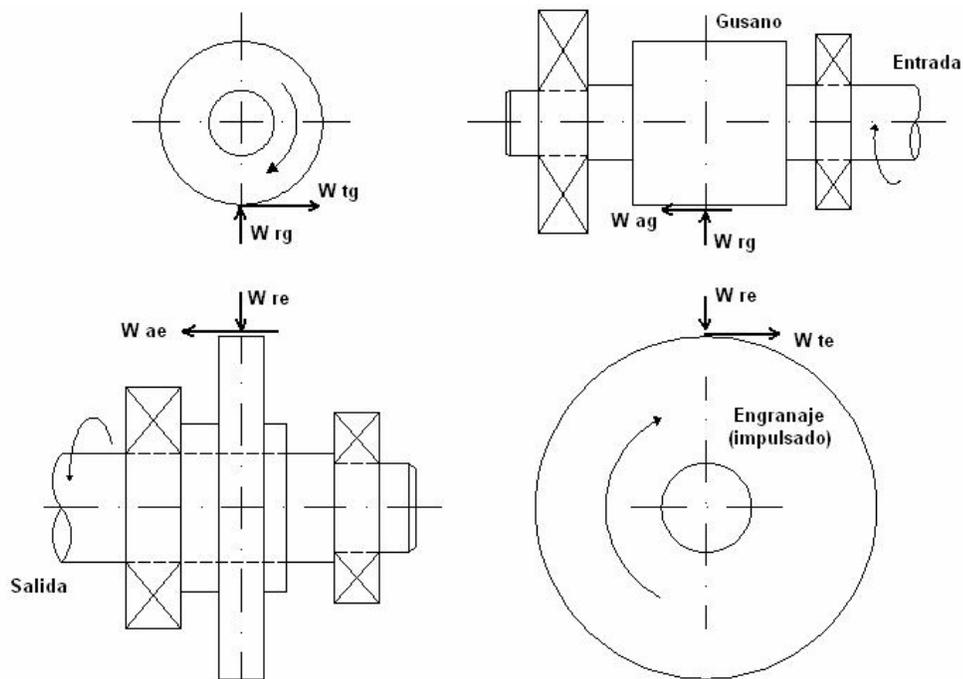
La relación de transmisión se escoge en base al numero de vueltas que deberá dar el operador al volante para que el eje de salida de la caja de una vuelta. La precisión en el manejo del operador va depender entonces de esa relación, por lo tanto se escogió una relación de 60:1, porque 1 vuelta sería  $360^\circ$  si se divide entre 60 se tiene que por una vuelta del volante el eje gira exactamente  $6^\circ$ . Colocando un transportador de  $360^\circ$  en el extremo del eje de salida se sabrá cuanto se ha movido éste, además se puede colocar en el eje del volante otro transportador pero dividido en 6 partes ( $60^\circ$ ), si se subdividen esas 6 partes en 10 partes cada una se tendrán divisiones de  $6^\circ$ , el operador tendrá una precisión de  $0.10^\circ$  en el eje de salida por cada marca del transportador en el volante. (Figura 6.2)



**Figura 6.2** Transportadores en la caja reductora.

La máquina se va a diseñar para tener una capacidad de 50 N\*m, está claro que va a depender mucho el tamaño del volante para que el usuario no tenga que aplicar una fuerza excesiva. Por lo tanto a través de los cálculos se debe garantizar que el sistema de transmisión produzca un torque mínimo de 50 N\*m sin que el operador realice un esfuerzo mayor al rango comprendido entre 240 y 200 N (Tabla 4.1).

En el procedimiento de cálculo para un sistema de tornillo sin fin <sup>(5)</sup>, las fuerzas en el sistema se distribuyen como se observa en la figura 6.3. Donde la carga se divide en tres componentes perpendiculares, una fuerza tangencial ( $W_t$ ), una fuerza axial ( $W_a$ ) y una fuerza radial ( $W_r$ ). Todas esas componentes tanto para el gusano (elemento roscado del tornillo sin fin) como para el engranaje.



**Figura 6.3** Fuerzas en un mecanismo de tornillo sin fin. (Diseño de elementos de Máquina –R. Mott)

Del análisis de la figura se puede observar, que algunas de esas componentes pueden igualarse entre si. Quedando entonces de la siguiente manera:

$$W_{tE} = W_{xG}$$

$$W_{xE} = W_{tG}$$

$$W_{rG} = W_{rE}$$

Según el procedimiento del libro “Diseño de elementos de Máquinas” de R. Mott, se debe especificar el torque máximo de salida que tendrá la caja, en este caso de 50 N\*m. Junto con ése valor se debe establecer el diámetro de paso del engrane ( $D_E$ ), el ángulo de desplazamiento ( $\lambda$ ) y el ángulo de presión normal ( $\theta_N$ ). Comercialmente las cajas reductoras disponibles en el mercado solo ofrecen información sobre las dimensiones externas y de los ejes, y la relación de transmisión. Por tanto se pueden obtener diversas combinaciones de los datos solicitados, afortunadamente para la caja seleccionada perteneciente a la empresa Spaggiari Modelo ISW /050T, se cuenta con el valor de la relación de transmisión 60:1. Al levantar la tapa se observa un engranaje con un diámetro de paso ( $D_E$ ) de aprox. 2.5 pulg. Se sabe que:

$$D_E = \frac{R}{P_D} \quad \text{Ecuación 6.1}$$

Donde: R: Numero de dientes del Engrane.

$P_D$ : Paso diametral del Engrane.

Se conoce que por lo regular se fabrican por convención para el mercado engranajes para tornillos sin fin con pasos diametrales 48, 32, 24, 16, 12, 10, 8, 6, 5, 4 y 3. Para conocer aprox. cual es el paso diametral de esta caja se despeja la expresión anterior.

$$P_D = \frac{R}{D_E} \quad P_D = \frac{60}{2.5} \quad P_D = 24$$

Con respecto al ángulo de desplazamiento ( $\lambda$ ) y al ángulo de presión normal ( $\theta_N$ ) medirlo sobre el equipo requeriría casi desmantelarlo, por lo tanto se tomarán los valores comerciales de  $5^\circ$  y su correspondiente  $14.5^\circ$  respectivamente. Con ello entonces se cuentan con los valores necesarios, para determinar los valores de las cargas que se generarán en el engrane, siendo de especial importancia la carga tangencial en el engrane. Debido a que esa será precisamente la carga que se deberá aplicar al eje de entrada si se desea producir un torque con la caja de  $50 \text{ N}\cdot\text{m}$ . Calculando los valores de dicha carga, se tiene:

$$W_{tE} = \frac{2 \times T_o}{D_E} \quad \text{Ecuación 6.2}$$

Donde: Toque de Salida ( $T_0$ ) =  $50 \text{ N}\cdot\text{m} \approx 500 \text{ Lb}\cdot\text{pulg}$ .

$W_{tE}$ : Carga Tangencial en el Engrane.

$$W_{tE} = \frac{2 \times (500 \text{ Lb} \times \text{pulg})}{2.5 \text{ pulg}} \quad W_{tE} = 400 \text{ Lb.}$$

Llevando el resultado al Sistema Internacional, la carga requerida en el eje de entrada será:

$$W_{tE} = 1779,2 \text{ Newtons}$$

El momento que se deberá aplicar al eje de entrada para alcanzar dicha fuerza tangencial será:

$$M = b1 \times W_{tE} \quad \text{Ecuación 6.3}$$

Donde:  $b1$ : Radio del eje de entrada

$$M = (0.015 \text{ m}) \times (1779,2 \text{ N}) \qquad M = 26,68 \text{ N} \times m$$

Para generar ese momento y considerando que la fuerza máxima a aplicar no debe exceder a 240 N, se calcula entonces el tamaño del volante que debe colocarse en la caja reductora. Usando la expresión del momento y proponiendo un volante de 0,120 m de radio (b2), se tiene:

$$F_{\text{operador}} = \frac{(26,68 \text{ N} \times m)}{(0,120 \text{ m})} \qquad F_{\text{operador}} = 222,33 \text{ N}$$

El valor se encuentra en el rango permisible de la fuerza que puede aplicar el operador, por lo tanto a la caja se le colocará un volante de 0,24 m. de diámetro.

*Eje de salida para la caja reductora.*

Es el turno ahora de diseñar y calcular el eje de transmisión de fuerza a la salida de la caja reductora. La caja que se adquirió no posee un eje de salida de fábrica, en su lugar se tiene el orificio, por lo tanto se realizará el calculo del eje para conocer las dimensiones mínimas requeridas para esta aplicación. Luego se diseñará la forma del eje para adaptarlo a la caja.

Se comienza por establecer las fuerzas que actuarán sobre el eje. Este eje sustentará la mordaza en un extremo, en el otro extremo estará el transportador que medirá la deformación de la probeta o elemento ensayado. Ambos componentes son de poco peso si se compara con la magnitud de momento torsor que se piensa transmitir con el eje, de una magnitud máxima de 50 N\*m. Por lo tanto la principal influencia será dicho momento. Se hace entonces un estudio de las fuerzas que pueden someter a flexión el eje, en el que se supondrá el peso de la mordaza en 0,5 Kg. y el del transportador en 0.20 Kg. El eje estará simplemente apoyado en el

orificio de la caja, por lo tanto el momento flector máximo lo produce la mordaza en el extremo del mismo. La longitud se estima en 170 mm., lo que significa que el momento flector máximo por causa de la mordaza en el eje será de 0,425 N\*m. Conocidos el momento flector y torsor máximos a los que se someterá al eje se puede utilizar la siguiente ecuación para calcular el diámetro del eje <sup>(2)</sup>:

$$D_A = \left[ \frac{32 \times N}{\pi} \sqrt{\left( \frac{K_T \times M}{S_e} \right)^2 + \frac{3}{4} \left( \frac{T}{S_y} \right)^2} \right]^{1/3} \quad \text{Ecuación 6.4}$$

Donde: N: Factor de seguridad.  
 K<sub>T</sub>: Factor de concentración de esfuerzos.  
 M: Momento Flector.  
 T: Momento Torsor.  
 S<sub>e</sub>: Resistencia a la fatiga por Von Misses.  
 S<sub>y</sub>: Resistencia a la deformación.

Normalmente para elementos de máquinas se suele utilizar un factor de seguridad de 3, valor que se usará en el diseño de todos los elementos de esta máquina <sup>(5)</sup>. Para calcular la resistencia a la fatiga se considerará el criterio de Von Misses y se utilizarán el factor de confiabilidad C<sub>R</sub>=0,81 para una confiabilidad de 99% y el factor de forma C<sub>S</sub>, que viene dado para diámetros menores de 50 mm., por la expresión:

$$C_S = \left( \frac{D}{7.6} \right)^{-0.068} \quad \text{Ecuación 6.5}$$

La resistencia a la fatiga según el criterio de Von Misses, viene dado por la expresión:

$$S_e' = S_e \times C_S \times C_R \quad \text{Ecuación 6.6}$$

Donde:  $S_e$ : Resistencia a la Fatiga

$$S_e = 0.504 \times (S_{UT}) \quad \text{Ecuación 6.7}$$

El valor de la resistencia a la deformación se toma del material que se escoge. En este caso la escogencia del material se hace en relación a su resistencia mecánica, se desea un material de alta resistencia mecánica debido para que los elementos que se ensayen puedan ser inclusive materiales duros o de diámetros relativamente grandes. Normalmente a un acero se le puede elevar su resistencia mecánica con un tratamiento térmico. Comercialmente se estila el templado y luego el revenido para obtener piezas de alta resistencia y evitar que esta se fragilice. De los acero comerciales destacan los aceros al carbono de baja aleación, específicamente el 4340 el cual es un acero con cromo, níquel y molibdeno de alta resistencia mecánica al cual un tratamiento térmico puede elevar bastante dichas propiedades.

**Tabla 6.1** Propiedades mecánicas del Acero AISI 4340.

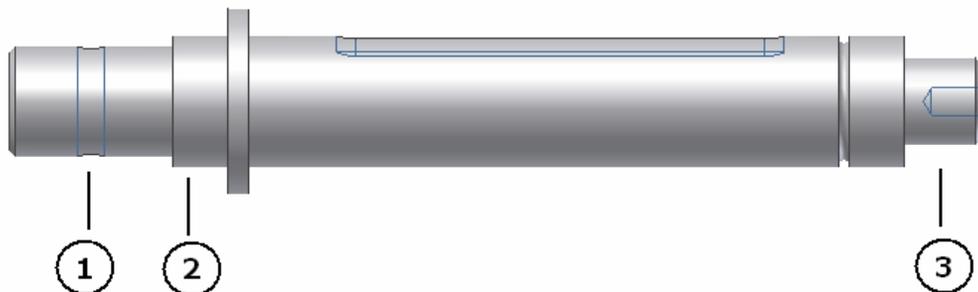
<b>Acero 4340</b>	<b><math>S_{ut}</math> (Mpa)</b>	<b><math>S_y</math> (Mpa)</b>
Recocido	745	469
Templado y Revenido	1950	1570

En cuanto a la forma del eje se prevé que va a tener chaflanes o cambios de diámetro, además orificios para un pasador y para una o dos chavetas a lo sumo, una ranura para un anillo de retención y una rosca interna. Los cálculos requieren el factor de concentración de esfuerzos ( $K_t$ ), el cual para cada caso tiene valores distintos.

**Tabla 6.2** Factores de Concentración de Esfuerzos diversos.

Concentrador	$K_t$
Chablán Cortante	2.5
Anillo de Retención	3.0
Chaveteros Rectos	2.0
Pasador	2.0
Roscas Internas	1.0

Una vez determinadas las variables de cálculo, se hace la propuesta de la forma del eje. En este punto es importante tomar en cuenta que en el ensayo de torsión puede ocurrir un fenómeno de encogimiento de la probeta que progresa a medida que se incrementa la deformación. Más adelante se verá que el otro extremo de la máquina es fijo, entonces este extremo debe tener la posibilidad de moverse axialmente para evitar que se generen esfuerzos residuales sobre la probeta o el elemento que se esté torsionando. En virtud de lo anterior este eje va estar en juego con el orificio de la caja reductora y será impulsado por la chaveta, a su vez existirá un chablán alabeado el cual será el tope junto con la caja de un resorte que controlará el desplazamiento del eje. Un anillo de retención fungirá de tope y permitirá a su vez que el eje pueda extraerse de la caja en caso de ser necesario. La mordaza se unirá al eje a través de un pasador.



**Figura 6.4** Geometría del eje de salida de la caja.

Aplicando las fórmulas anteriores determinamos los diámetros mínimos necesarios en el eje.

$$S_e = 0,504 \times (745 \text{ Mpa})$$

$$S_e = 375,48 \text{ Mpa}$$

$$C_s = \left( \frac{20}{7,6} \right)^{-0,068}$$

$$C_s = 0,936$$

$$S_e' = 375,48 \text{ Mpa} \times 0,936 \times 0,81$$

$$S_e' = 284,673 \text{ Mpa}$$

Sección 1

$$D_1 = \left[ \frac{32 \times (3)}{\pi} \sqrt{\left( \frac{(2 \times 0,425 \text{ N} \times \text{m})}{284,673 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}} \right)^2 + \frac{3}{4} \left( \frac{50 \text{ N} \times \text{m}}{469 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}} \right)^2} \right]^{1/3}$$

$$D_1 = 0.014 \text{ m}$$

Sección 2

$$D_2 = \left[ \frac{32 \times (3)}{\pi} \sqrt{\left( \frac{(3 \times 0,425 \text{ N} \times \text{m})}{284,673 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}} \right)^2 + \frac{3}{4} \left( \frac{50 \text{ N} \times \text{m}}{469 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}} \right)^2} \right]^{1/3}$$

$$D_2 = 0.015 \text{ m}$$

En el extremo de la sección 3 no se transmite potencia, ese extremo simplemente sustenta el transportador de plástico donde se mide la deformación. Por lo tanto la carga en ese extremo es mínima, su dimensión no requiere de un diámetro mínimo específico.

### *Sistema de Retorno.*

En el extremo opuesto a la caja reductora se encuentra el llamado “Sistema de Retorno”, esta parte de la máquina posee en un extremo la otra mordaza que sostiene la probeta. Su función principal es la de oponerse al movimiento producido por la caja, con lo cual se va a producir la deformación en la probeta. Para generar la fuerza que se opondrá a la producida en la caja se usará un tornillo de potencia unido a la lámina B, al desplazar el tornillo de potencia se volverá el sistema a la posición inicial antes de deformando el elemento entre las mordazas. El sistema de retorno cuenta con un brazo (lámina A) al cual se le colocará un equipo de medición, dicho equipo permitirá la lectura del torque aplicado a la probeta.

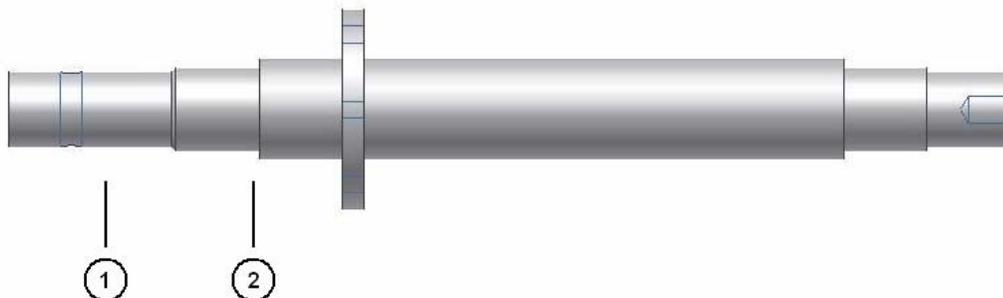
El sistema de retorno consta de las siguientes partes:

- Eje central: Sostiene la mordaza en su extremo, transmite el torque aplicado al instrumento de medición a través de la lámina A. Permite descargar la balanza y llevarla a cero en el momento de hacer un ensayo de torque en diferentes sentidos.
- Láminas móviles A y B: En ellas se colocaran el medidor de torque y el tornillo de potencia respectivamente.
- Tornillo de Potencia: Regresa el sistema a su posición original, se acciona moviendo un volante paralelo a la mesa.
- Eje Lateral: Garantiza que el sistema sea rígido y no se produzca deformación en el eje central al momento de regresar al equilibrio.
- Rodamientos: Facilitan el giro del eje central y sirven de soporte al mismo. No se ven alterados por cargas.
- Soportes deslizables: Al igual que la caja reductora el sistema de retorno debe estar montado sobre un soporte que permita ubicarlo en forma segura sobre la bancada.

### *Eje Central.*

El eje central es la parte fundamental del sistema de retorno, tendrá la función de sostener la mordaza que agarra a la probeta o elemento a ensayar. Transmitirá el torque al elemento de medición para registrar su magnitud antes de deformar la probeta, devolverá dicho torque sobre el elemento ensayado deformándolo por efecto del tornillo de potencia.

Con el fin de registrar el torque aplicado se coloca una lámina, que posteriormente se describirá, que deberá estar unida al eje central. En vista de esto se dispuso una forma bridada en el eje, de manera que sirva de unión entre la lámina y el eje. Se sigue manteniendo el pasador para fijar la mordaza al eje. El resto de la forma del eje consta de cambios de diámetro los cuales proporcionan hombros para fijar dos rodamientos que sirven de apoyo al eje y permiten que este gire con respecto a su eje.



**Figura 6.5** Eje Central del Sistema de Retorno.

El procedimiento para calcular el diámetro mínimo del eje es el mismo seguido para el eje de la caja. Se usará el mismo acero (4340) para la fabricación del eje, y se considerarán las mismas variables de confiabilidad, factor de forma (Ecuación 6.5) y factores de concentración de esfuerzos (Tabla 6.2). El valor que cambia es el del momento flector producido por la mordaza en el extremo, debido a que el eje está apoyado a 60 mm. del extremo, entonces el momento flector será de 0.3 N\*m. Utilizando la ecuación 6.4 en cada sección los diámetros quedan así:

## Sección 1

$$D_1 = \left[ \frac{32 \times (3)}{\pi} \sqrt{\left( \frac{(2 \times 0.3 \text{ N} \times \text{m})}{284,673 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}} \right)^2 + \frac{3}{4} \left( \frac{50 \text{ N} \times \text{m}}{469 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}} \right)^2} \right]^{1/3}$$

$$D_1 = 0.014 \text{ m}$$

## Sección 2

$$D_2 = \left[ \frac{32 \times (3)}{\pi} \sqrt{\left( \frac{(2.5 \times 0.3 \text{ N} \times \text{m})}{284,673 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}} \right)^2 + \frac{3}{4} \left( \frac{50 \text{ N} \times \text{m}}{469 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}} \right)^2} \right]^{1/3}$$

$$D_2 = 0.015 \text{ m}$$

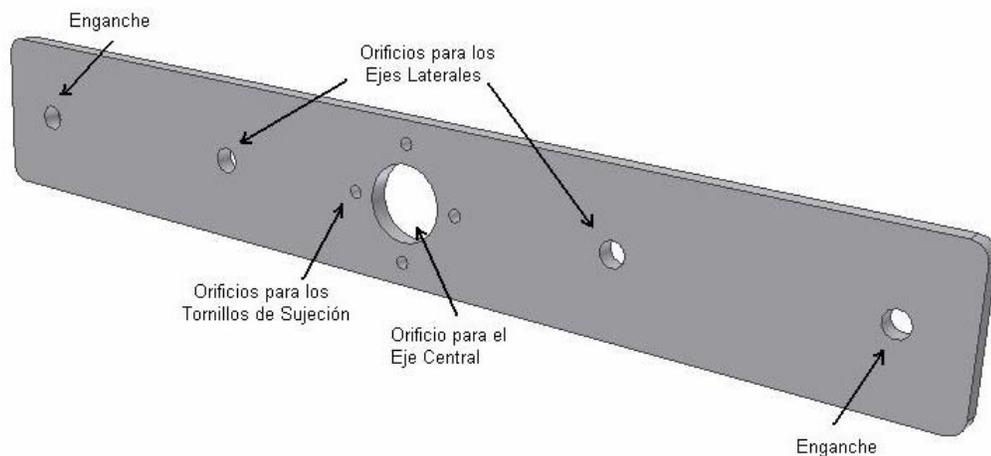
En las secciones siguientes se presentan los mismos cambios geométricos y el efecto de flexión es causado por las láminas A y B, de mucho menor peso que la mordaza. Numéricamente eso hace que el diámetro mínimo de las secciones siguientes se pueda tomar como el de 15 mm. Como se ve un eje de 15 mm., satisface las condiciones de carga en el eje, pero la geometría final tiene variaciones en el diámetro para facilitar el ajuste de las demás piezas que conforman el sistema de retorno, como son las láminas y los rodamientos.

### *Láminas Móviles*

#### *Lámina A*

La función de dicha lámina es la de transmitir el torque aplicado al instrumento de medición, con el fin de cuantificar dicho torque cuando se vaya a

aplicar. Para ello se abrirán orificios en los extremos de la lámina, siendo éstos los puntos de enganche del instrumento de medición. También se prevé abrir otros orificios para unir la lámina a otro par de ejes que la unirán a la lámina B, inicialmente se consideró colocar un solo eje lateral en el sistema de retorno, como se observa en la figura 6.1. Pero para obtener un mejor equilibrio de masa y asegurar aún más la rigidez del sistema, se colocarán 2 ejes laterales. La lámina será afianzada al eje central a través de una unión atornillada, en la sección donde el eje tiene forma de brida. De esta forma se asegura su fácil montaje y desmontaje.



**Figura 6.6** Lámina A.

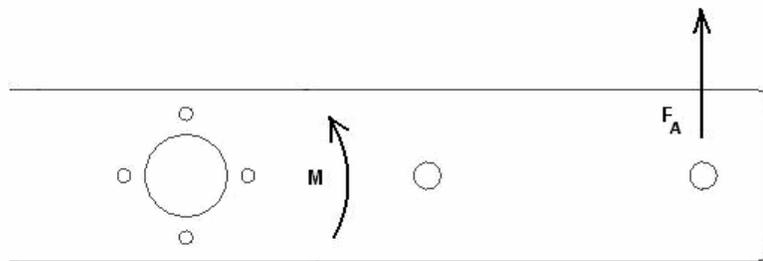
La operación de la máquina hace que esta pieza sea sometida a la carga que genera el medidor de torque como reacción al movimiento de la lámina, pues esta está unida a dicho medidor en alguno de sus extremos. Dimensionalmente se establece que la distancia del centro de la lámina al enganche será de 0.15 m., con esto se tiene un brazo fijo. Sabiendo lo anterior se puede determinar fácilmente la fuerza que se estará aplicando sobre la lámina durante el máximo torque aplicado de 50 N\*m, despejando de la ecuación de momento.

$$M = b_A \times F_A$$

Ecuación 6.7

$$F_A = \frac{M}{b_A} \qquad F_A = \frac{50 \text{ N} \times \text{m}}{0.15 \text{ m}} \qquad F_A = 333,33 \text{ N}$$

La fuerza  $F_A$  calculada es la máxima que actuará transversalmente sobre la lámina por lo tanto haciendo el estudio de la fatiga sobre dicho elemento se determinará el valor de la resistencia a la fluencia mínima necesario para que la pieza no falle por fatiga. Para ello se usa el procedimiento para encontrar el esfuerzo sobre una placa plana sometida a flexión en el plano de la placa.



**Figura 6.7** Efecto de la fuerza en la lámina A.

Se utiliza la ecuación:

$$\sigma_{nom} = \frac{6 \times M \times w}{(w^3 - d^3) \times t} \qquad \text{Ecuación 6.8}$$

- Donde:
- $\sigma_{nom}$ : Esfuerzo Nominal.
  - M: Momento alrededor del orificio.
  - w: Altura de la lámina.
  - d: Diámetro del orificio central.
  - t: Espesor de la lámina

Empleando el resultado de la ecuación anterior se puede establecer el valor de la resistencia a la fluencia requerida para la pieza manipulando la ecuación:

$$\sigma_{nom} = \frac{S_y}{N} \quad \text{Ecuación 6.9}$$

Los cálculos quedan de la manera siguiente:

$$\sigma_{nom} = \frac{6 \times (50 \text{ N} \times \text{m}) \times (0,05 \text{ m})}{((0,05 \text{ m})^3 - (0,025)^3) \times (0,006 \text{ m})} \quad \sigma_{nom} = 22,857 \text{ Mpa}$$

El valor de la resistencia a la fluencia requerido será:

$$S_y = (22,857 \text{ Mpa}) \times (3) \quad S_y = 68,571 \text{ Mpa.}$$

Si se inspeccionan las propiedades de los aceros al carbono como el AISI 1045, comúnmente usados para aplicaciones estructurales, se puede observar en la tabla 6.3 que tiene una resistencia mayor a la requerida. Lo cual permite el uso de este para la construcción de la lámina A.

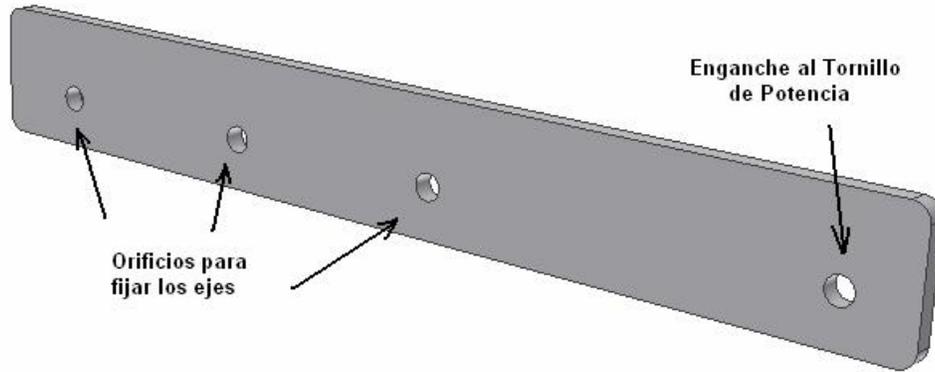
**Tabla 6.3** Propiedades el acero AISI 1045.

<b>AISI 1045</b>	<b><math>S_{ut}</math> (Mpa)</b>	<b><math>S_y</math> (Mpa)</b>
Rolado en Caliente	496	290

*Lámina B:*

En la parte posterior del eje central se tendrá la lámina B, dicha lámina une al eje central con el tornillo de potencia, el cual producirá el retorno del sistema a su posición de equilibrio. La forma rectangular de este elemento contará con cuatro orificios, dos para los ejes laterales, uno para afianzar el eje central y un orificio de enganche para el tornillo de potencia. El tornillo empujará de manera ascendente o

descendente, según el sentido que tenga el ensayo en ese momento, en el extremo donde se encuentra el orificio de enganche.



**Figura 6.8** Lámina B.

Se hace el cálculo de la fuerza que se va a necesitar producir con el tornillo, que es dependiente del brazo. Esta lámina se considera con un brazo de 0,20 m., por lo tanto la fuerza (ascendente o descendente) que se requiere para devolver un torque máximo de 50 N\*m, será:

$$M = b_b \times F_b \quad \text{Ecuación 6.10}$$

$$F_b = \frac{M}{b_b} \quad F_b = \frac{50 \text{ N} \times \text{m}}{0,20 \text{ m}} \quad F_b = 250 \text{ N}$$

Haciendo ahora el cálculo de la fatiga en la pieza utilizando las ecuaciones 6.8 y 6.9, tomando en cuenta el diámetro del orificio con magnitud 0,008 m.

$$\sigma_{nom} = \frac{6 \times (50 \text{ N} \times \text{m}) \times (0,05 \text{ m})}{((0,05 \text{ m})^3 - (0,008)^3) \times (0,006 \text{ m})} \quad \sigma_{nom} = 20,082 \text{ Mpa}$$

La resistencia a la fluencia requerida:

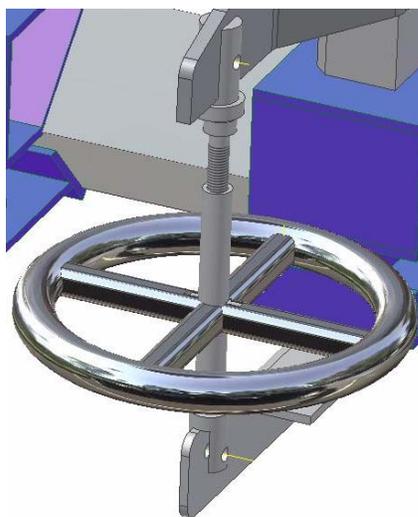
$$S_y = (20,082 \text{ Mpa}) \times (3)$$

$$S_y = 60,246 \text{ Mpa.}$$

Como en el caso de la lámina A, se observa que la resistencia a la fluencia requerida para la carga a la que se somete la lámina B, es cubierta fácilmente por las propiedades del acero al carbono AISI 1045 (tabla 6.3). Se hace válida entonces la escogencia de ese material para conformar la lámina B.

#### *Tornillo de Potencia.*

Éste elemento es el encargado del llamado “retorno” del sistema a la posición de equilibrio. Esto quiere decir que las láminas A y B estarán a nivel con el suelo, posición donde inicialmente se comenzó el ensayo. Al llegar a esta posición se transmitirá la fuerza a la probeta, torsionando la misma. El tornillo estará unido a la lámina B por un pequeño pasador, empujando o halando, dependiendo del sentido del ensayo o en el caso que se realice un ensayo donde se quiera comprobar el grado de histéresis. El movimiento se producirá debido a que un volante será unido al tornillo, la tuerca estará unida y fija a un soporte afianzado en la máquina, por lo tanto girará el tornillo elevándose o descendiendo según el sentido de giro que se aplique.



**Figura 6.9** Sistema del Tornillo de Potencia en la Máquina.

En base a que este trabajo se hace con la intención de construir hay que hacer fijar algunas variables que dependen de las piezas o materiales existentes en el mercado, que están ligados íntimamente con el cálculo de esta pieza. Específicamente con lo que tiene que ver con la barra roscada, en el mercado se consiguen principalmente barras con rosca tipo ACME debido a su facilidad para maquinar. Los diámetros viene normalizados y con medidas en pulgadas, y en su mayoría son hechas de acero SAE grado 2, salvo en las barras y tornillos de aplicaciones industriales grandes donde son hechas de acero SAE grado 8. Para los cálculos entonces se tomarán los valores de resistencia del acero SAE grado 2 y los valores de paso para roscas para tornillos ACME.

En el cálculo de la lámina B se determinó la fuerza que debía aplicarse con el tornillo de potencia y fue de 250 N. Para trabajar con los datos con que se cuenta, se pasa ese valor a unidades inglesas, siendo la fuerza de 56,20 lb., esta carga somete al tornillo a tensión directa, se estima la limitación de la tensión por esfuerzo a 500 lb/pulg<sup>2</sup>, por lo que se puede determinar el área de tracción requerida.

$$A_t = \frac{F}{\sigma_a} \quad \text{Ecuación 6.11}$$

Donde:  $A_t$ : Área de tracción requerida.  
 $F$ : Fuerza a aplicar  
 $\sigma_a$ : Esfuerzo de tracción límite.

Calculando:

$$A_t = \frac{56,20 \text{ lb}}{500 \frac{\text{lb}}{\text{pulg}^2}} \quad A_t = 0.1124 \text{ pulg}^2$$

Utilizando la tabla 18-1 pág. 729, de la referencia 5, se pueden establecer el diámetro nominal necesario usando el área de tracción que se calculó.

**Tabla 6.4** Extracto de la tabla 18-1 de la referencia 5.

<i>Diámetro nominal (pulg.)</i>	<i>Hilos por pulgada</i>	<i>Paso (pulg.)</i>	<i>Diámetro de paso mínimo (pulg.)</i>	<i>Área de esfuerzo por tracción (pulg<sup>2</sup>)</i>
1/2	10	0.100	0.4306	0.1225

Con el fin de calcular el torque necesario para producir la carga precisa hacia arriba, es necesario utilizar respectivamente las siguientes expresiones:

$$T_s = \frac{F \times D_p}{2} \times \left[ \frac{((\cos \phi \times \tan \lambda) + f)}{(\cos \phi - (f \times \tan \lambda))} \right] \quad \text{Ecuación 6.12}$$

Donde:  $D_p$ : Diámetro de paso.  
 $\Phi$ : Ángulo de cuerda de la rosca ACME  
 $f$ : Coeficiente de fricción.  
 $\lambda$ : Ángulo de desplazamiento.

El ángulo de cuerda de una rosca ACME tiene un valor  $\Phi=14.5^\circ$ , la referencia 2 establece que el coeficiente de fricción a usar debe ser mayor a  $\tan(\lambda)$ , para un tornillo de acero  $f=0.15$  es el valor común. El ángulo de desplazamiento se obtiene con la ecuación sucesiva:

$$\lambda = \tan^{-1} \left( \frac{p}{\pi \times D_p} \right) \quad \text{Ecuación 6.13}$$

Donde:  $p$ : paso de la rosca

Realizando los cálculos:

$$\lambda = \tan^{-1}\left(\frac{0.100}{\pi \times 0,4306}\right) \qquad \lambda = 4,227^\circ$$

Torque necesario para el movimiento en subida:

$$T_s = \frac{56,20 \text{ lb} \times 0,4306 \text{ pulg}}{2} \times \left[ \frac{((\cos 14,5 \times \tan 4,227) + 0,15)}{(\cos 14,5 - (0,15 \times \tan 4,227))} \right]$$
$$T_s = 2,80 \text{ lb} \times \text{pulg}$$

Regresando al Sistema Internacional de Medición con el cual se ha trabajado durante el contenido, se obtienen los valores de torque necesarios a aplicar por el operador con el volante del Sistema de Retorno.

$$T_s = 0,3164 \text{ N} \times \text{m}$$

Con ese torque se puede establecer la fuerza que tendría que dedicar el operador para devolver el torque máximo de la máquina, para ello se usa la ecuación básica de momento torsor.

$$M = b \times F \qquad \text{Ecuación 6.14}$$

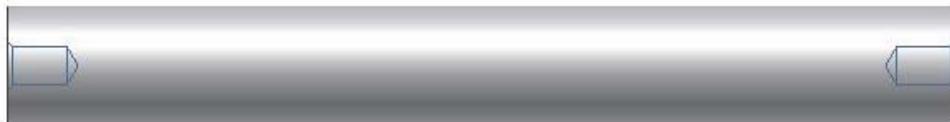
Pero se observa que en la ecuación existen dos incógnitas, el brazo y la fuerza a aplicar por el usuario. Afortunadamente el brazo del volante se puede variar a conveniencia, solamente teniendo cuidado que no se exceda de las fuerzas recomendadas en la tabla 4.1 del capítulo 4. El torque necesario es menor que en el caso del primer volante por lo tanto puede ser más pequeño, se propone entonces que

el radio del volante, es decir el brazo, sea de 0.08 m. Con lo cual al realizar el despeje de la ecuación 6.14 se obtiene la fuerza que se requiere aplicar.

$$F_s = \frac{T_s}{b} \qquad F_s = \frac{0,3614 \text{ N} \times \text{m}}{0,08 \text{ m}} \qquad F_s = 4,517 \text{ N}$$

### *Ejes Laterales*

Los ejes laterales tienen como principal función hacer del sistema de retorno un sistema rígido. Los ejes unen las láminas A y B, por lo tanto cuando se aplica fuerza con el tornillo de potencia se evita que la carga se aplique en el cuerpo del eje central, pues lo que se quiere es que toda la carga vaya hacia el extremo de ese eje donde se encuentra la mordaza. La principal sollicitación sobre estos ejes laterales es el momento flector que produce la fuerza aplicada sobre la lámina B al momento del retorno. Como la fuerza es de 250 N y la longitud entre los apoyos del eje en las láminas será de 0,140 m., el momento flector alcanza una magnitud de 35 N\*m.



**Figura 6.10** Eje lateral del Sistema de Retorno.

Para hallar el diámetro necesario de este eje se utiliza la misma expresión empleada en los casos anteriores, la ecuación 6.4. Con la particularidad en este caso que el eje no está sometido a momento torsor, como consecuencia de eso la ecuación se ve reducida de la siguiente manera.

$$D = \left[ \frac{32 \times N}{\pi} \sqrt{\left( \frac{K_T \times M}{S_e'} \right)^2} \right]^{1/3} \qquad \text{Ecuación 6.15}$$

Se toma como factor de concentrador de esfuerzos la rosca interna ( $K_t=1.0$ , Tabla 6.2), al igual que los casos anteriores se calcula  $S_e'$  con las ecuaciones 6.5, 6.6 y 6.7, con una confiabilidad también del 99% ( $C_R=0.81$ ), el material sigue siendo el acero AISI 4340.

$$S_e = 0,504 \times (745 \text{ Mpa})$$

$$S_e = 375,48 \text{ Mpa}$$

$$C_s = \left( \frac{20}{7,6} \right)^{-0.068}$$

$$C_s = 0,936$$

$$S_e' = 375,48 \text{ Mpa} \times 0,936 \times 0,81$$

$$S_e' = 284,673 \text{ Mpa}$$

El valor del diámetro del eje queda:

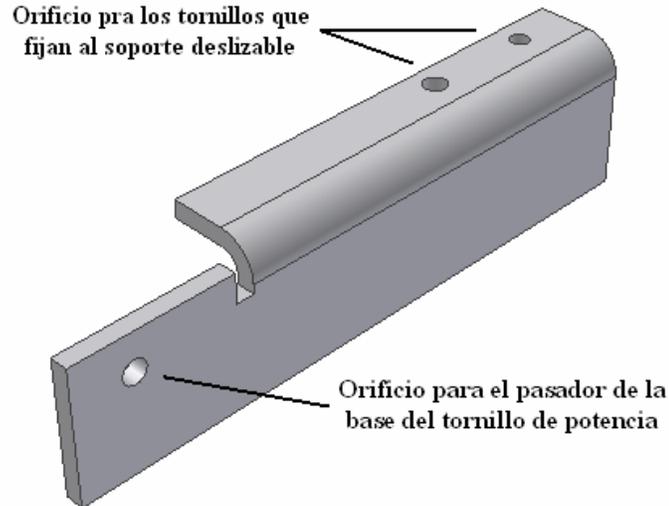
$$D = \left[ \frac{32 \times 3}{\pi} \sqrt{\left( \frac{(1.0) \times (35 \text{ N} \times \text{m})}{284,673 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}} \right)^2} \right]^{1/3} \quad D_1 = 0.015 \text{ m}$$

### *Rodamientos*

Sustentan al eje central y permiten que éste gire con facilidad, la condición de operación de la máquina hace que no sean sometidos a cargas importantes. En el ensayo se produce una carga axial producto del encogimiento del elemento ensayado, pero dicha carga es absorbida por el resorte en el eje de la caja reductora. Por lo tanto la selección de los rodamientos se limita al diámetro del eje que se va a sustentar, un rodamiento sencillo de bolas cumple con los requerimientos básicos.

### Lámina C.

El tornillo de potencia del sistema de retorno estará fijo sobre una lámina en la parte inferior del soporte deslizante donde se encuentra la lámina B. Denominada como Lámina C, la misma es afectada por la fuerza de reacción al desplazamiento del tornillo de potencia. Lo deseable es que la deflexión en la lámina sea la mínima posible, para ello se recurre a la forma de “L acostada”, donde la base del tornillo de potencia descansará sobre un extremo libre como se ve en la figura 6.11, debido a que apoyado en una geometría así la inercia disminuye el efecto de la deflexión.



**Figura 6.11** Lámina C.

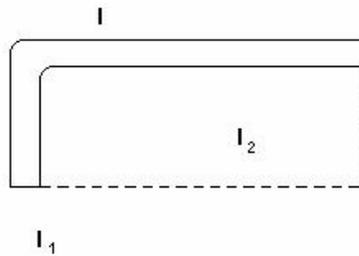
Para hallar el esfuerzo sobre esta pieza en el momento en que se aplica el torque máximo, es necesario calcular el momento de inercia de la pieza. Luego este valor se inserta en la ecuación de esfuerzo en una viga, debido a que esta lámina se comporta también como una viga.

$$\sigma = \frac{M_F \times c}{I}$$

Ecuación 6.16

Donde:  $M_F$ : Momento Flector debido a la fuerza de reacción.  
 $I$ : Momento de Inercia  
 $c$ : Cuerda de la viga.

La longitud de la lámina de la viga debe ser mayor al radio del volante del tornillo de potencia, por lo tanto se estima que la distancia mínima del punto de fuerza al extremo donde se encuentra atornillada la lámina al soporte deslizable, será de 0,15 m. Con lo cual se puede determinar que para una fuerza de reacción máxima de 250 N., el momento flector será de 37.5 N\*m. La cuerda de la viga ( $c$ ), viene representada por el valor de la distancia del extremo de la viga al centro de la misma. Para el cálculo de la inercia se utiliza como herramienta a figura 6.12, donde se puede notar que si se resta la inercia del rectángulo pequeño ( $I_2$ ) al rectángulo grande ( $I_1$ ), se obtiene la inercia del perfil deseado ( $I$ ).



**Figura 6.12** Diagrama para el cálculo de la inercia en la lámina C.

El momento de inercia de un rectángulo viene dado por la expresión:

$$I_{RECT} = \frac{b \times (h)^3}{12} \quad \text{Ecuación 6.17}$$

Donde:  $b$ : Base del rectángulo.  
 $h$ : Altura del rectángulo.

Los cálculos quedan como sigue a continuación:

$$I_1 = \frac{0,040 \times (0,020)^3}{12}$$

$$I_1 = 2,66 \times 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I_2 = \frac{0,040 \times (0,015)^3}{12}$$

$$I_2 = 1,125 \times 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I = I_1 - I_2$$

$$I = 1,535 \times 10^{-5} \text{ m}^4$$

Como se cuenta con la inercia entonces, se puede conseguir el esfuerzo sobre la lámina C de la siguiente manera:

$$\sigma = \frac{(37,5 \text{ N} \times \text{m}) \times (0,010 \text{ m})}{1,535 \times 10^{-5} \text{ m}^4}$$

$$\sigma = 0,02442 \text{ Mpa}$$

Si se observa la tabla 6.3, correspondiente a las propiedades de acero AISI 1045 rolado en caliente, se nota que el esfuerzo calculado está muy por debajo de la resistencia del material. Siendo una elección viable el acero AISI 1045 para esta aplicación. Queda por calcular que deflexión máxima de esta pieza por efecto de la carga, para lo cual se utiliza la ecuación 6.18.

$$y = \frac{F \times L^3}{3 \times E \times I}$$

Ecuación 6.18

Donde: y: Deflexión Máxima.

F: Carga aplicada.

E: Modulo de Elasticidad del material. (AISI 1045)

I: Momento de Inercia.

$$y = \frac{(250 \text{ N}) \times (0,15)^3}{3 \times \left( 200 \times 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right) \times (1,535 \times 10^{-5} \text{ m}^4)}$$

$$y = 9,16 \times 10^{-7} \text{ m}$$

Teóricamente se evidencia una deflexión por efecto de la carga aplicada de magnitud bastante baja

### *Pasadores y Tornillos.*

En algunas partes de la máquina se hace necesario el uso de pasadores y/o tornillos. Los elementos más críticos en este aspecto se presentan en el eje de salida de la caja reductora, en el eje central del sistema de retorno y en la unión de la lámina B con el tornillo de potencia. En los tres casos el pasador o el tornillo, la fuerza actúa a corte en la dirección transversal. En esta sección se hace el cálculo para determinar el diámetro mínimo de dichos pasadores y tornillos, cabe destacar que se harán los cálculos estimando el material de dichos elementos el acero SAE Grado 2, comercialmente usado para la fabricación de los mismos.

El primer caso es el de los pasadores en los extremos de los ejes centrales de la máquina, tanto el de salida de la caja como el eje central del sistema de retorno. Estos pasadores mantienen a cada mordaza fija al extremo de cada eje, por lo tanto se ven afectados directamente por el torque aplicado ya que lo transmiten del eje a la mordaza y viceversa respectivamente. De la referencia 5 y 6 se obtienen las ecuaciones que permiten calcular el diámetro del perno, si se hace a la resistencia a la deformación igual a la tensión de diseño.

$$d = \sqrt{\frac{4 \times T}{D \times \pi \times S_y}} \quad \text{Ecuación 6.19}$$

Donde:      d: Diámetro del pasador.  
              T: Torque aplicado sobre el elemento.  
              D: Diámetro del eje.

$$d = \sqrt{\frac{4 \times (50 \text{ N} \times m)}{(0.018) \times (3,1416) \times \left(393,01 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}\right)}} \quad d = 0,003 \text{ m}$$

Con el cálculo anterior se consigue que el pasador que se coloque en los extremos de los ejes puede tener un diámetro de 3 mm.

El otro caso importante es el de los tornillos o afianzadores que mantienen la posición entre el eje central del sistema de retorno y la lámina A. Dichos elementos se encuentran en una condición de corte, debido a que el medidor de torque aplica una fuerza de reacción sobre la lámina A, como se explicó en el cálculo de esa lámina. La magnitud de esa fuerza alcanzaría los 333,33 N., la cual se distribuiría entre los 4 afianzadores que atraviesan la lámina y la sección con forma de brida del eje central del sistema de retorno. Queda entonces que sobre cada uno de ellos la fuerza cortante alcanzará los 83,332 N., el material a usar será el acero SAE Grado 2 para el cual se cuenta con una tabla en la referencia 2, con las dimensiones métricas para tornillos de cuerda fina del cual se puede seleccionar el tornillo necesario.

Se calcula primero el valor del esfuerzo permisible para un tornillo hecho de acero SAE Grado 2, el cual tiene una resistencia a la deformación de 393,01 N.

$$\sigma_{adm} = 0,75 \times S_y \quad \text{Ecuación 6.20}$$

Donde:  $\sigma_{adm}$ : Esfuerzo admisible.

$S_y$ : Resistencia a la deformación.

$$\sigma_{adm} = 0,75 \times (393,01 \text{ Mpa}) \quad \sigma_{adm} = 294,75 \text{ Mpa}$$

Consecuente con esto, el área de tracción que se necesita para el tornillo se obtiene de:

$$A_t = \frac{F}{\sigma_{adm}}$$

Ecuación 6.21

Donde:  $A_t$ : Área transversal del tornillo.  
 $F$ : Carga aplicada sobre el tornillo.

$$A_t = \frac{83,33 \text{ N}}{294,75 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}$$

$$A_t = 2,8271 \times 10^{-7} \text{ m}^2$$

El área transversal necesaria llevada a  $\text{mm}^2$ , resulta en  $2,82 \text{ mm}^2$ . Es un área bastante pequeña debido a la diferencia entre la carga sobre el tornillo y la resistencia del material, si ahora se va a la tabla de la referencia 2, se puede seleccionar el diámetro del tornillo.

**Tabla 6.5** Extracto de la tabla 18-5 de la referencia 5.

<i>Diámetro mayor</i> (mm)	<i>Cuerdas Gruesas</i>		<i>Cuerdas Finas</i>	
	<i>Paso</i> (mm)	<i>Área de Esfuerzo de tracción.</i> ( $\text{mm}^2$ )	<i>Paso</i> (mm)	<i>Área de Esfuerzo de Tracción.</i> ( $\text{mm}^2$ )
2	0,4	2,07	0,25	2,45
3	0,5	5,03	0,35	5,61
4	0,7	8,78	0,5	9,79

En la tabla anterior se puede observar que los cuatro tornillos hechos con acero SAE grado 2 que unirán la lámina A con la sección bridada del eje central, pueden tener un diámetro mínimo de 3 mm., tanto para rosca gruesa como para rosca fina.



**Tabla 6.6** Extracto de la tabla 10-1 de la referencia 5, con la escogencia hecha.

<i>Diámetro nominal del eje</i>		<i>Tamaño nominal de la chaveta</i>	
			<b>Altura H</b>
<b>Más de</b>	<b>Hasta (incluso)</b>	<b>Espesor, W</b>	<b>Cuadrada</b>
7/8 ”	1 1/4 ”	1/4 ”	1/4 ”

Comercialmente en su mayoría las chavetas se fabrican de acero 1020 CD, este material es más suave que el eje, por lo tanto para calcular la longitud mínima necesaria de la chaveta se usa la expresión:

$$L = \frac{4 \times T \times N}{D \times W \times S_y} \quad \text{Ecuación 6.22}$$

Donde: L: Longitud mínima de la chaveta.  
 T: Torque.  
 D: Diámetro del eje.  
 W: Espesor de la Chaveta.

$$L = \frac{4 \times (50 \text{ N} \times \text{m}) \times (3)}{(0,024 \text{ m}) \times (0,006) \times \left( 352 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \right)} \quad L = 0,011 \text{ m}$$

Con respecto a la profundidad cuñero del eje, ésta se determina utilizando la siguiente ecuación:

$$S = \frac{D - H + \sqrt{D^2 - W^2}}{2} \quad \text{Ecuación 6.23}$$

Donde: S: Distancia desde el borde opuesto al cuñero a la base del cuñero.  
 D: Diámetro del eje en la sección.  
 H: Altura de la cuña.  
 W: Espesor de la Cuña.

$$S = \frac{(0,024 \text{ m}) - (0,006) + \sqrt{(0,024)^2 - (0,006)^2}}{2} \quad S = 0,021 \text{ m}$$

Por lo tanto la profundidad mínima de penetración en el eje para hacer el cuñero, debe ser de 3 mm. Es importante señalar en este punto que las dimensiones de la cuña se van a adaptar a las dimensiones de fabricación de la caja reductora que se adquirió. Por lo tanto la maza de la caja reductora hace que la chaveta cambie su espesor final a 7 mm y sea una chaveta larga.

#### *Mordazas.*

El implemento que se utiliza para sujetar la probeta o el elemento al cual se le aplique el torque, debe permitir la sujeción de varios diámetros y formas para obtener una máquina más versátil. La mayoría de las máquinas que se describieron en el Capítulo 3, usan mordazas en forma de mandíbula o en forma de dado, pues generalmente las probetas que se ensayan en ellas tienen los extremos hexagonales. Las mordazas se fabrican bajo condiciones bastante precisas y normalmente reciben algún tipo de tratamiento térmico para aumentar su dureza y resistencia a la deformación en las áreas de contacto con las probetas.

Entre las opciones que se ofrecen en el mercado que pueden adaptarse a este equipo, se optó por la selección de un juego de mini-platos para torno, con los cuales se puede sujetar elementos de diferentes tamaños y formas. Estos platos tienen 3 mordazas autocentrantes, que permiten apretar y centrar piezas circulares y piezas prismáticas de 3 y 6 lados con facilidad. Los platos de torno tienen la ventaja de

permitir intercambiar el juego de mordazas para colocar otras con la forma adecuada para aumentar el diámetro de la pieza que se sujete.

### *Bancada*

La bancada es la parte que soporta los elementos de la máquina, por lo tanto se ve afectada por el peso de los mismos y también por las reacciones que se generan al aplicar el torque al elemento. Para esta máquina se pensó en una bancada de forma cuadrada, con el fin de asegurar un área de contacto fija del mayor tamaño posible, así se disminuye la presión superficial sobre el material de la bancada lo que reduce los esfuerzos concentrados. Las piezas de la máquina estarán montadas sobre unos soportes deslizables que se adaptarán a la forma de la bancada, por lo tanto las áreas de contacto serán cuadrados que dependerán del ancho del soporte. La forma de la bancada determina un tubo cuadrado que puede ser macizo o hueco, en el caso del diseño se escogió hueco para aligerar el peso de la máquina y disminuir costos de fabricación. Por lo tanto la orientación del tubo será en forma romboidal con respecto a la mesa, debido a que se aumenta la inercia comparativamente al cuadrado de caras paralelas a la mesa.

Los efectos a los que se somete la bancada son: la torsión de reacción de la probeta ensayada y la deflexión por el peso de las partes sobre ella. De la gama de tubos cuadrados en el mercado se escogió un tubo estructural cuadrado de 60 x 60 x 2,25 mm., para el cual se hacen los cálculos correspondientes a las cargas antes citadas.

Para medir el efecto de la torsión sobre la bancada se usa el método para torsión en tubos huecos de pared delgada <sup>(5)</sup>. Se considera nuevamente 3 como factor de seguridad ( $\eta$ ) y las ecuaciones para hallar el esfuerzo cortante máximo y ángulo de torsión respectivamente de la siguiente manera:

$$\tau_{\max} = \frac{\eta \times T}{Q} \qquad \text{Ecuación 6.24}$$

$$\theta = \frac{\eta \times T \times L}{G \times K} \quad \text{Ecuación 6.25}$$

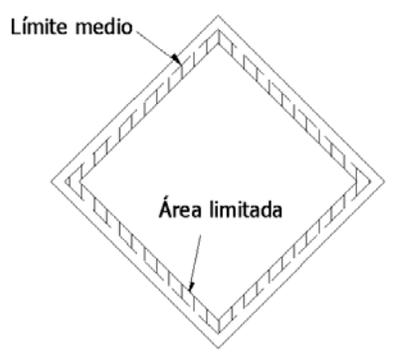
Donde: L: Longitud del tubo.  
 G: Módulo de Rigidez del material del tubo.  
 T: Torque máximo aplicado

Los factores K y Q viene dados por las expresiones:

$$K = \frac{4 \times A^2 \times t}{U} \quad \text{Ecuación 6.26}$$

$$Q = 2 \times t \times A \quad \text{Ecuación 6.27}$$

Donde: A: Área definida por el límite medio.  
 t: Espesor de la pared.  
 U: Longitud del límite medio.



**Figura 6.14** Límite medio y el área que define.

De las dimensiones en la figura 6.14, podemos deducir que el área definida por el límite medio es de 0,00015 m<sup>2</sup> y longitud del límite medio es 0,235 m., junto al espesor de 2.25 mm., se tiene que los valores de K y Q son:

$$K = 5,74 \times 10^{-6}$$

$$Q = 7,50 \times 10^{-7}$$

Lo que tiene como consecuencia que los valores de esfuerzo cortante máximo y del ángulo de Torsión, para una bancada de 1 metro de largo, sean los siguientes:

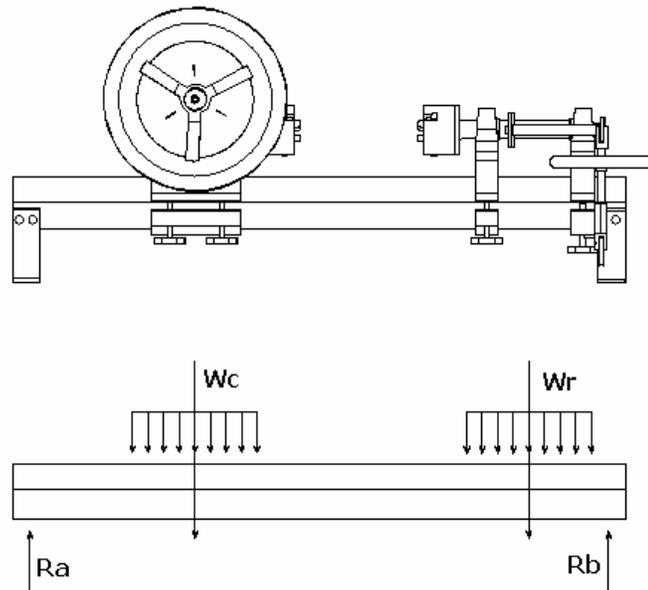
$$\tau_{\max} = 200 \text{ Mpa}$$

$$\theta = 0,0003^\circ$$

El esfuerzo de fluencia para un acero estructural es de 250 Mpa. Por lo tanto se ratifica que el esfuerzo en la máquina considerando el factor de seguridad 3, está por debajo de ese valor.

El otro valor de cuidado es la deflexión que tendrá el tubo estructural que funge como bancada, en este caso se considera al tubo como una viga simplemente apoyada en sus extremos. La carga sobre la bancada es la ejercida por el peso de los soportes deslizables, la caja, los volantes, los ejes, las láminas y las mordazas; que se pueden agrupar en dos: el sistema de la caja y el sistema de retorno.

Ambos sistemas representan cargas distribuidas sobre la bancada, que pueden ser concentradas en un punto. De la misma manera hay que considerar la reacción en los apoyos, que en este caso lo representan las patas de la máquina, las cuales serán láminas dobladas en 90° y 45° en sus extremos y estarán atornilladas a la bancada; siendo el extremo a 90° el que se una a la bancada.



**Figura 6.15** Distribución de pesos en la bancada.

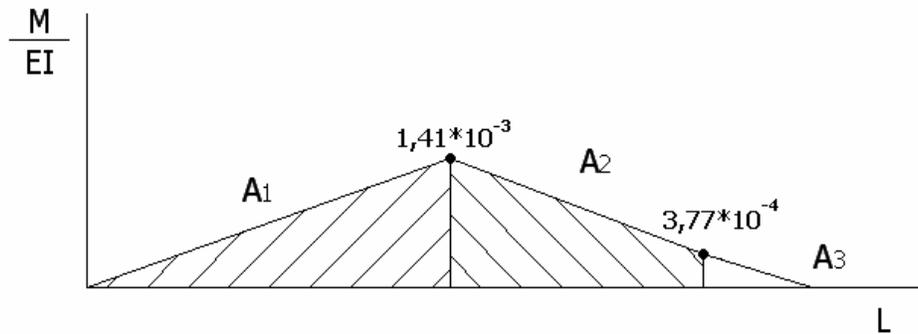
La orientación romboidal del tubo hace que la inercia sea mayor que en el caso de que estuviese con una de sus caras paralelas a la mesa, el valor de dicha inercia para el tubo estructural de 60 x 60 x 2.25 mm., es de  $3,82 \times 10^{-7} \text{ m}^4$ .

Los valores de  $W_c$  y  $W_r$  corresponden a los pesos del sistema de la caja y de retorno respectivamente en la tabla siguiente se enlistan los pesos de cada elemento:

<i>Sistema de la Caja</i>		<i>Sistema de Retorno</i>	
Caja Reductora	3,50 kg.	Eje Central	1,05 kg.
Soporte	4,60 kg.	Laminas	1,35 kg.
Mordaza	1,50 kg.	Rodamientos	1,60 kg.
Eje Central	0,60 kg.	Soportes	3,00 kg.
Volante	1,10 kg.	Volante	0,40 kg.
		Mordaza	1,50 kg.

**Tabla 6.7** Pesos de los componentes sobre la bancada.

Con la información de los pesos se hizo el estudio de la deflexión aplicando el método de Área – Momento, se escogió para el cálculo tipo la situación más desfavorable, que sería con el sistema de la caja (el más pesado de ambos y es que se desliza por la bancada al hacer el ensayo) en el medio, quedando el diagrama como lo indica la figura 6.16.



**Figura 6.16** Diagrama Área – Momento de la bancada.

El área  $A_1$  representa la zona de mayor influencia por efecto del peso, determinando el pico de ésta se obtiene el valor máximo de la deflexión ( $y_{\max}$ ), a través de la ecuación que proporciona el método.

$$y_{\max} = \frac{2 \times b}{3} (A_1) \quad \text{Ecuación 6.28}$$

Donde:        b: Base del triángulo que forma al área  $A_1$   
                    $A_1$ : Magnitud del área del triángulo.

La magnitud del área  $A_1$ , por ser un triángulo, se obtiene tomando como altura el valor de  $M/EI$  y base la longitud, y tiene una cuantía de  $3,525 \times 10^{-4}$ . Por lo que la deflexión máxima alcanza un valor de:

$$y_{\max} = 0,000117 \quad m$$

### *Bastidor.*

El bastidor es la pieza encargada de soportar la balanza con la cual se determina el torque aplicado. Por lo tanto se realizó el estudio de las fuerzas que participarían sobre ella, al momento que se aplica la carga máxima. Si se sometiera la balanza a la máxima carga que soporta, la fuerza que se genera en el punto la viga que la sostiene del bastidor de aluminio sería de 441,45 N. En ese punto se va a sostener la balanza con un perno. Si el perno se escoge de un material más duro que el aluminio se corre el riesgo de que el esfuerzo dañe la viga de aluminio, por lo tanto se escogió hacer el perno de aluminio, para determinar el espesor de éste se calculó el esfuerzo admisible (factor de seguridad= 3) y luego el diámetro a través de las siguientes ecuaciones:

$$\tau_{adm} = \frac{S_y}{\eta} \quad \text{Ecuación 6.29}$$

Donde:  $\tau_{adm}$ : Esfuerzo admisible.  
 $S_y$ : Esfuerzo de Fluencia del Aluminio 6062-T6 (140 Mpa)  
 $\eta$ : Factor de seguridad.

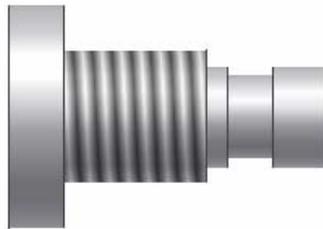
$$d = \sqrt{\frac{4 \times F}{\pi \times S_y}} \quad \text{Ecuación 6.30}$$

Donde: F: Fuerza aplicada a corte sobre el perno.  
d: Diámetro del perno.

$$\tau_{adm} = \frac{140 \text{ Mpa}}{3} \quad \tau_{adm} = 46,67 \text{ Mpa}$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \times (441,45 \text{ N})}{\pi \times \left(46,67 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}\right)}} \quad d = 3,4 \text{ mm}$$

El tornillo requiere una muesca especial para poder sostener la balanza sin que se corra al ejercer la fuerza. Por lo tanto el tornillo se diseñó de un espesor de 9,5 mm., con una muesca de 1,5 mm. para que calce el gancho de la balanza. Quedando es diámetro del perno que sostiene la balanza en 6,5 mm. El tornillo tiene la apariencia que se muestra en la figura que sigue.



**Figura 6.17** Perno de unión Balanza-Bastidor.

El bastidor tendrá una forma parecida a la letra griega “π”, con dos pletinas rectangulares de aluminio afianzadas con tornillos a los lados del soporte deslizante del primer rodamiento del sistema de retorno. Dichas pletinas actuarán de columnas a otra pletina rectangular, dispuesta en forma de viga la cual sostiene la balanza. Por lo tanto se ve sometida a un esfuerzo que puede generar deflexión. Para reducir ese efecto al mínimo debido a que puede alterar la medición en la balanza, se dispuso la viga con el lado más largo del rectángulo perpendicular al suelo, de manera que represente una mayor inercia contra la fuerza. El extremo libre de dicha viga es de 0,075 m., tomando en cuenta la carga de 441 N, la inercia de la pletina y el Módulo de Elasticidad del aluminio (70 Gpa.). Utilizando en método de área-momento, el valor de la deflexión queda en 0,0000017 m.

## **CAPITULO VII**

### **MÁQUINA DE ENSAYO DE TORSIÓN ESTÁTICA FINAL.**

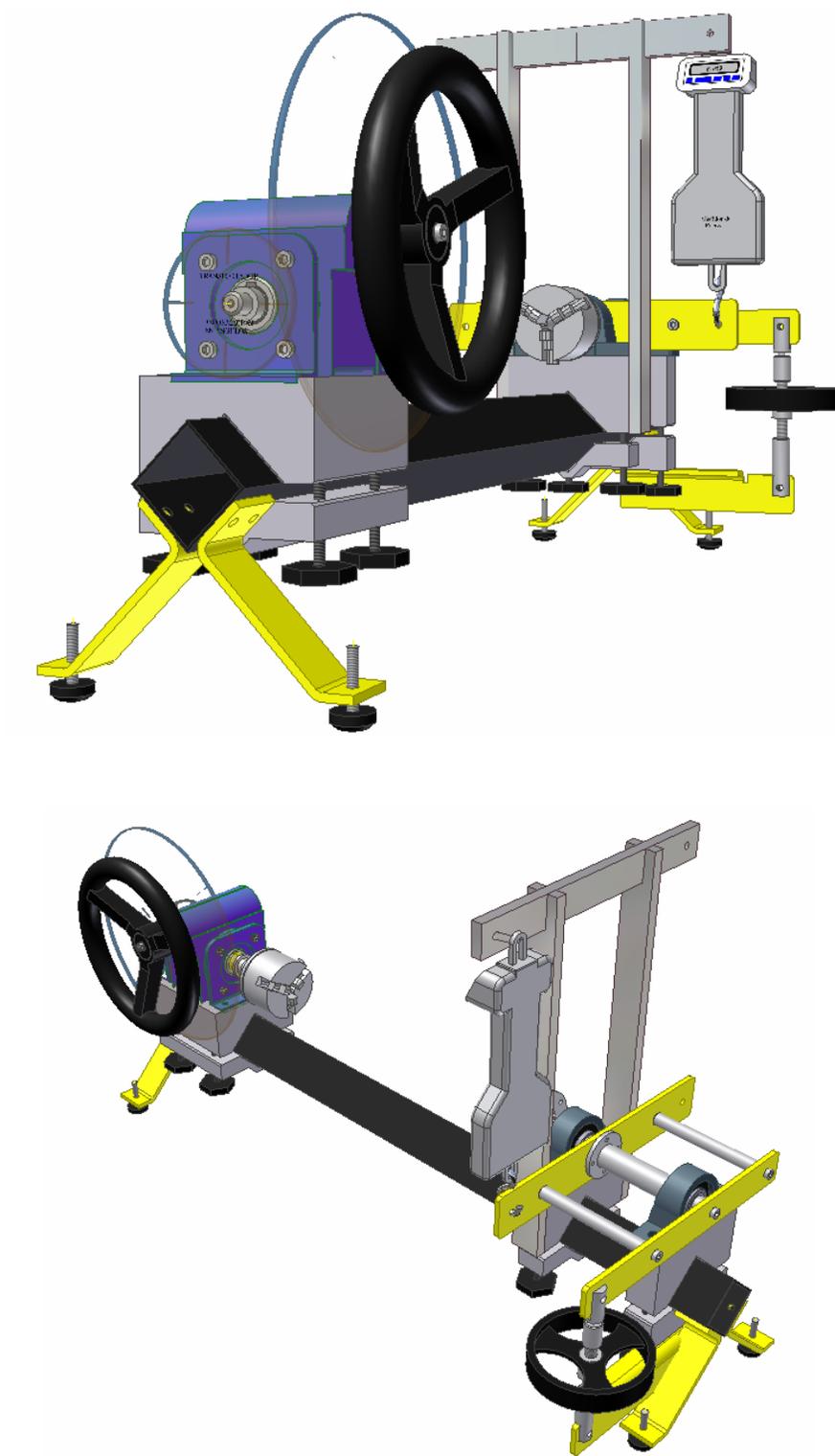
#### **7.1 INTRODUCCIÓN.**

En los capítulos anteriores se describió los pasos del diseño desde que se establecieron los parámetros ergonómicos, su concepción a través de el uso de técnicas creativas y finalmente en el capítulo anterior se expusieron los cálculos y consideraciones ingenieriles que requería el diseño. El capítulo que sigue representa de manera breve la síntesis de todos los pasos y la respuesta al los objetivos de este trabajo.

#### **7.2 RESULTADO DEL DISEÑO.**

Luego de haber analizado todas las variables correspondientes al diseño, tanto de dimensiones, fuerzas, materiales y accesorios. Se ha llegado a una respuesta para la tarea propuesta. Utilizando las herramientas CAD, Autodesk Inventor y el AutoCAD 2004, se logró dar la exactitud dimensional necesaria a cada pieza perteneciente al conjunto. El Autodesk Inventor fue la herramienta fundamental debido a que permitió construir cada pieza individualmente, con los detalles necesarios e inclusive actualizando el ensamblaje en caso de algún cambio. Con el AutoCAD se realizaron los planos para la fabricación, puliendo los detalles que la herramienta de planos del Inventor no considera.

Ensamblándolas una a una en un modelo virtual, se pudo verificar dichas dimensiones y ajustarlas en el caso de alguna superposición entre piezas, a su vez se estableció el desplazamiento funcional de la máquina. En la figura siguiente se ilustra el prototipo tal cual como se concibió antes de su construcción.

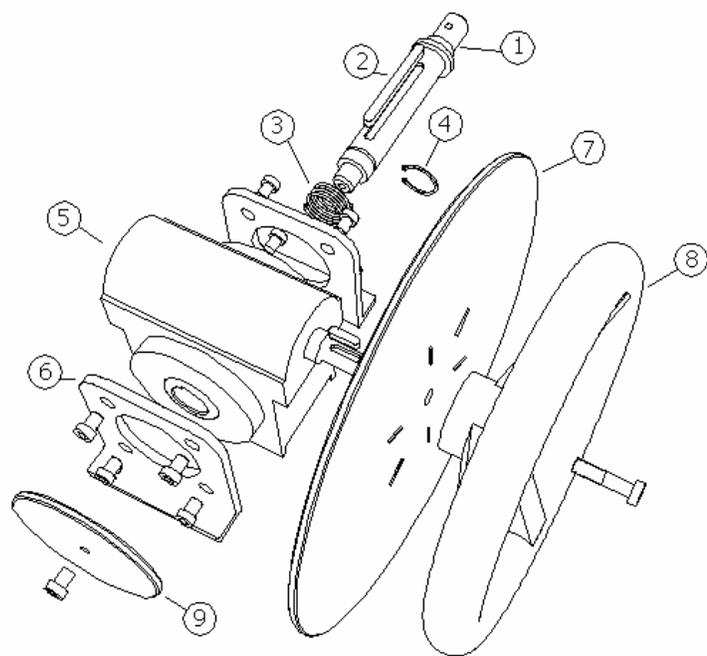


**Figura 7.1** Máquina de Ensayo de Torsión Estática UCV-MC01

En vista que se utiliza una balanza con la cual se obtiene una lectura en kilogramos, se suministra una tabla con la cual se pueden determinar rápidamente los valores de torque que se aplican durante el ensayo, también se facilita el valor del brazo de la lámina A, a la cual está sujeta dicha balanza.

**Tabla 7.1** Valores correspondientes entre Peso y Torque.

<b>Kilogramos</b>	<b>N*m</b>
0,05	0,073
0,10	0,147
0,20	0,300
0,30	0,441
0,50	0,735
1	1,471
2	2,943
3	4,414
5	7,357
7	10,300
9	13,243
10	14,715
15	22,072
20	29,430
25	36,787
30	44,145
34	50,031
45	66,217



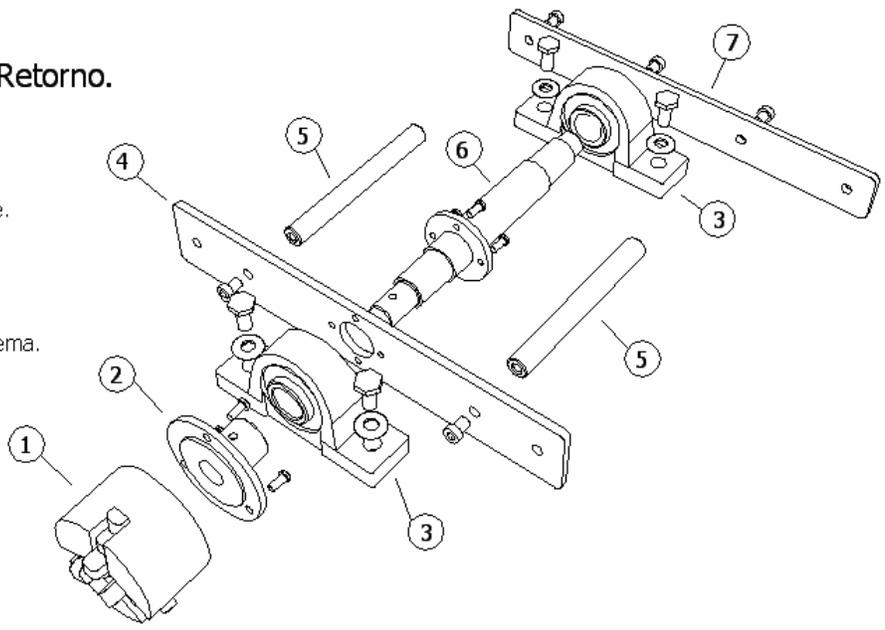
**Sistema de la Caja Reductora.**

- 1. Eje de la caja.
- 2. Chaveta.
- 3. Resorte.
- 4. Anillo de Retención.
- 5. Caja Reductora.
- 6. Patas de la Caja Reductora.
- 7. Transportador de Ampliación.
- 8. Volante.
- 9. Transportador para la Deformación.

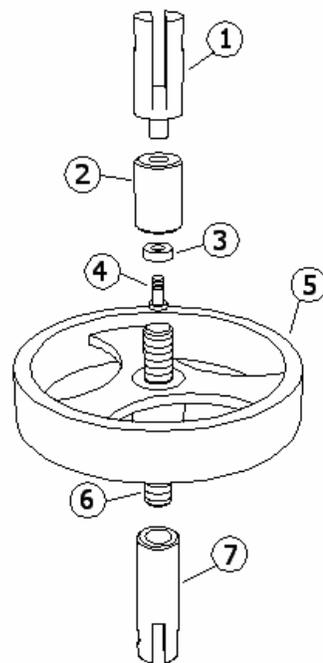
**Figura 7.2** Despiece del Sistema de la Caja.

**Sistema de Retorno.**

- 1. Plato Autocentrante.
- 2. Soporte del plato.
- 3. Rodamiento.
- 4. Lámina A.
- 5. Ejes laterales.
- 6. Eje Central del sistema.
- 7. Lámina B.



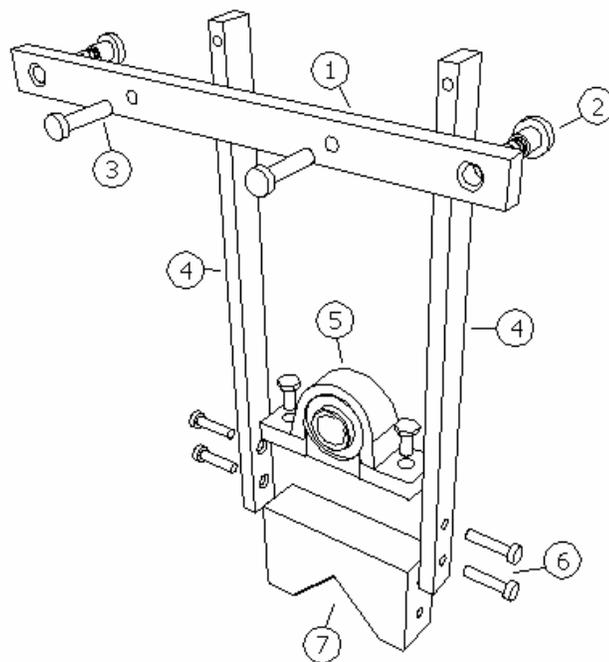
**Figura 7.3** Despiece del Sistema de Retorno.



## Sistema de Empuje

1. Extremo impulsor.
2. Tuerca Superior.
3. Arandela.
4. Tornillo.
5. Volante.
6. Barra Roscada.
7. Tuerca Inferior.

**Figura 7.4** Despiece del Sistema de Empuje.



## Bastidor.

1. Pletina horizontal.
2. Perno de soporte de la balanza.
3. Torrillo de unión pletina-columna.
4. Columna.
5. Rodamiento.
6. Tornillos de unión soporte-bastidor.
7. Soporte del rodamiento.

**Figura 7.5** Despiece del Bastidor

### 7.3 FICHA TÉCNICA.

#### Máquina de Ensayo de Torsión Estática UCV-MC01



#### *Características.*

Capacidad de Torque 50 N\*m.

Lectura directa de deformación.

Adecuada para el ensayo de probetas hasta su destrucción.

Acepta probetas de hasta 400 mm. de longitud.

Capacidad para realizar ensayos de histéresis.

Capacidad para sujetar elementos prismáticos y circulares.

#### *Descripción.*

Esta máquina fue diseñada para medir la fuerza aplicada sobre la probeta, debido a que consta con un brazo fijo (0.15 m) desde el eje de la probeta hasta el agujero de unión con la balanza, se puede conocer el valor del torque multiplicando ambas magnitudes. Un tubo cuadrado de acero estructural sostiene los dos sistemas de la máquina, el sistema de la caja (cabezal de deformación) y el sistema de retorno, los cuales están colocados sobre soportes deslizables hechos en aluminio fundido. El

usuario aplica la carga usando una caja reductora de relación 60:1, el eje de la caja permite un pequeño movimiento axial para compensar algún cambio de longitud en la probeta. Al otro extremo se encuentra el sistema de retorno, en donde se registra el valor de la fuerza aplicada y en el cual se devuelve a cero la balanza. Las probetas se sujetan con dos platos de tres mordazas autocentrantes, que permiten sostener elementos de forma prismática (3, 6 o 12 lados) y circulares. El bastidor que sustenta el medidor de fuerza es hecho en aluminio extrudido.

#### *Rango de Experimentos.*

Verificación de la Ecuación de Torsión Elástica.

Determinación de los rangos elástico y plástico de una probeta de un material sometido a torsión.

Pruebas de Torsión para determinar el efecto de la histéresis en un elemento.

Determinación de módulos de ruptura en Torsión.

Se pueden determinar los efectos del tratamiento térmico (en caso de poseer las herramientas para realizarlo), en la fuerza de torsión sobre una probeta.

#### *Especificación Técnica.*

Capacidad Nominal: 50 N\*m (500 lb.\*in)

Balanza digital con capacidad de hasta 45 Kg. x 0.05 kg. (Con capacidad de medir también en libras)

Relación de Reducción 60:1

Dos transportadores que dan una precisión de avance de 1° y 0,1°.

Dos platos autocentrantes de 80 mm. de diámetro, con capacidad de apertura recomendada de hasta 30 mm. de diámetro.

#### *Dimensiones y peso.*

La mesa de trabajo debe poseer una tabla con dimensiones mínimas de 1,50 x 1 m.

Las dimensiones de la máquina son 1,30 x 0,43 x 0,60 m.

La máquina tiene un peso aprox. de 27 Kg.

#### 7.4 PRÁCTICA DE LABORATORIO SUGERIDA.

##### *Objetivo.*

Obtención del Módulo de Rigidez del metal a ensayar así como observar el comportamiento del material sometido a Torsión en los rangos elásticos y plásticos.

##### *Procedimiento.*

- 1.\_ Fijar la probeta en las mordazas, del cabezal de deformación (sistema de la caja) y del cabezal de retorno (sistema de retorno).
- 2.\_ Nivelar las láminas del sistema de retorno y encerar la balanza.
- 3.\_ Ajustar los transportadores medidores de deformación en cero.
- 4.\_ Se gira un cierto ángulo con el volante de la caja reductora, inmediatamente se registra el valor de la carga en la balanza y se hace la conversión en torque.
- 5.\_ Se descarga a la balanza girando el volante del sistema de retorno en el sentido adecuado según el sentido giro que se esté aplicando a la probeta.

Es importante señalar que el volante del sistema de retorno en su parte superior cuenta con un juego que permite a las láminas del sistema de retorno moverse con libertad al aplicar la carga, se debe estar pendiente antes de realizar el ensayo colocar la altura del extremo en juego en la posición adecuada para permitir el movimiento de las láminas.

##### *Tabla de datos.*

Tabla 1 Datos correspondientes al ensayo de Torsión.

$\eta$	$\theta$ [grad.]	$\theta$ [rad.]	$\gamma$ [rad.]	W [Kg.]	T [N*m]	$\tau$ [N/m <sup>2</sup> ]

Tabla 2 Datos geométricos de la probeta.

<b>d [m]</b>	
<b>r [m]</b>	
<b>L [m]</b>	
<b>I<sub>p</sub> [m<sup>4</sup>]</b>	

*Cálculos y fórmulas a utilizar.*

Directamente del ensayo a medida que se aplica un ángulo de torsión se puede tomar directamente el valor del peso (W), utilizando la tabla 7.1 de este capítulo se puede conocer fácilmente el valor del torque aplicado.

Con los datos dimensionales y el ángulo de torsión que se proporciona, se puede determinar la deformación cortante del elemento en cada medición ( $\eta$ ), a través de la fórmula:

$$\gamma = \frac{r \times \theta}{L}$$

En donde para el cálculo, se usa el valor del ángulo de torsión en radianes.

El esfuerzo cortante sobre el elemento se puede determinar considerando el momento de inercia de la probeta o el elemento al cual se le aplique la carga, el torque y el radio del elemento. Lo cual se resume en la ecuación siguiente:

$$\tau = \frac{T \times r}{I_p}$$

La Ley de Hooke permite conocer el valor del Módulo de Rigidez o Módulo Cortante del material, lo cual deja abierta la posibilidad de entregar a los estudiantes una probeta de material desconocido ó que en la práctica se verifique el valor teórico de dicho módulo para un material específico. El valor de la constante G (Módulo de Rigidez) se consigue utilizando la fórmula a continuación:

$$G = \frac{\tau}{\gamma}$$

*Alcances al final de la actividad.*

Obtención del Módulo de Corte del material.

Dibujar y analizar la curva característica del material de la probeta con la gráfica, Torque Vs. Angulo de Torsión.

Obtención del límite de proporcionalidad del material a torsión y la determinación aproximada del rango de valores donde se encuentra el punto de cedencia en caso de existir.

*Recomendaciones para enriquecer la práctica de laboratorio.*

Sería de gran valía además de realizar la práctica propuesta, añadir el tratamiento térmico a probetas, que ya se hayan ensayado y realizar las gráficas de Torque vs. Ángulo de torsión, de manera que el estudiante pueda comprender con facilidad de manera gráfica el efecto que puede tener sobre un elemento a torsión el tratamiento térmico, ya sea para endurecer, ductilizar o fragilizar un elemento.

También se pueden esforzar las probetas hasta que fallen para que el estudiante pueda visualizar como fallan a esfuerzo cortante en torsión probetas de material dúctil o frágil.

## CAPÍTULO VIII

### FABRICACIÓN.

#### 8.1 INTRODUCCIÓN.

El último capítulo de este trabajo especial de grado, describe los aspectos relevantes que conciernen a la fabricación del diseño obtenido en el capítulo anterior. Así como también las recomendaciones para la correcta operación y el mantenimiento de dicha máquina; finalmente se presenta la ficha técnica de la máquina.

#### 8.2 DESCRIPCIÓN DE LA FABRICACIÓN.

Una vez calculadas las piezas que conforman la máquina se procede a la construcción de la misma, para la fabricación de la mayoría de las piezas maquinadas se eligió el Taller Mecánico de la Escuela Técnica Don Bosco, esto debido a la calidad de las piezas que allí se realizan. Este taller consta de una gama de máquinas entre las que se destacan Tornos, Fresadoras, Taladros de Columna y demás equipos incluyendo máquinas de control numérico para trabajar las piezas con una excelente precisión. Por ultimo en los Talleres de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la UCV se realizo el trabajo de ensamblaje final, se corrigieron todos los detalles de la construcción y se realizo el pintado de las piezas.



**Figura 8.1** Vista General del taller de la Escuela Técnica Don Bosco

La maquina de ensayo de torsión estática consta de varios componentes que a continuación serán expuestos:

- Bancada principal.
- 4 soportes de acero para la bancada (patas)
- 4 tornillos para nivelación con cabeza de goma antiresbalante.
- 1 caja reductora.
- 2 laminas soportes (patas) para la caja reductora.
- 2 rodamientos de puente o chumaceras.
- 6 soportes de aluminio para la caja reductora y rodamientos.
- 3 laminas de acero para el sistema de retorno.
- 1 eje central de acero para la caja reductora.
- 1 eje central de acero para el sistema de retorno.
- 2 ejes de acero para estabilidad del sistema de retorno.
- 2 volantes de plástico para entrada de movimientos.
- 1 barra roscada para el movimiento del volante del sistema de retorno.
- 2 mordazas para sujeción de probetas tipo plato de torno.
- 2 flangers para soporte de las mordazas tipo plato de torno
- 2 niveladores de burbuja.
- 2 transportadores de acrílico para medición de ángulos de torsión.
- 1 balanza digital
- 1 soporte de aluminio tipo pórtico para la balanza.

*Balanza:*

Para la obtención de los datos sobre el torque aplicado a la probeta existen varios instrumentos de medición, entre los que se pueden mencionar:

- Un medidor de torque o “torquímetro”.
- Una celda de carga que proyecta valores directamente a un display digital.
- Balanza mecánica medidora de masa tipo reloj.
- Balanza digital medidora de masa.

Las dos primeras alternativas (torquímetro y celda de carga) no eran las mas adecuadas debido a su alto costo en el mercado, varios de los torquímetros consultados oscilaban los 1000 y 1500\$ mientras que las celdas de cargas eran vendidas acompañadas de su respectivo software a un costo aproximado de 2000\$, por dichos motivos se descartaron esos instrumentos.

Con respecto a las balanzas se encontraron en el mercado balanzas tipo reloj las cuales poseen un rango de medida entre 5 Kg. y 100 Kg., los dos principales problemas que ofrecen este tipo de balanza son su poca apreciación de medida  $\pm 0,2$  Kg. y su gran diámetro del reloj lo cual dificulta la instalación en la máquina de ensayo.



**Figura: 8.2** Balanzas mecánica tipo Reloj.

Se decidió utilizar una balanza colgante digital la cual ofrece una apreciación de medida de  $\pm 0,05$  Kg. lo que constituye una ventaja ya que disminuye significativamente el error de medida.



**Figura 8.3** Balanza digital.

*Mordazas:*

Para la sujeción de las probetas a ensayar se pensó en utilizar un mandril autocentrante para taladro de sujeción por giro, este mecanismo sujeta la probeta con tres o mas garras pero generalmente esta diseñado para trabajar a compresión mientras hace girar al elemento que esta sujetando, uno de los inconvenientes que presenta este dispositivo es que no ofrece un amplio diámetro de agarre lo que lo hace poco deseable para manejo de probetas de diámetros mayores a 2 cm.



**Figura 8.4** Mandriles de sujeción tipo para taladro.

Se decidió utilizar una mordaza tipo plato para torno con diámetro exterior de 80 cm. con espalda plana y con sistema de sujeción por llave allen autocentrantes e intercambiables, este dispositivo ofrece un mayor rango para la sujeción de distintos diámetros de probetas y a su vez ofrece tres puntos de contacto para cabezas de probetas hexagonales que son las que comúnmente se utilizan para los ensayos de torsión.



**Figura 8.5** Mandril de sujeción tipo torno

*Rodamientos:*

Los rodamientos de tipo chumacera o puente fueron elegidos por su fácil aplicación y montaje, aunque el funcionamiento de este dispositivo en la maquina no será tan exigido a nivel de revoluciones, si será exigido a nivel de carga a soportar, este dispositivo se encargara de soportar el eje central del sistema de retorno, dicho rodamiento consta de un prisionero de fijación de ejes lo cual lo hace ideal para trabajar el aplicaciones donde se necesita precisión y exista poca velocidad y poca vibración.



**Figura 8.6** Rodamiento tipo puente o chumacera

*Volantes:*

La maquina de ensayo de torsión constará de dos volantes para suministro de movimientos, el volante de mayor diámetro estará acoplado a la caja reductora y servirá para suministrar la a la probeta, el volante de menor diámetro estará acoplado al tornillo de potencia del eje de retorno y servirá para proporcionar el movimiento de equilibrio opuesto al que genera la caja reductora y así obtener la deformación de la probeta. El material de dichos volantes es plástico reforzado para trabajo pesado, este tipo de material disminuye considerablemente el peso que se colocará sobre la bancada.



**Figura 8.7** Volantes de plástico para suministro de movimientos

*Soportes de aluminio:*

Sobre la bancada de la maquina se colocaran seis soportes (tres superiores y tres inferiores) que servirán para mantener los dos rodamientos y la caja reductora, dichos soportes serán construidos de aluminio para disminuir la carga sobre la bancada y los mismos poseen tornillos ajustables para que puedan ser trasladados a lo largo de toda la bancada y ajustar las mordazas a la longitud de las probetas que se desea ensayar. La fabricación de los soportes se realizo por fundición, primero se elaboro un molde de arena con la forma aproximada para luego obtener el bloque de aluminio en bruto con dimensiones por exceso.



**Figura 8.8** Proceso de vaciado de aluminio en molde de arena

Una vez construidos los bloques se procede a su posterior maquinado en el torno y la fresa para darle forma y su acabado final.



**Figura 8.9** Bloques de aluminio ya fundidos y maquinado del bloque en el torno

Una vez trabajados los bloques de aluminio en el torno fueron llevados a la fresadora donde se les dio la forma final para su posterior uso sobre la bancada.



**Figura 8.10** Forma final del soporte de aluminio para caja reductora y rodamientos

### *Niveladores:*

Los niveladores de burbuja son instrumentos de medición que permiten la nivelación de la maquina con respecto a la horizontal, se instalaran dos dispositivos que permitan nivelar en los dos planos “X” y “Y”.



**Figura 8.11** Nivelador de burbuja

### *La Bancada:*

La bancada es el soporte principal de todos los componentes de la maquina, esta hecha de perfil estructural (tubo cuadrado) hueco de acero, sus paredes son de un espesor de 2.25 mm. consta de una longitud de 1,30 m. sus lados son de 60x60 mm.

Cada costado de la bancada es cerrado por una tapa hecha de goma cuya función es permitir el acceso a la sujeción de los tornillos de las patas y reduce la entrada de humedad para evitar la corrosión interna de la bancada.



**Figura 8.12** Bancada de y tapa de goma

*Soportes para la bancada (patas):*

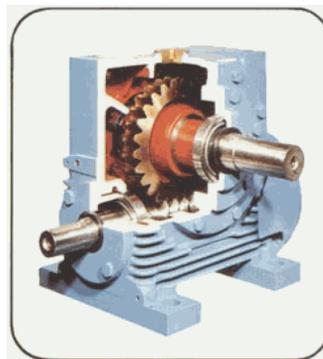
Los soportes para la bancada están hechos de acero con un espesor de 6 mm, cada uno consta de dos dobleces, uno a 90° y el otro a 45°, cada soporte tendrá un tornillo de goma para nivelación.



**Figura 8.13** Patas de la bancada con orificios de sujeción y tornillos de nivelación

*Caja reductora:*

La aplicación de la fuerza se logra básicamente por medio de una caja reductora de fuerzas que generalmente es de tornillo sin fin, con relación de transmisión de 60:1, esto quiere decir que por cada sesenta vueltas completas del eje de entrada de la caja el eje de salida da una vuelta completa. Este tipo de caja reductora tiene la ventaja de que solo pueden ser aplicados giros desde su eje de entrada puesto que la operación inversa no puede realizarse ya que la configuración del tornillo sin fin no permite el movimiento de reversa desde el eje de salida de la caja, lo que la hace perfecta para la aplicación del torque a la probeta.



**Figura 8.14** Corte de una caja reductora de tornillo sin fin.

*Eje central para la caja reductora y sistema de retorno:*

Los ejes centrales de la caja y el sistema reductor son fabricados en acero 4340, estos ejes fueron trabajados en el torno, también se uso una fresadora con husillo vertical para la fabricación de sus respectivos chavetero.



**Figura 8.15** Construcción de ejes centrales de caja reductora y sistema de retorno.

*Laminas para el sistema de retorno:*

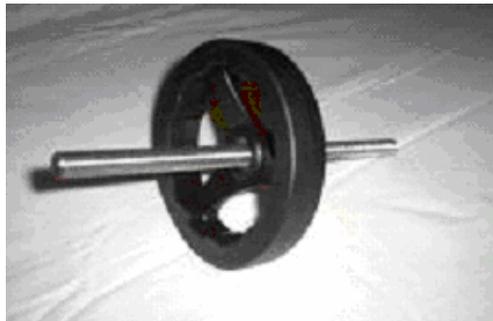
Las láminas están hechas de acero de 6 mm. de espesor, cada una de ellas consta de tres orificios principales para la sujeción de los ejes, en el orificio principal esta ubicado el eje central y a los extremos están los orificios para la colocación de los ejes de estabilidad para el sistema de retorno. Una de las láminas posee dos orificios adicionales por donde estará sujeta la balanza.



**Figura 8.16** Vista de láminas “A” y “B” del sistema de retorno y del eje central.

*Barra roscada:*

La barra roscada forma parte del sistema de retorno, este sistema es el responsable de torsionar la probeta, en dicha barra se encuentra uno de los volantes cuya función principal es suministrar el movimiento de retorno de las laminas y así proporcionar la torsión a la probeta que se este ensayando.



**Figura 8.17** Barra roscada y volante del sistema de retorno.

*Tornillos para nivelación:*

La nivelación de la maquina se efectuara por medio de los tornillos para nivelación de cabeza redondeada de goma antiresbalante. Dichos tornillos poseen un diámetro nominal de 8 mm.



**Figura 8.18** Tornillos para nivelación con cabeza de goma.

### 8.3 ENSAMBLAJE DE LA MÁQUINA.

Una vez contruidos y adquiridos todos los componentes de la maquina comienza proceso de ensamblaje de la misma.

Primero que todo se empezó por el ensamblaje de la bancada, se procedió a unir las cuatro soportes de acero (patas) alineando de manera precisa con ayuda de una escuadra de 90° y un alicate de presión para luego abrir orificios con un taladro de columna.



**Figura 8.19** Unión de las soportes de acero (patas) a la bancada.

Después de unidas las patas a la bancada se procedió con la caja reductora, primero se ensamblaron los diversos componentes de la caja para verificar sus orificios y los ajustes del sistema.



**Figura 8.20** Componentes de la caja reductora.

Luego se incorporaron los dos soportes laterales de la caja para que esta pueda quedar completamente horizontal, a los soportes se le abrieron sus respectivos huecos para sujeción por medio de un taladro de columna, una vez unida la caja y sus patas el conjunto completo fue fresado en su parte inferior para garantizar la completa horizontalidad al momento de colocarse sobre el soporte de aluminio, también se le colocó el volante para suministro de movimientos.



**Figura 8.21** Maquinado de los soportes para la caja

Por último se procedió a colocar todo el conjunto sobre el soporte de aluminio correspondiente.



**Figura 8.22** Montaje de los componentes de la caja sobre el soporte de aluminio

De esta manera se concluye la primera parte del ensamblaje del sistema de caja reductora, aun falta colocar el soporte de aluminio inferior y unir los soportes por

medio de tornillos de aluminio para evitar que se dañen las roscas al momento de aplicar esfuerzos y de mover el sistema a lo largo de la bancada.

Ahora se pasa al sistema de retorno, se verifican orificios y ajustes del sistema igual que se hizo con la parte anterior.



**Figura 8.23** Componentes del sistema de retorno.

Se unieron los rodamientos a los soportes de aluminio por medio de tornillos, el material de estos tornillos no necesariamente debe ser aluminio ya que solo sirven para unir el rodamiento al soporte y no van a ser sometidos a cargas laterales que puedan dañar los respectivos agujeros para roscas.



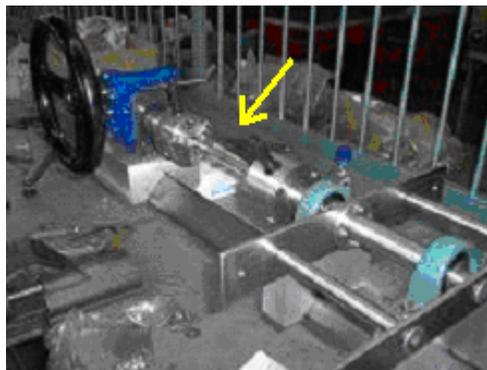
**Figura 8.24** Montaje de rodamientos sobre los soportes de aluminio.

Se adjuntan a los rodamientos las láminas del sistema de retorno con ayuda de tornillos y arandelas, se incluyen también los dos ejes de acero para el equilibrio del sistema.



**Figura 8.25** Montaje parcial del sistema de retorno.

Una vez ensamblado el sistema de retorno y con ayuda de una barra cilíndrica calibrada se procede a verificar la alineación de las dos mordazas tipo plato de torno, se hacen los ajustes necesarios para garantizar la horizontalidad de los sistemas.



**Figura 8.26** Alineación del sistema de retorno con la caja reductora.

## **8.4 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO**

El objetivo de este manual es facilitar de forma simple y directa los pasos y lineamientos a seguir para el mantenimiento y operación de la maquina de ensayo de torsión estática convirtiéndose en una herramienta adicional de trabajo tanto para los operadores como para el personal técnico de mantenimiento.

Es importante que las instrucciones de este manual sean leídas cuidadosamente antes de poner en funcionamiento la máquina y así lograr mejores resultados garantizando el funcionamiento adecuado de la misma, estas instrucciones deben guardarse en buenas condiciones para futuras consultas.

### **Localización**

La maquina para ensayos de torsión estática estará ubicada en la planta baja del edificio de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la UCV específicamente en el Laboratorio de Diseño.

### **Proceso:**

El proceso de ensayo de torsión estático consiste generalmente en la aplicación de una fuerza o par torsor capaz de suministrar un movimiento de rotación sobre su propio eje a una probeta normalizada en el rango elástico de un material.

La maquina de ensayo de torsión estática es un dispositivo que involucra varias piezas metálicas y no metálicas las cuales deben estar en perfecto estado para su correcto funcionamiento, por ser una maquina que estará colocada al aire libre en el ambiente de un laboratorio debe poseer una protección contra la corrosión que se pueda generar por el contacto con el medio que la rodea.

### **Operaciones de la maquina:**

La maquina es capaz de realizar pruebas de torsión estática a probetas y otros elementos de materiales diferentes con diámetros no mayores a 30mm. Los datos suministrados por la maquina servirán para la verificación de la ecuación de la torsión

elástica y también para la determinación de los rangos elástico y plástico de materiales sometido a torsión.

**Variables:**

El ensayo de torsión estática sirve para obtener la curva característica del material en su rango elástico y también su modulo de rigidez.

Las variables necesarias para obtener la curva del material con respecto a la probeta a ensayar son las siguientes:

- Torque aplicado (T)
- Angulo de torsión ( $\varphi$ ).

Las demás variables que se necesitan para completar los cálculos de un ensayo de torsión con respecto a una probeta a ensayar son:

- Longitud (L).
- Diámetro ( $\emptyset$ ).
- Módulo de rigidez del material (G)
- Momento polar de inercia de la sección (J)

**Equipos e instrumentos utilizados en la maquina:**

**Sistema de la caja reductora:**

Posee dos medidores de ángulos tipo transportadores, el primero de ellos tiene un diámetro de 12 cm. y puede medir hasta 360° esta acoplado al eje de salida de la caja reductora, este medidor suministra una lectura de ángulo de torsión con una apreciación de  $\pm 1^\circ$

El segundo medidor posee un diámetro de 30 cm. esta acoplado al eje de entrada de la caja justo detrás del volante de suministro de movimientos o torque, esta dividido en 60 partes iguales y con ayuda de la relación de la caja 60:1 proporciona adicionalmente una lectura de ángulo con apreciación de  $0.1^\circ$

**Sistema de retorno:**

El sistema de retorno cuenta con una balanza para medición de masa, este

instrumento es de carácter digital y es capaz de medir un valor máximo de 45 Kg. con una apreciación de  $\pm 0.05$  Kg., una vez obtenido el valor de la masa y multiplicado por la constante universal de la gravedad en el sistema internacional de unidades se obtiene el valor de la fuerza aplicada para torsionar la probeta en Newtons lo que a su vez multiplicado por el brazo de la aplicación de la fuerza en metros se obtiene el valor del momento torsor en N\*m., hay que destacar que los datos suministrados por la balanza pueden venir expresados en libras por lo que adicionalmente se puede obtener toda la información en el sistema ingles de unidades.

#### **Otros instrumentos:**

En la maquina para ensayos de torsión se utilizaran dos niveladores de gota para garantizar la horizontabilidad de la maquina tanto en el plano “X” como en el plano “Y”.

También es recomendable utilizar un Vernier para la obtención del diámetro y de la longitud de la probeta a ensayar

#### **Procedimiento operativo:**

Primero que todo y antes de empezar el ensayo se verificar que ningún objeto sobre la mesa de trabajo pueda interferir con los libres movimientos de la maquina.

Se debe nivelar la maquina con respecto a la horizontal, este procedimiento se realiza con ayuda de los dos niveladores de gota y los cuatro tornillos para nivelación ubicados en la cada pata de la maquina proporcionando las correspondientes rotaciones a cada tornillo según sea el caso.

Una vez nivelada la maquina se procede a la colocación de la probeta, primero se deben aflojar con la mano los tornillos del soporte inferior de la caja reductora, se debe movilizar todo el sistema hasta el punto correspondiente a la longitud de la probeta, posteriormente se debe fijar nuevamente todo el sistema de la caja apretando sus tornillos de aluminio.

Antes de sujetar la probeta se procede a dar las vueltas necesarias al volante de la caja reductora para colocar en cero los medidores de ángulo, luego se sujeta

bien la probeta con las mordazas, esto se logra suministrando el apriete necesario con la llave especial de la probeta tipo allen.

Se coloca la balanza en su soporte teniendo especial cuidado en que el gancho superior quede bien ajustado sobre la ranura del perno.

Con el gancho inferior de la balanza se engancha la lamina "A" del sistema de retorno.

Con ayuda del volante pequeño del sistema de retorno se suministra el movimiento necesario para que la balanza quede completamente tensa.

Una vez tensa la balanza se procede a encender la misma, la balanza posee un sistema de tara o encerado que automáticamente al encenderla la coloca en cero sea cual sea la carga que posea en el gancho inferior.

Una vez colocados los medidores de ángulos y la balanza en cero se comienza el ensayo, según el material a probar se va suministrando las vueltas al volante de la caja reductora y se van anotando las mediciones de carga y los ángulos cuantas veces sea necesario según la cantidad de puntos que se deseen tener en la grafica.

Cada medición de masa debe ser multiplicada por el valor de la constante universal de la gravedad y posteriormente por el brazo de aplicación de la fuerza para obtener así el torque aplicado.

Una vez obtenido el torque con su correspondiente valor de ángulo de torsión (en radianes) se grafica la curva (T vs.  $\phi$ ) del material en el rango elástico, en el eje de las abscisas se colocaran los ángulos de torsión ( $\phi$ ) y en el eje de las ordenadas el torque (T).

Los puntos obtenidos en la gráfica se localizaran en una línea recta, luego se procede a calcular la pendiente ( $m$ ) de dicha recta.

Aplicando la Ley de Hooke tenemos de la ecuación 2.7: 
$$\phi = \frac{T \times c}{J \times G}$$

La pendiente ( $m$ ) de esta línea representa la cantidad  $(J \times G) / L$

Igualando tenemos: 
$$m = \frac{J \times G}{L}$$

Con lo que podemos calcular el módulo de rigidez del material (G).

## **Mantenimiento:**

El mantenimiento usual especificado en este manual es el preventivo, el mismo se desarrolla de acuerdo a cuatro áreas básicas que son: *Limpieza, Revisión, Lubricación y Ajuste.*

## **Objetivos del Mantenimiento:**

Lograr que los bienes se encuentren en buenas condiciones operacionales y de trabajo para garantizar un funcionamiento normal y eficiente del equipo manteniéndose dentro de los factores establecidos de seguridad, protección y buena presentación, así se logrará extender la vida útil del equipo y se preservará el ambiente donde se desarrollen las actividades.

*Limpieza:* Representa la base de la prevención de las fallas debido a que las maquinas limpias son mas fáciles de manejar y operan mejor, una vez usados las herramientas y utensilios concernientes a la maquina se deben separar de la mesa de trabajo cualquier objeto que impida el normal movimiento de la maquina o que le pueda general algún daño.

*Revisión:* Antes de dar uso a la maquina se debe realizar una inspección ocular que permite determinar las características del equipo y conocer sus condiciones tanto externas como internas.

*Lubricación:* Es la prevención del contacto entre superficies que a la larga pueda generar daños irreparables en piezas y evitar los correctos movimientos entre las mismas, una lubricación adecuada también impide el efecto de corrosión que tiene el ambiente sobre los elementos metálicos, generalmente la lubricación de la maquina estará concentrada en los rodamientos del sistema de retorno, en el volante y la barra roscada del sistema de retorno y también en los ejes de la caja reductora.

*Ajuste:* El ajuste se deriva de la revisión, adicionalmente incluye reemplazo de piezas y elementos que la revisión registra como defectuosos, en la maquina existen elementos de

### **Normas de Higiene y Seguridad para el Ensayo de Torsión Estática:**

- Debe revisarse el área asignada para la colocación de la maquina para reportar cualquier anormalidad.
- Todos los trabajos concernientes al ensayo de torsión deben realizarse velando por la seguridad del resto de los participantes de la práctica, nunca se justifica correr riesgos innecesarios cuando estos puedan causar accidentes graves.
- El personal usuario de la maquina será equipado con las herramientas para la labor que realice, las mismas le serán entregadas para su custodia y conservación debiendo hacer buen uso de estas.
- Queda prohibida la modificación parcial o total de las herramientas sea cual fuera su causa, en caso de extrema necesidad deberán primero consultar con el jefe del laboratorio.
- Las herramientas y equipos deberán conservarse en lugares apropiados debidamente ordenados y protegidos contra la humedad.
- Todos los participantes deberán conocer la naturaleza del trabajo que van a realizar, en caso contrario deben ponerse en contacto con el preparador de la práctica o el jefe del laboratorio.
- Ninguno de los equipos deberá modificarse sin autorización previa.
- Cuando se concluya una práctica deberán recogerse todos los materiales utilizados en la misma, el lugar debe quedar en orden y limpio.

## RECOMENDACIONES

El durante el desarrollo de este trabajo especial y sobre todo al final del mismo, se pudo comprender todas las mejoras que a ésta máquina pueden hacerse, para que no solamente se realice un ensayo estático de torsión manualmente, es posible automatizar algunos procesos, e inclusive mejorar la forma en que se realiza la medición. Es importante considerar seguir el desarrollo de esta máquina partiendo de la base que presenta este trabajo especial de grado, de esta manera la universidad puede ser pionera en el desarrollo de máquinas de ensayos hechas en el país.

A través de la comprensión del funcionamiento de la máquina se pueden diseñar diferentes tipos de práctica, donde no solamente se ensayen un tipo de probeta, sino que inclusive se hagan ensayos a probetas con tratamientos térmicos, probetas de secciones variables etc., siempre tomando en cuenta que para hacer el ensayo de torsión en esta máquina deben prepararse los bordes de la probeta para que tenga como mínimo tres lados o un número de lados múltiplos de 3.

Es recomendable seguir el desarrollo para dar mayor precisión a la máquina para el registro de los resultados, el uso de un reóstato en el extremo del eje de la caja que tiene el transportador de 360° y el diseño de un sistema de lectura electrónica sugiere una mejora del equipo. Usar elementos sensibles a la presión como galgas extensiométricas y celdas de carga, pueden facilitar la traducción de la deformación y el Torque, ya que unidos a un sistema de lectura o a un software, que puede ser diseñado en la escuela, daría a la máquina gran precisión.

Se recomienda también que la mesa dónde se coloque la máquina tenga una altura aproximada de 90 cm. de altura, debido a que el diseño de la misma se vio íntimamente ligado a las medidas antropométricas en percentiles de hombres y mujeres, partiendo entonces en el supuesto de una mesa de aproximadamente esa altura.

## CONCLUSIONES

El diseño y la construcción de esta máquina conllevaron al uso de todas las habilidades y conocimientos que se adquieren en el pensum de estudios correspondiente a la formación de un Ingeniero Mecánico. El hecho de ser una máquina de ensayo crea el compromiso de elaborar el trabajo con la mayor cantidad de herramientas que aumenten la precisión del diseño antes y durante su construcción. En algunos casos un factor determinante es el económico, pues trabajos más precisos requieren mayores horas hombre y horas de maquinaria; pero indudablemente la creación de máquinas en el país aportaría máquinas más económicas y un desarrollo de la ciencia de la ingeniería en Venezuela.

La Máquina de Ensayo de Torsión Estática fue hecha en base a una comprensión y desarrollo del aspecto mecánico de la misma, que considera al diseño y la selección de los materiales, como parte fundamental del mismo. Por lo tanto la idea fundamental se basó en que esta máquina cumpliera con todos los requerimientos mecánicos que logren ensayar elementos a torsión en ella. Es importante destacar en esta conclusión del trabajo, que la mejora de esta máquina es altamente factible añadiendo el impulso de sistemas de medición electromecánicos, a través de diversas tesis se puede ir enriqueciendo y afinando este diseño, en pasos cortos o largos dependiendo de las ventajas financieras del momento. Ya que el adelanto de esa parte requiere adquirir equipos o piezas de alto costo, como por ejemplo las celdas de torque las cuales durante el desarrollo de esta tesis oscilaban entre los 2500 y 3000 dólares.

Este trabajo especial de grado hace énfasis en la importancia de considerar el proceso de diseño por etapas tal como se observó en el capítulo 5, el uso de técnicas de creación y toma de decisiones como la tormenta de ideas y el análisis morfológico, incluyendo todos los pasos intermedios como la clarificación de objetivos, el establecimiento de las funciones del diseño y las especificaciones de los requerimientos; son herramientas vitales para el diseño no sólo de una máquina sino hasta en la organización de cualquier trabajo que requiera decisiones simples, ya que

en el caso de un trabajo con un alto número de decisiones es prácticamente obligatorio utilizar estas técnicas.

Considerar los aspectos ergonómicos y antropométricos también permitió establecer el punto de partida del trabajo y en muchos casos fue determinante para la toma de decisiones al diseñar las piezas de la máquina que interactúan directamente con el usuario de la máquina. El estudio de la ergonomía a consideración nuestra debería incluirse con más énfasis en la cátedra de diseño II, con el fin que desde el comienzo de la formación del ingeniero mecánico en el área de diseño, tenga noción de todo lo que se puede mejorar un diseño en base a las sencillas reglas de la ergonomía.

El resultado final de este trabajo fue una máquina para ensayos de torsión con una capacidad nominal de 50 N\*m, que puede ensayar elementos o probetas de hasta 600 mm. de longitud, los extremos de dicha probeta pueden llegar hasta 30 mm. de diámetro para que el agarre de las mordazas pueda ser efectivo y deben ser estar preparados de manera que tengan por lo menos 3 superficies planas de contacto.

## ANEXOS

### Información Técnica de algunos proveedores

#### VOLANTES DE PLÁSTICO.

Proveedor: MSC

Atlanta GA., 6700 Discovery Blvd., Mableton GA. 800-645-7270

Compra por Internet, a través de [www.mscdirect.com](http://www.mscdirect.com)

Volantes seleccionados:

Volante de plástico con tres puntos de apoyo, sin manivela de 4,92 pulg., para aplicación con cargas livianas.

Three Spoked Plastic Handwheels <span style="float: right;"></span>														
Without Handle, With Revolving Handle, With Locking Retractable Handle														
Dia. (In.) (mm)	Hub Dia. (In.) (mm)	Hub Length (In.) (mm)	Handwheel Ht. (In.) (mm)	Handle Length (In.) (mm)	Handle Dia. (In.) (mm)	Order #	Price Ea.							
<b>No Handle</b>														
3.94	100	0.94	24	0.94	24	1.69	43	64829450		\$11.86				
4.92	125	0.94	24	1.1	28	2	51	64829468		14.01				
6.30	160	1.25	32	1.22	31	2.4	61	64829476		19.70				
7.87	200	1.57	40	1.57	40	2.87	73	64829484		29.71				
<b>Revolving Handle</b>														
3.94	100	0.94	24	0.94	24	1.69	43	1.96	50	0.82	21	64829492		17.56
4.92	125	0.94	24	1.1	28	2	51	1.96	50	0.82	21	64829500		21.25
6.30	160	1.25	32	1.22	31	2.4	61	2.75	70	0.90	23	64829518		27.38
7.87	200	1.57	40	1.57	40	2.87	73	3.54	90	1.02	26	64829526		37.87
<b>Locking Retractable Handle</b>														
4.92	125	0.94	24	1.1	28	2	51	2.12	54	0.82	21	64829534		43.65
6.30	160	1.25	32	1.22	31	2.4	61	2.91	74	0.90	23	64829542		49.47
7.87	200	1.57	40	1.57	40	2.87	73	3.70	94	1.02	26	64829559		61.99



- For light- to medium-duty applications
- Black fiber reinforced thermoplastic; modern design
- Zinc plated molded in steel hub
- Revolving handle - black thermoplastic with zinc plated steel spindle
- Fold-away revolving handle - black thermoplastic with zinc plated steel stem and mechanism

Quantity Discounts

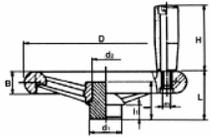
25 Pcs. - 10% 50 Pcs. - 15%

150 Pcs. - 20%

**Must Be Same Size & Style**

Volante plástico con tres puntos de apoyo sin manivela de 9,840 pulg., hecho de plástico duro reforzado de gran resistencia.

Three Spoked Plastic Handwheels												
ELESA Original Design												
D (In.)	L (In.)	B (In.)	d1 (In.)	I (In.)	d2 (In.)	I <sub>2</sub>	Handwheel Only Order #	Price Ea.	w/ Threaded Revolving Handle H (In.)	m <sup>3</sup>	Order #	Price Ea.
3.940	1.57	0.55	0.94	1.42	0.79	0.47	82503319	\$13.62	1.57	M6	82503517	\$20.37
4.920	1.77	0.71	0.94	1.42	0.79	0.47	82503327	13.89	1.97	M8	82503525	21.27
6.300	1.97	0.87	1.26	1.50	0.94	0.59	82503335	21.77	2.56	M8	82503533	29.09
7.090	2.20	0.94	1.57	1.69	1.22	0.59	82503343	28.91	3.15	M10	82503541	42.02
7.870	2.20	0.94	1.57	1.69	1.22	0.59	82503350	29.72	3.15	M10	82503558	41.57
9.840	2.60	1.18	1.93	1.73	1.50	0.59	82503368	46.93	3.54	M10	82503566	57.58
11.81	3.07	1.26	2.28	2.20	1.85	0.71	82503376	70.33	3.94	M12	82503574	86.84
14.76	4.25	1.57	2.28	3.03	2.28	1.02	82503384	134.55	3.94	M14	82503582	155.78





- Available as handwheel only or with threaded revolving handle
- Material: high strength reinforced duroplast • Black oxide steel hub • Finish: Black bright

Note: Hub specifications designed to be modified to user needs.

ALUMINIO PARA EL BASTIDOR – Aleación 6063.

Proveedor: Aluminios de Venezuela. ALVEN C.A.

Av. El Paseo, cruce con calle Branger, Galpón N°1, Los Rosales- Caracas.

Telf. (0212)6330634

## COMPOSICIÓN QUÍMICA

Concentración (Porcentaje en peso)							
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
0.38-0.48	0.14-0.22	0.10	0.03	0.45-0.58	0.03	0.03	0.03

## PROPIEDADES MECÁNICAS:

RESISTENCIA MAXIMA: (Kg/mm<sup>2</sup>)

(TEMPLE T-5)

FLUENCIA: 15 Kg/mm<sup>2</sup>

RUPTURA: 19 Kg/mm<sup>2</sup>

(TEMPLE T-6)

FLUENCIA: 22 Kg/mm<sup>2</sup>

RUPTURA: 24 Kg/mm<sup>2</sup>

ELONGACION: (%)

VALOR ESPECIFICADO: 12 Máx. %

DUREZA: (WEBSTER)

VALOR ESPECIFICADO: 11 - 13 WB (Temple T-6)

MODULO DE ELASTICIDAD: 6.900 Kg/mm<sup>2</sup>

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (IACS) 52,6%

## OTRAS CARACTERÍSTICAS

Muy buena resistencia a la Corrosión.

Buena respuesta al Anodizado.

Buena Formabilidad o Maquinado.

Buena soldabilidad.

## BIBLIOGRAFIA

### Libros

1. Beer, F. y Johnston, R. Jr. (1993) *Mecánica de Materiales.*, 2<sup>da</sup>. Edición Ed. McGraw-Hill, México,. pp. 112-164.
2. Cross, Nigel. (2002) *Métodos de Diseño.* Ed. Limusa Wiley, México.
3. Flinn, R. y Trojan, P. (1991) *Materiales de Ingeniería y sus Aplicaciones.* 3<sup>era</sup>. Edición, Ed. McGraw-Hill, México, pp. 209-275.
4. Mc. Cornick, E. (1964) *Human Factors Engineering.*, 2<sup>da</sup>. Edición, Ed. McGraw-Hill, México. pp. 231-239.
5. Mott, Robert L. (1995) *Diseño de Elementos de Máquinas.* , 2<sup>da</sup>. Edición, Ed. Prentice Hall, México, pp. 23-45, 283-307, 599-620, 726-753.
6. Shigley, Joseph. (1996) *Diseño en Ingeniería Mecánica.* , 6<sup>ta</sup> Edición, Ed. Mc. GrawHill, México.

### Trabajos de Grado

7. Castellet, Antonio R. Diseño Preliminar de una Máquina de Ensayo de Torsión Pura. Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería. UCV. 1969.
8. Espinar, Lino y Homer Frassier. Diseño y Construcción de un Banco Universal para Pruebas Estáticas de Sólidos. Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, UCV. 2003.
9. Anta José G. y Santini, Oswaldo. Proyecto e Instalación del Laboratorio de Elementos de Máquina. Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería. UCV. 1973.

## World Wide Web

10. *Mandos: Ergonomía de diseño y accesibilidad*. C. Nogareda Cuixart. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España. [http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp\\_226.htm](http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_226.htm)
11. *La Salud y La Seguridad en el Trabajo*. OIT [http://training.itcilo.it/actrav\\_cdrom2/es/osh/ergo/ergonomi.htm](http://training.itcilo.it/actrav_cdrom2/es/osh/ergo/ergonomi.htm)
12. Tecquipment Inc. [www.tecquip.com](http://www.tecquip.com)
13. Terco AB. [http://www.terco.se/esp/PDF/MTL\\_spansk.pdf](http://www.terco.se/esp/PDF/MTL_spansk.pdf)
14. Rodamientos SKF. [www.skf.com](http://www.skf.com)
15. Maquinarias Ibertest [www.ibertest.com](http://www.ibertest.com)
16. Infoguia [www.infoguia.net](http://www.infoguia.net)
17. Apuntes Varios [www.monografias.com](http://www.monografias.com)
18. Aceros Ferrum [www.ferrum-ca.com](http://www.ferrum-ca.com)
19. Aceros Inoxidables Vencraft [www.vencraft.com](http://www.vencraft.com)
20. Riduttori Spaggiari [www.spaggiari.it](http://www.spaggiari.it)
21. MSC Industries [www.mscdirect.com](http://www.mscdirect.com)
22. Rodamientos NTN [www.ntn.com](http://www.ntn.com)