



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

**PROYECTO Y CONSTRUCCION DE UN MARCO
DE CARGA CON FINES DIDACTICOS.**

T E S I S

**Que para obtener el Título de
Ingeniero Mecánico Electricista**

P r e s e n t a

GERARDO GOMEZ VARGAS





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

Introducción.

I PRUEBAS MECANICAS (DESTRUCTIVAS)	1
1.1 Prueba de tensión.	2
1.2 Prueba de compresión	12
1.3 Prueba de flexión.	14
1.4 Prueba de torsión.	15
1.5 Prueba de impacto.	16
1.6 Prueba de fatiga.	17
1.7 Prueba de alargamiento lento o Creep.	21
II DESCRIPCION DEL MARCO DE CARGA.	24
2.1 Objetivo del trabajo.	24
2.2 Elementos que constituyen el marco de carga y funciones que cumplen.	25
2.3 Bomba hidráulica.	30
2.4 Válvula direccional o de cuatro vías.	32
2.5 Cilindro de doble efecto.	34
2.6 Depósito del líquido hidráulico.	36
2.7 Manómetro de carátula.	36
2.8 Accesorios correspondientes.	36
2.9 Unidad del marco de carga.	37
III DESCRIPCION DE LAS PRUEBAS DESARROLLABLES.	41
3.1 Tensión pura.	42
3.2 Compresión pura.	43
3.3 Pandeo.	46
3.4 Flexión	48
3.5 Torsión	50

IV EMPLEO DEL MARCO DE CARGA (INSTRUCTIVO)	54
4.1 Consideraciones preliminares.	54
4.2 Parámetros y características del marco de carga.	54
4.3 Condiciones de seguridad y precauciones requeridas.	59
4.4 Mantenimiento del marco de carga	59

CONCLUSIONES

Referencias.

I N T R O D U C C I O N

Resulta un tema de bastante controversia el hablar de la teoría y de la práctica. Si conversamos con una persona especializada en un oficio determinado, el cual le ocupa un buen porcentaje de su destreza manual, quizá nos argumente un mayor valor a la práctica, mientras que si lo tratamos con un investigador de alguna materia, es posible que nos afirme lo contrario. Esto hablando en términos generales.

Sin embargo, situándonos en un punto imparcial consideramos que es imposible hablar de práctica sin teoría y viceversa. Además cada quien asignará mayor o menor escala de valor a una u otra, dependiendo del papel que desempeñe con respecto a éstas.

Ahora bien, nos situamos en un salón de clase en donde se imparte la teoría referente a un cierto tema. Es muy probable que si el alumno tiene una idea clara de lo que se habla comprenderá fácilmente el tema que se trata. Pero si la imaginación no alcanza a proyectar el problema, las teorías sólo cruzarán por la mente sin poder ser captadas por ésta.

En otro de los casos, cuando la persona no tiene bien definidas ciertas expresiones o magnitudes, es bastante difícil que se pueda cubrir a satisfacción el objetivo de la enseñanza.

Consideremos el siguiente caso: si alguien no conoce la magnitud de una unidad determinada, por ejemplo, 1 Mega Pascal (unidad para medir la presión) y se le dice que el recipiente a presión que se va a diseñar soporta 8579 Mega Pascales, es seguro que la persona no tenga la menor idea de la magnitud de ese valor y lógicamente se perderá con relación al problema. En cambio, si a esta persona se le dice que el escritorio que emplea tiene un peso de 4530 Kg inmediatamente afirmará que se le trata de engañar, y creemos que estará en lo correcto pues

como el kilogramo es en este caso una unidad que estamos acostumbrados a manejar, deduciremos que un escritorio no tiene un peso mayor a 150 Kg.

Valiéndome de este pequeño ejemplo planteo lo siguiente: "En cuanto una persona tenga mayor relación con las cosas que habrá de aprender, mejor y más rápido será el conocimiento que adquiera de las mismas".

Todo lo anterior ha sido mencionado para resaltar la importancia que tiene el método de enseñanza en la formación del alumno. Durante un buen período de estancia en las aulas de la escuela, aprendemos que es mejor la enseñanza cuando a ésta se le completa con hechos prácticos, palpables o demostrables.

Para el caso de materias tales como las Matemáticas, la lógica y otras de conocimientos abstractos, difícilmente se podría hacer uso de aparatos u objetos que auxiliaran para la mejor comprensión de una teoría. En cambio existen muchas materias en las cuales se incluye el laboratorio, precisamente para que con demostraciones prácticas se logre una mejor comprensión de los temas tratados.

Sería estupendo que en todas las materias de este tipo se dispusiera del auxilio de un laboratorio. Sin embargo, habría que tomar en cuenta una serie de factores que se ven involucrados para que una idea como esta se lleve a cabo, tales como: disponibilidad de espacio, financiamiento, personal docente y técnico, conveniencias de horario, etc. por lo cual concluimos que es muy difícil que la enseñanza se pueda auxiliar en todo momento de la parte práctica para lograr mejor su cometido.

Ante esta problemática, en el Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica de la Facultad de Ingeniería, se pensó en construir un aparato que pudiera auxiliar al profesor en

la impartición de los temas relacionados con los materiales, sin pretender de ninguna forma ser la única solución al problema.

Cuando llegó el tiempo de iniciar el seminario respectivo a mi carrera, el director del mismo me planteó la posibilidad de llevar a cabo esta idea, y en ese momento se inició lo que fue "Proyecto y construcción de un Marco de carga con fines didácticos".

A lo largo del trabajo, presento una narración de los aspectos más relevantes en cuanto a la construcción del marco, así como los detalles de operación, materiales, mantenimiento etcétera.

Considero también, que el haber desarrollado un trabajo del tipo teórico-práctico, ha sido una experiencia realmente agradable y provechosa, y así como me ha alentado a continuar con la fabricación de nuevos proyectos, espero que el presente trabajo sirva también para que otros compañeros disfruten de la gran satisfacción que ello causa, al introducirse en el fabuloso campo del diseño mecánico.

Finalmente, agradezco las facilidades que me brindó todo el equipo que labora en el taller mecánico de la Facultad de Ingeniería, incluyendo sus diversas áreas para poder lograr el proyecto del marco de carga, y también desde luego al Ingeniero Guillermo Aguirre Esponda, asesor de todo el proyecto.

C A P I T U L O I

PRUEBAS MECANICAS DESTRUCTIVAS

Existen muchas razones por las cuales se llevan a cabo las pruebas en los materiales, entre las más importantes podemos mencionar que sirven para:

- a) Determinar la calidad de un material, que bien podrá ser un aspecto del control del proceso en una instalación de producción.
- b) Determinar propiedades tales como la resistencia, la dureza y la ductilidad.
- c) Comprobar las impurezas o imperfecciones de un material o una pieza acabada.
- d) Estimar las posibilidades de rendimiento de un material en condiciones de servicio particular.

Obviamente no existe un tipo de prueba que pueda proporcionar toda la información necesaria sobre algún material y sus posibles aplicaciones, por lo que existen diferentes tipos de pruebas destinadas a evaluar las propiedades de los materiales.

Dichas pruebas se dividen fundamentalmente en pruebas no destructivas y pruebas destructivas. Las primeras procuran la detección de defectos en los materiales sin ocasionar ningún daño en los mismos y se basan en algunos de los siguientes principios: penetración de líquidos, métodos eléctricos y magnéticos, ultrasónicos y radiográficos, y no serán tratados en el presente trabajo.

Las pruebas destructivas son aquellas que afectan de alguna forma la estructura de los materiales causando un daño permanente en los mismos.

Los resultados de éstas y otras pruebas más especializadas son, a menudo, de significado empírico más que funda-

mental. Sin embargo, a pesar de ésto, son muy útiles para el diseñador, el fabricante o el investigador.

Algunas de las pruebas destructivas más comunes son:

1.1. La prueba de tensión.

Existen muchos tipos de máquinas que realizan esta prueba en los materiales, todas operan basicamente bajo el mismo principio, aplicando tensión a una probeta alargándola y midiendo la carga aplicada con un sistema determinado.

Por lo regular, estas máquinas son de tipo universal, puesto que se emplean tanto en tensión como en compresión, así como para pruebas de flexión de probetas del tipo de viga.

La prueba de tensión es quizá la más útil de todas las pruebas empleadas para evaluar propiedades mecánicas. En ella la muestra se estira a una velocidad de deformación constante, midiéndose como una variable dependiente, la carga necesaria para producir una alargación específica.

Con los resultados de la tensión se puede graficar una curva de carga contra elongación, que generalmente registra valores de esfuerzo y deformación unitaria, que son independientes de la geometría de la muestra.

El sistema de aplicación de la carga puede ser mecánico o hidráulico. El sistema mecánico comprende normalmente un husillo roscado unido a una cruceta de aplicación de la carga; este husillo es accionado por medio de una tuerca giratoria. En un sistema Hidráulico, la carga se aplica por el desplazamiento de un pistón hidráulico que se mueve dentro de un cilindro lleno de aceite.

Muchas máquinas tienen capacidad para operar con diferentes cargas, algunas máquinas son capaces de actuar con esfuerzos infinitamente variables dentro de algunos límites, superior e inferior fijos.

1.1.1. Medidas de la carga.

La carga real aplicada a la probeta puede medirse de varias formas. Existe el sistema clásico, bastante preciso, que consta de una palanca mecánica con contrapeso (tipo de balanza), que aún se emplea en algunas máquinas, pero tiene la desventaja de emplear una gran cantidad de espacio, sobre todo en máquinas de alta capacidad de carga.

Otro sistema consiste en medir la carga, determinando la presión hidráulica en un cilindro calibrado. Un tercer sistema de medición de la carga utiliza el alargamiento de un muelle; este sistema se usa en la pequeña máquina de ensayos Hounsfield, en la que la desviación de una barra acciona un pequeño pistón dentro de un cilindro que contiene mercurio; esta acción hace subir el mercurio en un tubo de vidrio calibrado. (1)

1.1.2. Medida de la deformación.

Para medir con precisión la deformación longitudinal, debe adaptarse algún instrumento de medición a la probeta que se ensaya, el cual dará el alargamiento de la pieza sobre una longitud calibrada, o longitud primitiva, fija. En la mayoría de los ensayos se usa una longitud calibrada de 50 mm.

Otros aparatos para medir la deformación son denominados "extensómetros". Algunos de ellos se basan en un principio óptico, como el extensómetro de espejo de Marten mostrado en la figura 1.1. Un cambio de la longitud calibrada del material, causará un movimiento angular del espejo, a través del cual se observa, por medio de un telescopio, una escala. En algunos otros instrumentos, un foco luminoso puede proyectar, por medio de un espejo, un punto luminoso sobre una escala graduada.

Otro dispositivo que puede usarse para medir la deforma-

(1) John V.B. "Conocimiento de materiales en Ingeniería
Ed. Gustavo Gili.

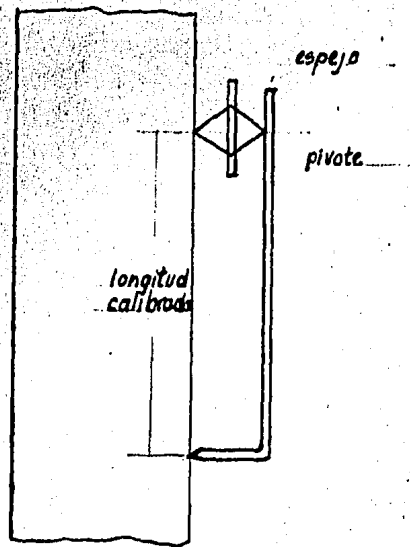


Figura 1.1. Principio del extensómetro de espejo de Marten

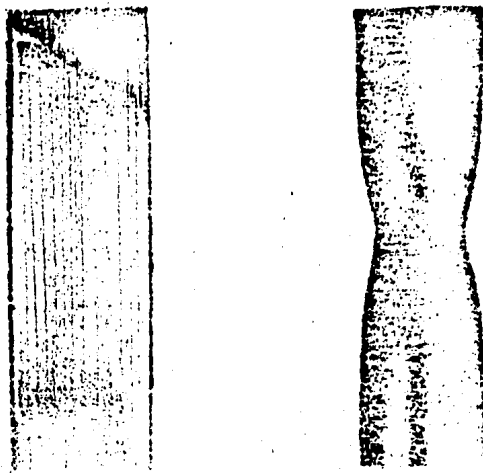


Figura 1.2. Formación de la banda de Lüder en una probeta, así como la formación de la constricción o "cuello".

ción es la galga extensométrica, que funciona a base de una resistencia eléctrica, puesto que la resistividad de algunos conductores es muy sensible a las variaciones de la deformación elástica. Dicha galga comprende una resistencia eléctrica constituida por un alambre muy delgado montado en zig zag entre finas placas impermeables. Al emplearse se pega firmemente a la probeta, sufriendo la misma deformación que ésta. Un puente de Wheatstone sirve para medir el cambio de resistencia, que es proporcional a la deformación.

1.1.3. Parámetros de medición.

A continuación se mencionan algunos de los parámetros más importantes que se estiman mediante una prueba de tensión.

El esfuerzo σ , se define como la razón de la carga aplicada a la muestra, P, a la sección transversal original, A_0 :

$$\sigma = \frac{P}{A_0}$$

La deformación unitaria ϵ , se define como la razón del cambio en longitud de la muestra l, a su longitud original, l_0 :

$$\epsilon = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{l}{l_0} - 1$$

Al iniciar la prueba de tensión, el material se deforma elásticamente; esto significa que, si la carga se elimina, la muestra recupera su longitud original. Se dice que el material sobrepasó su límite elástico cuando la carga es de magnitud suficiente para iniciar una deformación plástica, esto es, que el material no recupera su longitud original si se elimina la carga aplicada. (Siempre existe una porción elástica del alargamiento total que se recupera, pero, durante la deformación plástica, se conserva un alargamiento neto). A medida que la

muestra continúa alargándose, el esfuerzo aumenta y se dice que el material está sufriendo endurecimiento por trabajo o deformación (acritud).

En pruebas efectuadas con materiales dúctiles, el esfuerzo alcanza su máximo en el límite de resistencia a la tensión. En este valor de esfuerzo se forma en la probeta una constricción o "cuello", la cual es una reducción localizada en el área de la sección transversal en la que se concentra todo el alargamiento posterior. Una vez formada la constricción, el esfuerzo disminuye al aumentar la deformación y continúa disminuyendo hasta que la muestra se rompe. En aquellos materiales que se rompen sin formar una constricción, el valor de resistencia máxima a la tensión y el valor de esfuerzo de fractura son iguales. Sin embargo, cuando hay formación de cuello, la carga para fracturar es menor que el límite de resistencia a la tensión.

En la figura 1.3 se muestran las curvas de esfuerzo contra deformación para varios tipos de materiales. Para metales y materiales cerámicos, la relación entre esfuerzo y deformación en la región elástica es lineal y la ecuación que la describe recibe el nombre de ley de Hooke:

$$\sigma = E \epsilon$$

en donde E es una constante llamada módulo de Young. En metales y materiales cerámicos la máxima deformación elástica que se puede obtener es menor a 1/2 %. En el hule y otros elastómetros, la relación entre esfuerzo y deformación no es lineal, y se pueden producir deformaciones elásticas recuperables en varios cientos de porcentajes. El valor de esfuerzo en el cual la deformación ya no es elástica sino plástica es aquél en el cual la pendiente de la curva de esfuerzo contra deformación se desvía del módulo elástico. Debido a las dificultades que existen para determinar este valor con exactitud

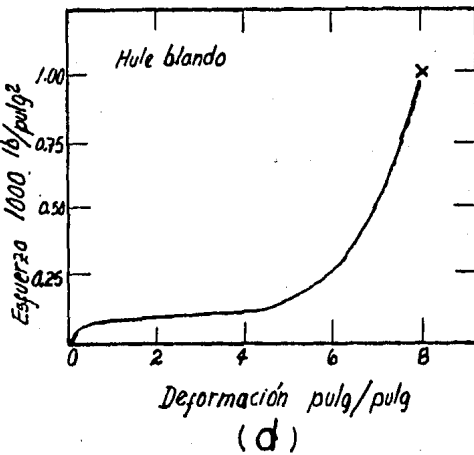
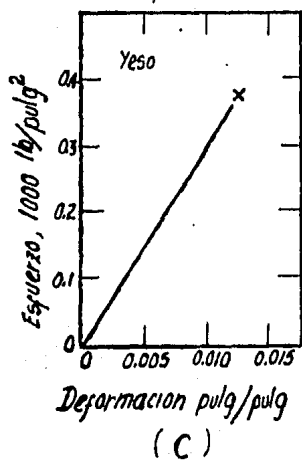
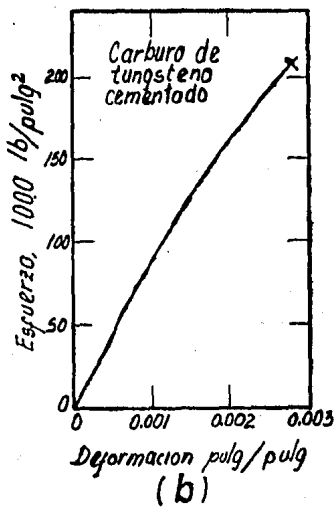
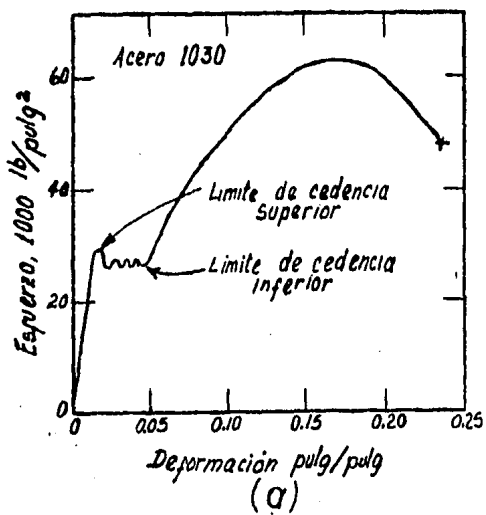


Figura 1.3. Curvas de esfuerzo-deformación para varios materiales.

titud, se usan con frecuencia aproximaciones. La más común de éstas es el esfuerzo de fluencia convencional, definido por el valor del esfuerzo que produce una deformación plástica de 0.2 %.

En aceros de bajo carbono y otras aleaciones, la deformación plástica principia en el punto mínimo de cedencia como se ve en la figura 1.3.a. Este comportamiento se debe a la deformación no homogénea, que principia en un área de concentración de esfuerzos (a menudo, cerca de las quijadas que sostienen la probeta) y se propaga a través de la muestra en forma de bandas visibles a simple vista (bandas de Lüder). La figura 1.2 muestra una probeta de acero de bajo carbono, en la cual se observa la propagación parcial de las bandas de Lüder.

Durante la deformación elástica hay un ligero cambio en el volumen del metal o la muestra de material cerámico. Sin embargo, durante la deformación plástica no hay cambio en el volumen de la muestra, siempre y cuando éste se mida sin aplicar la carga.

Por último, en la prueba de tensión, el área bajo la curva de esfuerzo y deformación muestra la energía que se absorbe antes de la fractura y es indicador de la tenacidad del material.

1.1.4 Prueba de tensión de los metales.

A las probetas de ensayo se les da una forma tal que la fractura tenga que producirse dentro de la porción deseada, esto es, dentro de la longitud calibrada, existiendo normas definidas para las dimensiones de estas probetas. En algunos casos, particularmente en ciertos programas de experimentación fundamentales, se usan probetas muy pequeñas, pero éstas no figuran en las normas de ensayo pertinentes, ya que los resultados obtenidos con ellos pueden no ser verdaderamente representativos de las propiedades de la mayor parte de los materiales.

En la figura 1.4 se muestran los tipos de probetas para las pruebas de tensión de metales, y las dimensiones recomendadas para las mismas se representan en las tablas 1.1 y 1.2.

1.1.5 Pruebas de tensión de los materiales plásticos.

La prueba de tensión de los materiales plásticos suele efectuarse de una forma análoga a la de los metales. No obstante, muchos plásticos son más sensibles a la velocidad de deformación que los metales, por lo que se recomienda, que el ensayo se lleve a cabo con valores de deformación relativamente altos.

Al contrario de los metales, muchos termoplásticos se comportan como si se estiraran en frío, durante un ensayo de tensión, y en estos casos, se especifica un valor para la tensión de alargamiento, la cual viene dada por la relación:

$$\text{tensión de alargamiento} = \frac{\text{carga de alargamiento}}{\text{sección transversal original}}$$

Las curvas de carga-alargamiento obtenidas para muchos materiales plásticos no presentan deformación proporcional (porción recta), o bien, muestran un comportamiento inicial de acuerdo con la ley de Hooke con valores muy bajos de carga aplicada. En estos casos, ofrecería muchas dificultades, o sería prácticamente imposible obtener un valor del módulo de Young. El valor que se da como módulo de elasticidad, E, en los plásticos es, de hecho, un módulo de la secante, que se obtiene determinando la tensión correspondiente a un valor del 0.2 % de deformación (véase la figura 1.5). En donde Y es la carga de la secante, OX es el alargamiento correspondiente a una deformación del 0.2 %. La inclinación de la recta OA se usa para determinar el módulo de elasticidad de un plástico, es decir, el módulo de la secante.

Muchos termoplásticos se alargan considerablemente durante el ensayo de tracción, pero existe una gran proporción

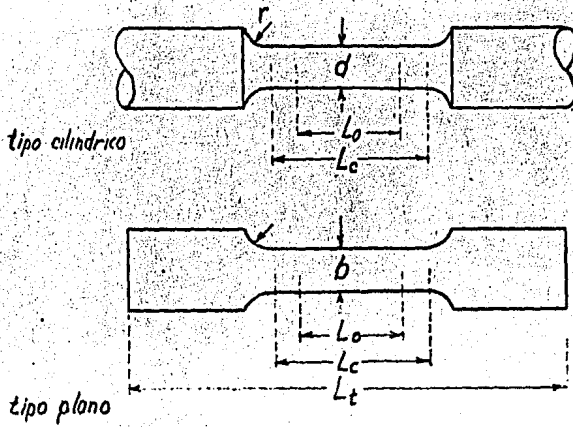


Figura 1.4. Tipos de probetas para ensayos de tensión

S_0	d	L_0	L_c	r materiales forjados	r materiales fundidos
mm^2	mm	mm	mm	mm	mm
200	15.96	80	83	15	30
150	13.82	69	76	13	26
100	11.28	56	62	10	20
50	7.98	40	44	8	16
25	5.64	28	31	5	10
12.5	3.99	20	21	4	8

Donde:

d = diámetro de la probeta
 L_0 = longitud entre marcas (longitud calibrada)
 L_c = longitud de la parte cilíndrica
 S_0 = sección inicial
 r = radio de unión

Tabla 1.1. Dimensiones normales de probetas cilíndricas para pruebas de tensión

b	L_0	L_c	L_t	r
mm	mm	mm	mm	mm
25	100	125	300	25
12.5	50	63	200	25
6	24	30	100	12
3	12	15	50	6

Donde:

b = anchura de la probeta
 L_0 = Longitud entre marcas (longitud calibrada)
 L_c = longitud de la parte de sección rectangular
 L_t = longitud total
 r = radio de unión

Tabla 1.2. Dimensiones normales de probetas planas para pruebas de tensión

de recuperación casi instantánea de la deformación tan pronto se rompe la probeta. El valor del alargamiento, en tanto por ciento, se denomina alargamiento de rotura, y se determina anotando la distancia entre marcas de calibrado en el momento de la fractura, y no poniendo juntas después del ensayo las dos partes fracturadas, como en el caso de los metales.

1.2. PRUEBA DE COMPRESION.

Los materiales frágiles son a menudo débiles a la tensión debido a que el esfuerzo de tensión ayuda a la propagación de unas fisuras submicroscópicas que son características de este tipo de materiales y que están orientadas perpendicularmente al eje de la fuerza aplicada. Sin embargo, estos materiales pueden tener alta resistencia en compresión. Por eso, los materiales frágiles se usan generalmente en compresión, ya que así su resistencia es mucho más alta.

La figura 1.6 muestra una comparación de la resistencia a la compresión y a la tensión para fundición de hierro gris y concreto, los cuales son materiales frágiles. La figura 1.7 muestra un diagrama esquemático de una típica prueba de compresión.

En la prueba de compresión, la constricción nunca se forma, ya que aumenta el área de la sección transversal de la muestra. Los materiales muy dúctiles raramente se prueban en compresión porque la fricción restringe la muestra en las zonas de contacto con las platinas del aparato. Esta restricción produce una distribución de esfuerzos compleja, analizable solo en forma aproximada.

Para efectuar la prueba de compresión en los materiales, suele tomarse una pequeña probeta cilíndrica, con una relación altura/diámetro que no exceda de 3/1. Con probetas que superen esta relación se corre el riesgo de que se doblen bajo la carga. En la prueba de compresión resulta difícil obtener condiciones de carga completamente axial, por lo que debe

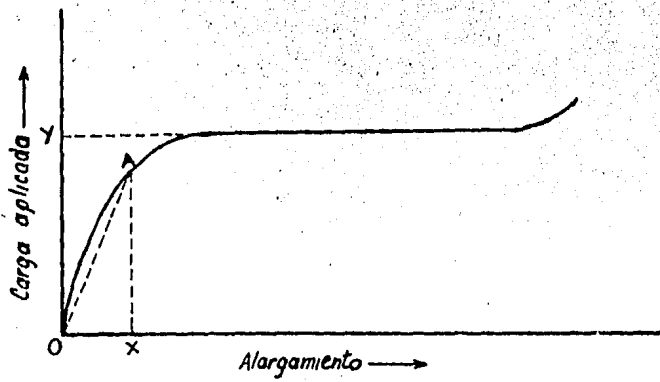


Figura 1.5. Diagrama carga-alargamiento para un termoplástico.

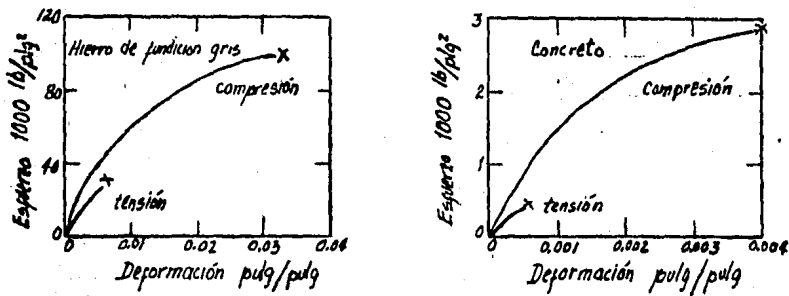


Figura 1.6. Curvas de esfuerzo y deformación en tensión y compresión para fundición de hierro y concreto.

lograrse el posicionado preciso de la pieza de ensayo y el centrado exacto de la muestra sobre los platos de carga de la máquina. La prueba de compresión se usa algunas veces como medio para determinar las propiedades de tensión de un sólido frágil, tal como un material cerámico. En este caso la muestra es de forma de disco circular, el cual es sometido a compresión diametral.

1.3 PRUEBA DE FLEXION.

La prueba de flexión o también conocida como módulo de ruptura se lleva a cabo con una pequeña barra libremente apoyada por ambos extremos, con carga aplicada en el centro. El módulo de ruptura, o resistencia de rotura transversal es la tensión máxima desarrollada en el material en el punto de fractura; puede calcularse por medio de una expresión general relativa al curvado:

$$\frac{M}{I} = \frac{\sigma}{y}$$

En donde: M, es el módulo de ruptura del material,
y, es la carga aplicada,
 σ , es la tensión máxima desarrollada en el material
I, es el momento de inercia del material.

El módulo de ruptura es un valor que generalmente se especifica para los materiales cerámicos frágiles. Es la resistencia de un material determinada por ensayo del mismo a flexión con una carga transversal. Este tipo de prueba de flexión transversal se emplea también para los materiales term endurecibles, particularmente los plásticos laminados tales como fenol-formaldehído.

1.4. PRUEBA DE TORSION.

La prueba de torsión se emplea para determinar las características de un metal cuando se halla bajo la influencia de fuerzas de cizallamiento. La probeta utilizada para esta prueba es de forma cilíndrica y está sometida a un par de torsión, de modo que el eje de este par coincida con el eje de la probeta; por tanto, ésta se encuentra en torsión pura. En la periferia del material se desarrollan tensiones de cizallamiento tangenciales al estar sometido a un giro un extremo de la probeta en relación con el otro. El ángulo de torsión γ , por consiguiente, la deformación de cizallamiento desarrollada - puede medirse por medio de un aparato denominado torsiómetro. Un torsiómetro simple, pero preciso, consiste en un manguito tubular que se coloca encima de la probeta; un extremo del manguito va fijado muy firmemente a la probeta por medio de tornillos, y muy cerca del otro extremo, se une a ésta un collar calibrado, situándolo en el extremo opuesto de la longitud de referencia. Así es posible medir el ángulo de torsión sobre la longitud fija citada. Para obtener una precisión razonable, es necesario que la longitud de referencia sea bastante larga, siendo las longitudes más comunes las de 100 a 150 mm.

Dentro de la razón elástica, la tensión es proporcional a la deformación, y el módulo de rigidez del material, G , puede determinarse fácilmente, siendo éste el método más usual de determinación de G para los metales.

Cuando un cuerpo cilíndrico se somete a torsión pura, las tensiones inducidas en el material no son constantes en todos los puntos. La tensión de cizallamiento desarrollada es proporcional a la distancia radial desde el eje del cilindro, y por esto su valor máximo lo tenemos en la circunferencia exterior. Esto tiene relativamente poca importancia cuando la tensión máxima está dentro de la zona elástica, pero el comportamiento en la zona plástica puede ser irregular. Al incrementarse el par aplicado, el límite elástico se alcanza

primeramente en la periferia del cilindro empezando aqui la deformación plástica, pero la tensión en el interior del cilindro está aún dentro de la zona elástica. Al incrementar-se más el par de torsión, la zona de deformación plástica se ensancha de forma algo irregular y hacia el centro de la sección

1.5. PRUEBA DE IMPACTO.

La prueba de impacto mide la energía necesaria para romper una barra con una muesca patrón, por una carga bajo impulso, y por tanto es un indicio de la tenacidad en presencia de muescas de un material sometido a cargas de choque.

En este tipo de ensayo se usa una probeta entallada por fresado, la cual se somete a los golpes de un martillo pendular que está dotado de un movimiento rápido, midiéndose la energía absorbida en la fractura de la probeta. Este tipo de prueba ofrece la ventaja de revelar una tendencia a la fragilidad que no se aprecia en un ensayo de tensión normal, o en un ensayo de dureza.

Un factor determinante en este tipo de pruebas es la temperatura de transición de dúctil a frágil la cual es considerablemente mayor para condiciones de carga de impacto que para condiciones de deformación lenta. Por ejemplo, es posible que dos muestras de un material posean propiedades muy similares según una prueba a la tensión normal, pero que sean muy diferentes según una prueba de carga de impacto. Esto se refleja en muestras de un acero de baja aleación que presenta fragilidad de temple (véase la tabla 1.3).

Una aplicación importante de la prueba de impacto es comprobar si el tratamiento térmico de un material se ha efectuado convenientemente. Sin embargo, la resistencia al impacto no debe analizarse individualmente sino que debe juzgarse conjuntamente con los resultados de otras pruebas, incluyendo

las de resistencia a la tensión y la de dureza.

Los tipos de prueba de impacto con probetas entalladas utilizadas más comunmente son el de Charpy y el de Izod. En ambos tipos se deja caer un pesado péndulo de modo que golpee la probeta al final de su oscilación. Parte de la energía del péndulo se consume en romper la probeta. Se mide la altura - que alcanza el péndulo en el balanceo (altura de caída), la cual sirve para determinar la energía absorbida en la fractura. En la prueba Charpy, la probeta se ensaya como una pequeña viga simplemente apoyada, golpeando la arista aguda del péndulo en el punto medio de la longitud entre apoyos, por la parte opuesta a la entalla. En la prueba Izod, la probeta está en voladizo sujeta por una mordaza, quedando la entalla a nivel del plano de sujeción. El golpe de impacto se da por el propio lado de la entalla. En la figura 1.9 se muestran las dimensiones normalizadas de las probetas para las pruebas Charpy e Izod, así como su posición en la máquina.

La prueba de impacto también se emplea a menudo para evaluar la temperatura de transición del estado dúctil al frágil que se observa a medida que disminuye la temperatura. La temperatura de transición depende también de la geometría de la muesca de la probeta. Para materiales idénticos, cuanto más aguda la muesca, mayor será la temperatura aparente de transición.

1.6. PRUEBA DE FATIGA.

La prueba de fatiga determina los esfuerzos que una muestra de un material, con dimensiones patrón, puede resistir con seguridad por un número determinado de ciclos. En un tipo común de prueba de fatiga, la muestra se carga en flexión pura. Esta se gira posteriormente y con cada ciclo de rotación, todos los puntos de su circunferencia pasan de un estado de compresión a uno de tensión. Así, cada revolución constituye un ciclo completo de regresión de esfuerzos que en una

Composición	Estado	R.T. MN/m ²	Alargamiento % sobre 50 mm	Impacto Charpy valor en N-m
0.3% Cr 3.2% Ni 1.0% Mo	templado, revenido y enfriado rápidamente después del revenido.	855	28.6	105
	templado, revenido y enfriado lentamente después del revenido.	836	26.5	12

Tabla 1.3 Comparación de 2 muestras del mismo material con distintas condiciones en el temple.

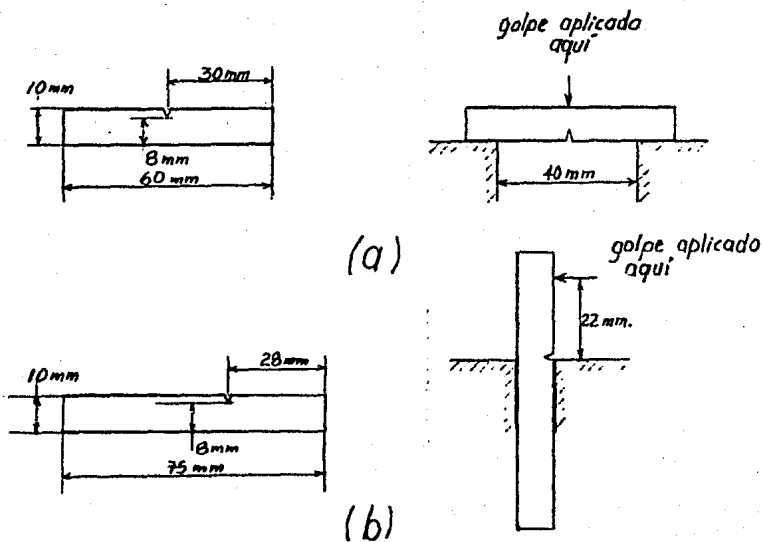


Figura 1.9 dimensiones normalizadas de las probetas para pruebas: a) Charpy y b) Izod

prueba normal se repite varios miles de veces por minuto. Las probetas se prueban hasta romperse empleando diferentes cargas, y el número de ciclos antes de la ruptura se registra para cada una. Posteriormente se trazan los datos como esfuerzo contra logaritmo del número de ciclos para fractura. En la figura 1.8 se muestra un diagrama esquemático de una máquina para pruebas de fatiga.

Debido a que las entalladuras y los cambios bruscos de sección actúan como puntos de elevada concentración de esfuerzos, las probetas para ensayos de fatiga deben prepararse con la superficie pulida, diseñándose de un modo tal que los cambios de sección sean graduales y de gran radio.

La frecuencia de los ciclos en el ensayo de fatiga es normalmente de hasta 150 Hz, pero, si para un material se requiere una valoración muy rápida, puede usarse una técnica de vibración de alta frecuencia. Con algunas máquinas donde se aplica esta técnica, los ensayos pueden llevarse a cabo con frecuencias de hasta 500 Hz. Con este valor se requieren sólo unas cinco horas para completar 10^7 ciclos; no obstante, los resultados obtenidos muestran límites de fatiga ligeramente superiores a los obtenidos con ensayos de baja frecuencia.

La resistencia a la fatiga aumenta si la superficie de la probeta se endurece por medios químicos o mecánicos que produzcan esfuerzos superficiales de compresión. Generalmente, la naturaleza química del ambiente tiene también su efecto; los límites de fatiga son; en general más bajos en un medio corrosivo que en uno no corrosivo. Si se aplica un esfuerzo constante cuando la muestra se flexiona en forma alternada en tensión y compresión, la vida de fatiga cambia.

Un esfuerzo de tensión reduce la vida a la fatiga, mientras que un esfuerzo constante de compresión la aumenta.

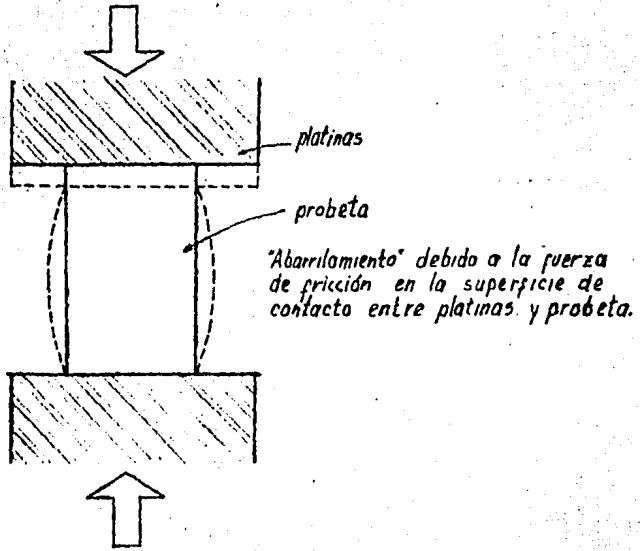


Figura 1.7. Diagrama esquemático de una típica prueba de compresión en un material dúctil

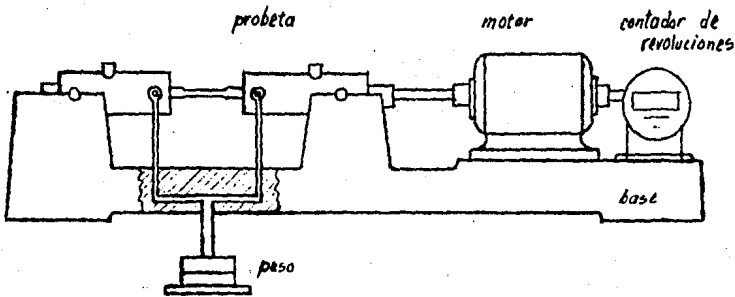


Figura 1.8. Máquina para pruebas de fatiga "R.R. Moore" de tipo de flexión reversible.

1.7. PRUEBA DE ALARGAMIENTO LENTO O CREEP.

Las pruebas de alargamiento lento o creep se efectúan a base de tensión, siendo el tipo de probeta similar a la del ensayo de tensión normal. Casi todas las pruebas creep se lleven a cabo bajo condiciones de carga constante, empleando pesos muertos que actúan por medio de un simple sistema de palancas. Para medir el alargamiento que se produce durante la prueba, se usa generalmente un extensómetro del tipo de espejo (figura 1.1) anotándose las lecturas del aparato, a intervalos regulares de tiempo hasta que se han obtenido todos los datos requeridos, o hasta que se rompe la probeta, dependiendo ello de si el objetivo de la prueba es determinar el alargamiento por unidad de tiempo o bien, el alargamiento total por tensión elástica.

Alrededor de la probeta se monta un horno tubular, siendo esencial que la temperatura se mantenga uniforme a lo largo de la longitud calibrada de la probeta y además, que sea constante mientras dure el ensayo. La regulación de la temperatura debe efectuarse dentro de $\pm 3^{\circ}\text{C}$ para temperaturas de ensayo de hasta 600°C . A temperaturas comprendidas entre 600 y 800°C , éstas deben mantenerse dentro de $\pm 6^{\circ}\text{C}$.

Una de las mayores dificultades de las pruebas creep es que sólo un ensayo puede tardar mucho tiempo en completarse (10 000 horas, esto es, 417 días) siendo muy difícil pretender la extrapolación partiendo de los resultados de ensayos comparativamente cortos de tiempo, para estimar el comportamiento probable de un material a lo largo de un período de servicio de 10 ó 20 años.

Existen modernos laboratorios de pruebas creep que pueden tener en servicio continuo varios centenares de máquinas de ensayo de alargamiento lento.

En la figura 1.10 se representa una curva típica obtenida en una prueba creep, y en ésta se muestran 4 regiones de a

largamiento:

- 1) alargamiento inicial, inmediato a la aplicación de la carga,
- 2) fluencia transiente o primaria,
- 3) fluencia a velocidad constante o secundaria,
- 4) fluencia terciaria.

El proceso de fluencia en el material, puede considerarse como una interacción entre dos mecanismos fundamentales que son: endurecimiento por trabajo y ablandamiento debido a procesos de recuperación tales como escalamiento de dislocaciones, deslizamiento cruzado activado técnicamente y difusión de vacancias.

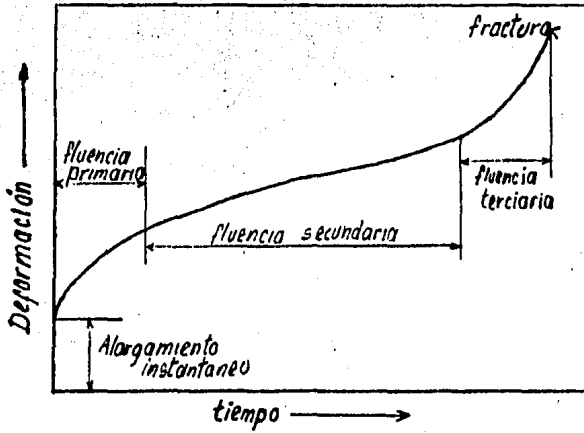


Figura 1.10 Curva típica de una prueba de "Creep" a largo tiempo y alta temperatura.

C A P I T U L O I I

DESCRIPCION DEL MARCO DE CARGA

2.1. OBJETIVO DEL TRABAJO.

Habiendo recalcado la importancia de los métodos en el aprendizaje de ciertos temas, resulta evidente que en la impartición de las materias relacionadas con propiedades mecánicas de los materiales, mucho ayudaría poder demostrar algunas de las teorías básicas relacionadas con su comportamiento.

El marco de carga tiene como objetivo fundamental auxiliar al profesor en la impartición de temas relacionados con las propiedades mecánicas de los materiales, mediante una demostración experimental, sencilla y rápida que complementa la parte teórica de los temas en cuestión.

Para cubrir este objetivo se tomaron en cuenta los siguientes factores:

- Las demostraciones habrán de desarrollarse en el mismo salón de clases para evitar el traslado de los alumnos hasta el laboratorio de materiales. En consecuencia, el marco de carga debía ser lo bastante ligero y cómodo para ser trasladado manualmente sin mayores problemas.
- Los componentes del marco de carga se buscarán en el mercado a un precio razonable, de tal forma que su construcción resulte económica, sin descuidar la calidad.
- Se procurará idear un sistema lo más completo posible, versátil y funcional, y que a la vez será fácil de operar.

Una vez que se tuvo una idea clara de cómo habría de realizarse el marco y cuáles funciones habría de tener, se tomó la decisión de hacer una lista de materiales fundamentales, de existencia en el mercado para obtener una cotización a proximada. En base a esto y a los elementos que se seleccionaron, se llevó a cabo el proyecto y los cálculos del mar

co de carga en general.

Sin embargo, después de obtener algunas informaciones y cotizaciones de los productos requeridos, se llegó a la conclusión de que no existían en el mercado nacional los elementos básicos que conformarían el marco y que cubrían debidamente los objetivos fijados; por otra parte, al cotizar algunos otros que podrían suplir a los proyectados se encontró que eran demasiado costosos para justificar una inversión que en mi caso de estudiante distaba mucho de mis posibilidades económicas; además era difícil de justificar un gasto de esta índole para que la Universidad pudiera financiar el proyecto.

Al plantear estos problemas con el asesor del proyecto, se llegó al acuerdo de fabricar todos los elementos que integran el marco de carga y que son básicamente: la bomba hidráulica, la válvula de cuatro vías y el pistón hidráulico de doble efecto, siendo los demás elementos fáciles de obtener a precios accesibles (mangueras, tubería de cobre, conexiones, manómetros, etcétera).

La idea de que los componentes fundamentales fueran fabricados en su totalidad en los talleres de manufactura con que cuenta la facultad de Ingeniería, y bajo la supervisión y apoyo de los profesores cubrió algunos aspectos importantes de la formación profesional que como ingeniero se adquiere a través de este tipo de experiencias, y a la vez fue un reto para uno de los más grandes problemas que afronta el país y que es la falta de tecnología para hacer las cosas.

Con detalle y más adelante se indicarán los pasos a seguir para la elaboración de cada uno de los componentes así como sus planos respectivos, materiales de construcción, etc.

2.2. ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN EL MARCO DE CARGA Y FUNCIONES QUE CUMPLEN.

Como su nombre lo indica, es en esencia un marco de construcción de aluminio con refuerzos de acero, en el cual se adaptan tanto las probetas y prototipos, como el cilindro hi -

hidráulico, que es el que proporciona la fuerza necesaria para realizar las pruebas.

Por medio de mangueras llega el líquido hidráulico hasta el cilindro. En una unidad aparte se instalan el conjunto de la bomba hidráulica, el depósito del líquido, y la válvula direccional así como los accesorios.

En la figura 2.1 se muestra el diagrama lógico que se sigue en el marco para realizar una prueba. En la figura 2.2 se tienen los componentes en dibujo para lograr una mejor comprensión. Notamos inmediatamente que son dos unidades básicas las que integran el sistema en general:

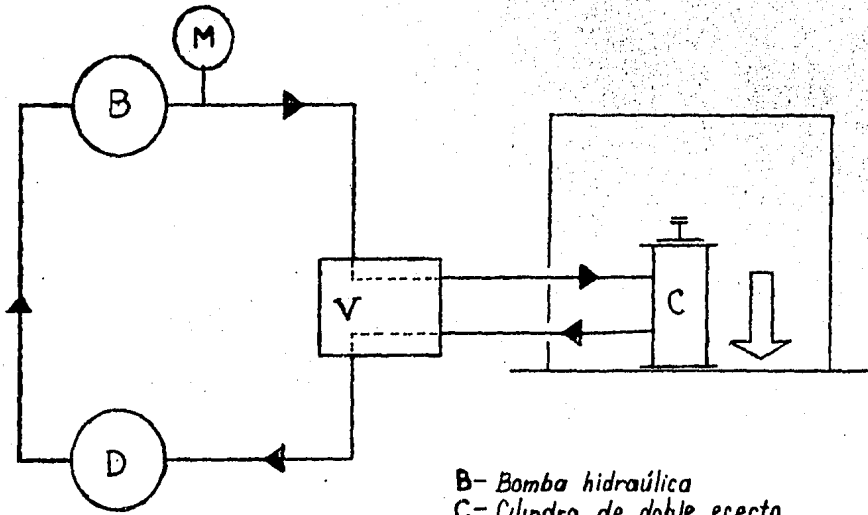
PRIMERA: La unidad de fuerza y medición integrada por la bomba hidráulica, la válvula direccional (4 vías), el manómetro y los accesorios correspondientes.

SEGUNDA: El marco de carga, en el que se instalan las probetas a ensayarse y el cilindro de doble efecto con las mangueras que lo interconectan con la unidad de fuerza.

Luego entonces, las probetas serán destruidas mediante la fuerza obtenida de una bomba hidráulica la cual será operada manualmente por el instructor o el alumno. En un manómetro de carátula se leerá la presión, la cual por medio de factores de conversión, que estudiaremos más adelante, reconocerá la fuerza que se aplica para la destrucción de la probeta.

Mediante diversos dispositivos se logra la versatilidad del marco, el cual se podrá emplear para diversas pruebas, tales como: tensión, compresión, pandeo local, flexión, torsión, etcétera.

A continuación se describen en detalle los elementos básicos que constituyen el marco de carga, mencionando además los tipos de intercambio entre ellos y todos los accesorios correspondientes.



- B- Bomba hidráulica
- C- Cilindro de doble efecto
- D- Depósito del fluido hidráulico
- M- Manómetro para medir la fuerza aplicada
- V- Válvula de 4 vías

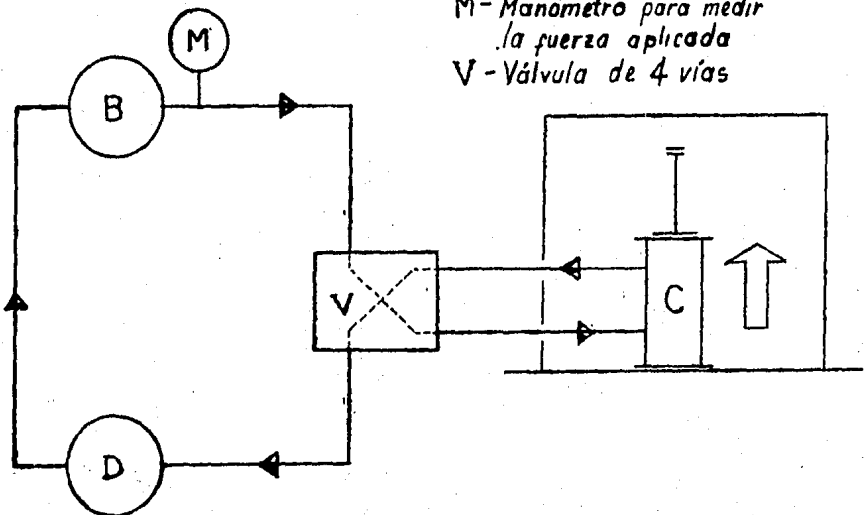
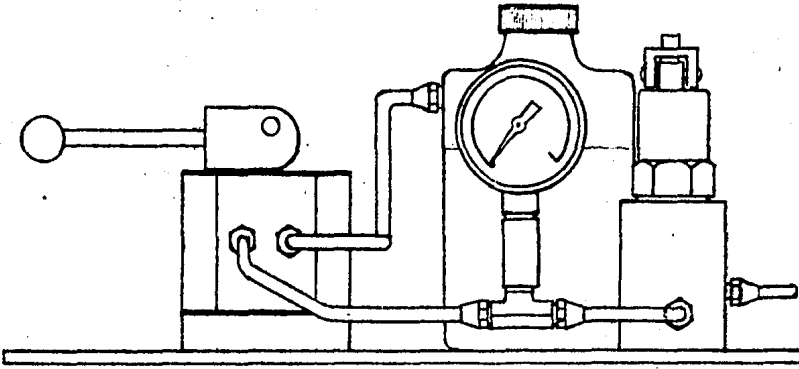


Figura 2.1 Diagrama esquemático que representa el sentido del flujo hidráulico en el marco de carga.

elevación



planta

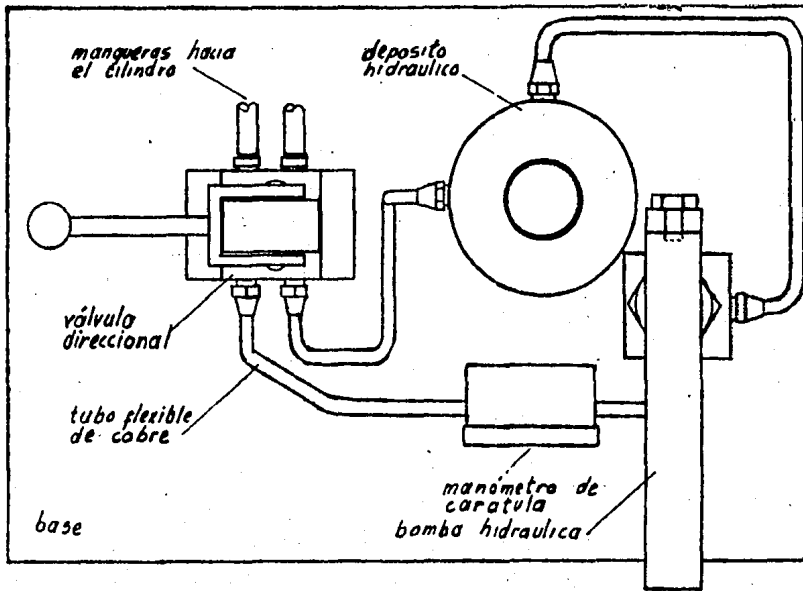
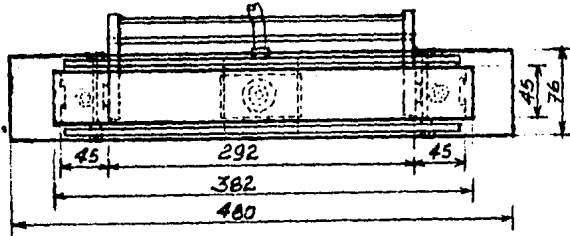


Figura 2.2.a. Elevación y planta del conjunto hidráulico que suministra la potencia al cilindro de doble efecto en el marco de carga.

planta



puente elevación

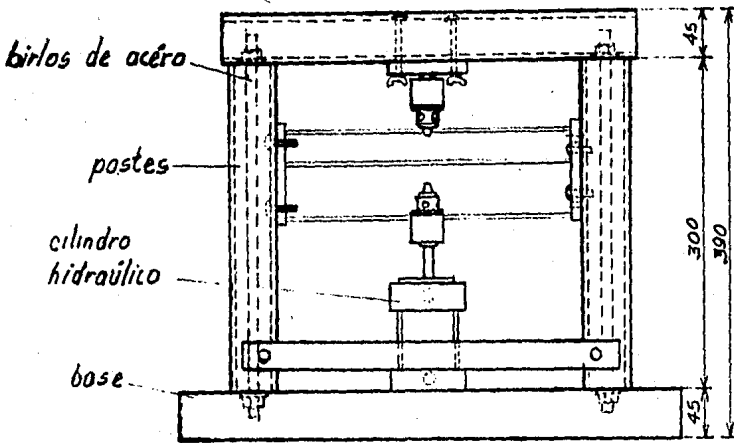
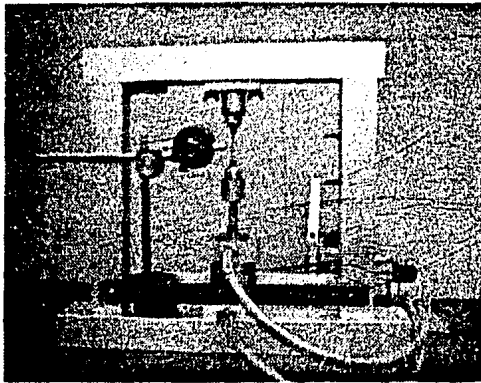
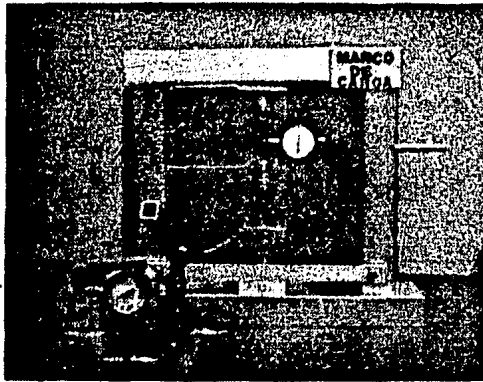


Figura 2.2. b. Unidad correspondiente al marco de carga con sus accesorios correspondientes.



*Figura 2.2.c Vistas anterior y posterior del marco de carga.
Mediante un imán se fija el indicador de carótula.*

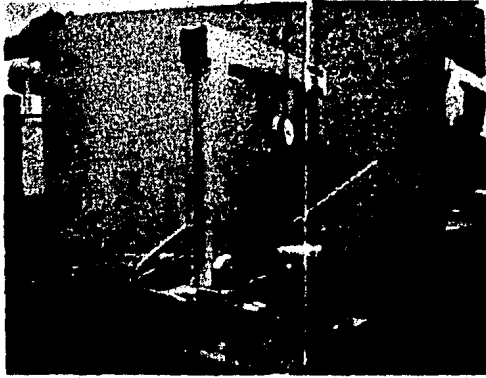
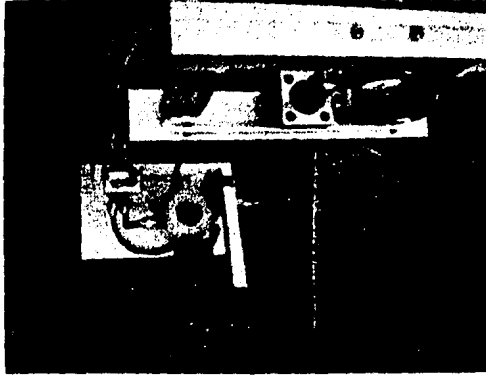


Figura 2.2. d. Vistas superior y frontal del marco de carga.

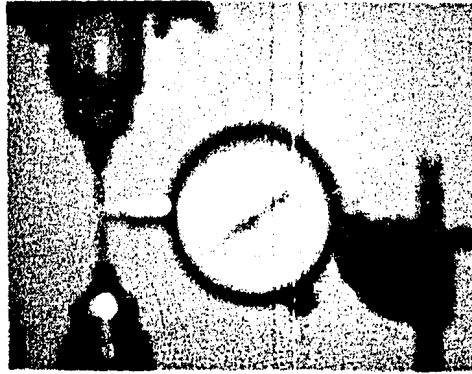
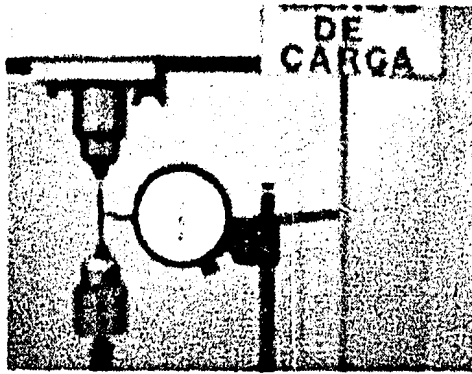


Figura 2.2. e. Detalles de montaje de la probeta y el indicador de corátula.

2.3 BOMBA HIDRAULICA.

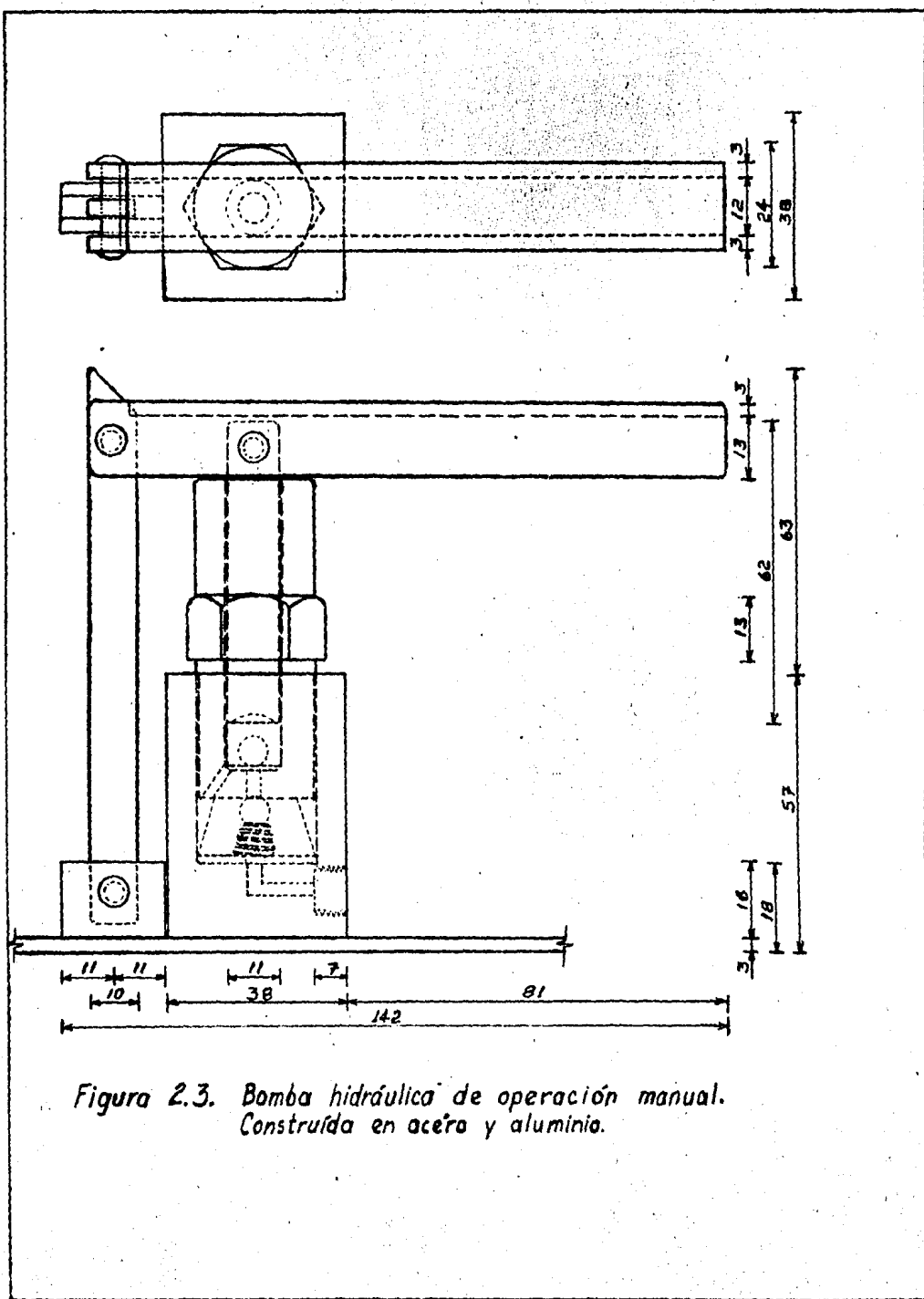
Como se mencionó anteriormente es la unidad que provee la fuerza que accionará el cilindro de doble efecto. Tiene integradas dos válvulas check en la misma dirección. Entre éstas existe un cilindro con un émbolo que aspira líquido hidráulico de un recipiente al ascender el pistón. Una vez que el pistón llega al punto máximo superior, el cilindro se ha llenado en su interior con el líquido hidráulico por el efecto de vacío.

La válvula check de aspiración permite el paso de líquido del recipiente hacia el cilindro, pero impide que éste regrese hacia el mismo. Al iniciar el descenso del pistón por la acción mecánica que el operador ejerce, el líquido se verá obligado a pasar por la válvula check de descarga que permite su paso, pero impide que éste regrese al cilindro. De tal forma, el líquido se irá acumulando en la tubería, el manómetro, la válvula direccional y el cilindro de doble efecto, en el que se transformará en una fuerza mecánica que es la aprovechable para la ruptura de las probetas. El operador aplicará en el pistón de la bomba los movimientos necesarios para que la probeta sea destruída.

La figura 2.3. muestra en detalle las vistas de la bomba hidráulica. El cuerpo de la misma está constituido de dos partes: el cilindro y la base. Ambas construídas de acéero al carbono y con barrenos y orificios entre éstas formando las válvulas check integradas dentro del mismo cuerpo.

Dos bolas de acéero y un resorte complementan el efecto de estas válvulas, trabajando la de aspiración por gravedad y la de descarga por la acción de un resorte. El sello de estas válvulas check se logró con el asentamiento de las bolas de acéero en los barrenos del cuerpo de la bomba.

En la base de la misma se tienen los orificios de aspiración y descarga, roscados para insertar los conectores debidos.



El pistón de la bomba también es de acero al carbono y lleva en uno de sus extremos un anillo de neopreno, el cual logra el sello entre las paredes del cilindro y el pistón, evitando además fugas del líquido hacia el exterior. En el otro de los extremos se acopla mediante un barreno y un perno un sistema de biela-palanca que logra un desplazamiento vertical ascendente-descendente en el mismo.

La biela y la palanca son de aluminio estructural con la suficiente resistencia para soportar la acción manual aplicada, además, con la ventaja de ser ligeros y así disminuir el peso de la bomba.

2.4 VALVULA DIRECCIONAL O DE CUATRO VIAS.

Consta de un elemento fijo (cuerpo) y otro móvil (vástago), todos fabricados y maquinados de solera rectangular de aluminio para obtener ligereza. Como se ilustra en la figura 2.4, se tienen en los costados del cuerpo barrenos roscados para la conexión de tubos y mangueras por las cuales circula el líquido hidráulico.

Dos barrenos por un lado para conectar a la bomba y al recipiente, y dos más por el otro para conectarse con el cilindro de doble efecto.

Estos barrenos roscados llevan un asentamiento por el otro extremo para alojar cuatro anillos de neopreno, los cuales sellan e impiden fugas del líquido al pasar a través de ellos.

El vástago de la válvula se aloja dentro del cuerpo teniendo libertad para lograr sólo un movimiento vertical ascendente-descendente, y entra a bastante presión para causar la deformación de los anillos de neopreno y de esta forma evitar fugas. En una posición, el vástago comunica los cuatro orificios de la válvula en forma paralela; y en la otra comunica a éstos en una posición que logra que el fluido que viene de la bomba se comunique a la parte inferior del cilindro de doble

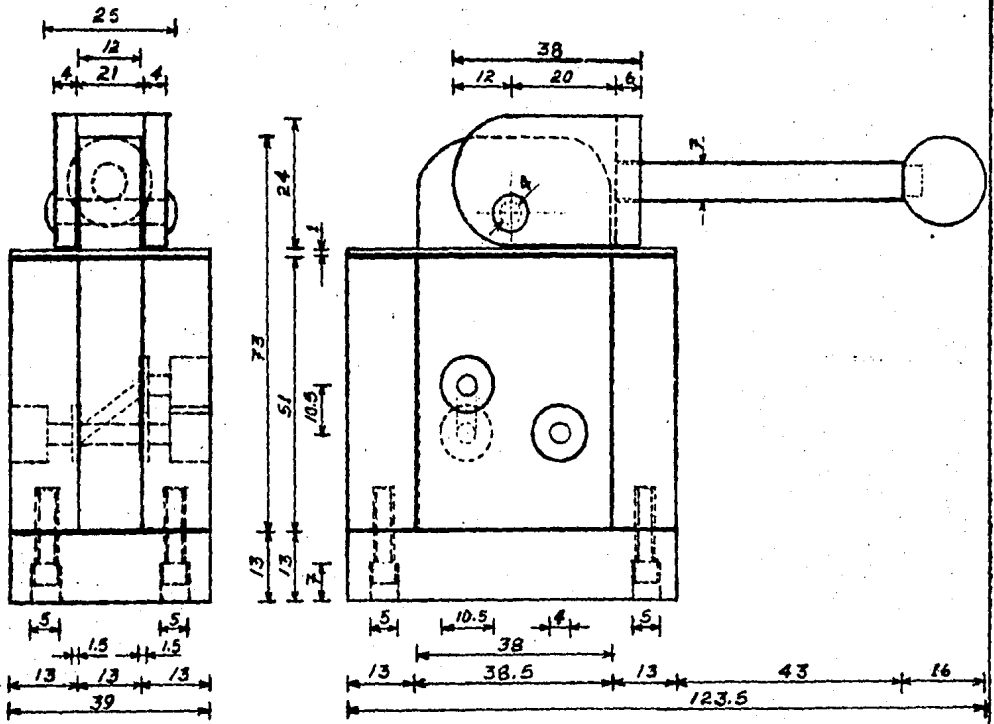


Figura 2.4. Válvula hidráulica de 4 vías y dos posiciones de operación manual.

efecto, mientras que la parte superior se comunica con el re ci pi en te.

Un mecanismo de leva con un maneral acoplado al vástago de la válvula es el que hace que cambie de una posición a otra al girar 90° . Esta se construye de solera de acéero al carbono laminada en caliente y cuenta con la dureza suficiente para aceptar el desgaste propio por el uso al cambiar de una posición a otra.

Las partes que forman el cuerpo están unidas entre sí con tornillos allen y con los empaques necesarios para evitar fugas en el mismo. Se acoplan además, conectores roscados de aluminio en la parte que va hacia el cilindro y conectores roscados de bronce por el lado opuesto.

2.5 CILINDRO DE DOBLE EFECTO.

Lo constituyen las siguientes partes: la tapa, el pistón y vástago, los empaques y los sistemas de fijación que se pueden ver en el corte de la figura 2.5.

Las tapas están fabricadas de fundición de aluminio. Maquinadas de tal forma que centran y soportan al cilindro, contando así mismo con un barrenado roscado y los orificios necesarios para comunicar el cuerpo del cilindro con el exterior. La tapa inferior está completamente cerrada, mientras que la superior lleva el orificio por el cual pasa el vástago del pistón, así como un alojamiento para un buje de bronce y el sello respectivo.

Cuatro orificios en los extremos alojan los tornillos que sujetan ámbas tapas, teniendo en medio al cilindro. Este es un tubo de aluminio extruido, con la pared interior bastante lisa para facilitar el desplazamiento del pistón y evitar fugas de líquido. En los extremos lleva empaques de neopreno con los cuales sella al cuerpo con las tapas.

El pistón lo forman tres discos de aluminio separados entre sí por otros de diámetro inferior, formando en conjunto

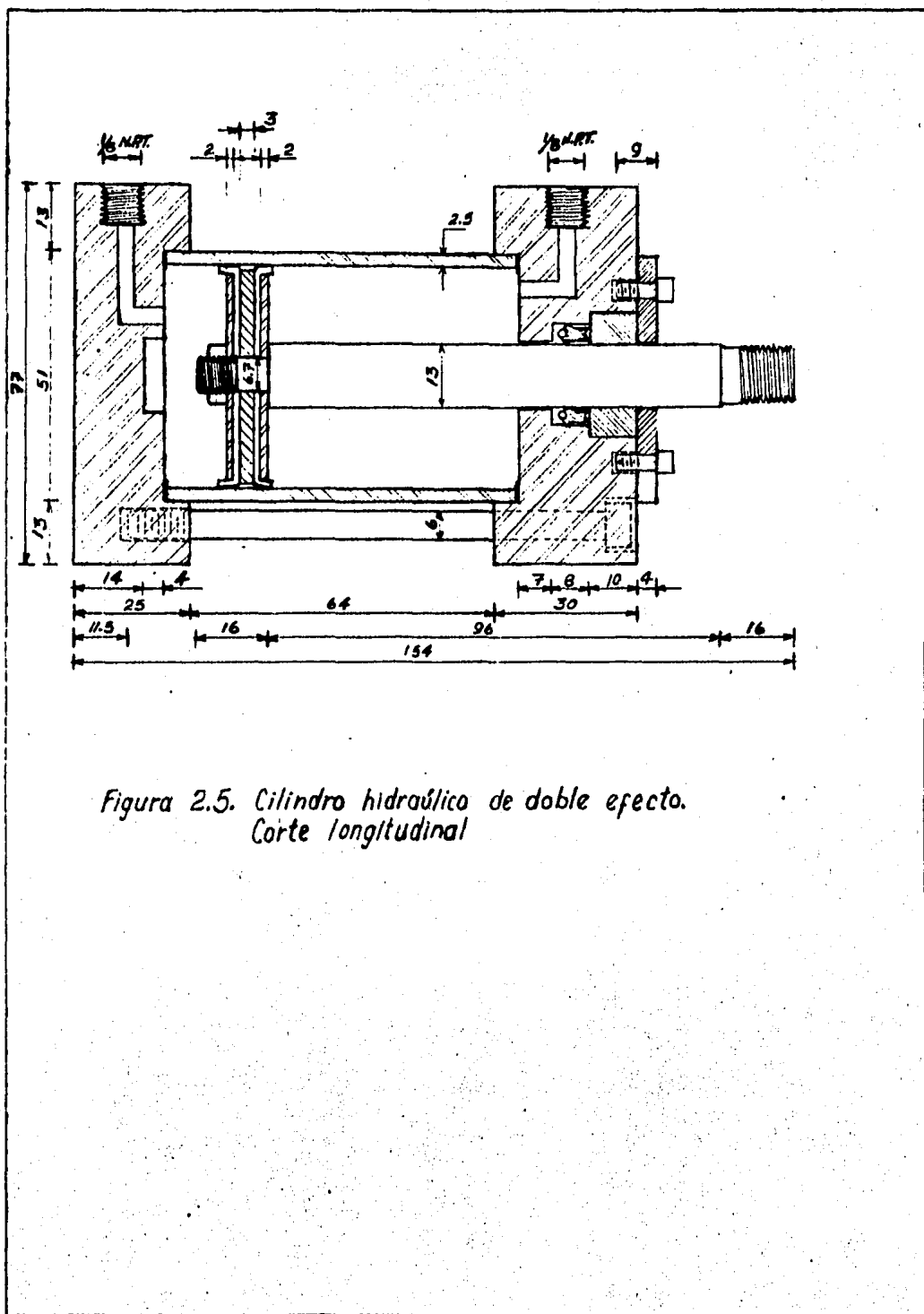


Figura 2.5. Cilindro hidráulico de doble efecto.
 Corte longitudinal

los alojamientos de los empaques de neopreno (polypaks) que actúan bajo la influencia de la presión producida por el líquido hidráulico. El vástago de este pistón sujeta al conjunto de discos y en su extremo libre se encuentra roscado de tal forma que puedan adaptarse a él los dispositivos necesarios para las pruebas. El material de construcción del vástago es acero al carbono y como ya se mencionó, es guiado a través de la tapa superior mediante un buje de bronce alojado en la misma, y que está sujeto a ella por una roldana de aluminio.

2.6 DEPOSITO DEL LIQUIDO HIDRAULICO.

Es un recipiente de 280 ml de capacidad, de forma redonda y todo de plástico, incluyendo la tapa. A éste se acoplan dos conectores formando el circuito de entrada-salida a los niveles correspondientes. Es un recipiente que mantiene siempre un mismo nivel de líquido, debido a que alimenta un pistón de doble efecto. El tipo de fluido hidráulico que se emplea es líquido para frenos de automóvil.

2.7. MANOMETRO DE CARATULA.

En el marco de carga se emplea un manómetro del tipo de carátula de 52 mm de diámetro, con rango de 0 a 11 Kg/cm² - (160 lbs/pulg²) con dos escalas de lectura. Se instala a la salida de la bomba hidráulica por medio de una tee y un cople, pudiendo intercambiarse fácilmente por otro de menor o mayor escala según se requiera.

2.8 ACCESORIOS CORRESPONDIENTES.

Las partes que integran la unidad de fuerza se acoplan entre sí con tubo flexible de cobre de 6.3 mm de diámetro, a vellanado en sus extremos y con sus respectivas tuercas cóni

cas de bronce. Para transmitir el fluido de potencia al cilindro de doble efecto se emplea manguera "polyflow" de 6.3 mm de diámetro interior adaptada a conectores biselados y sujeta a éstos mediante abrazaderas sinfín de acéero inoxidable.

Todo el conjunto va montado en una placa de aluminio de 3.5 mm de espesor y a ésta se fija un sistema de soporte para su traslado. Se buscó además que la mayoría de los tornillos empleados fueran de aluminio, empleando acéero al carbono en aquellas partes o articulaciones que así lo requerían.

Las piezas y partes que necesariamente tuvieron que fabricarse de acéero al carbono se cubrieron con esmalte acrílico para evitar su oxidación.

2.9 UNIDAD DEL MARCO DE CARGA.

La unidad correspondiente al marco de carga se construye con perfiles extruídos de aluminio, los cuales llevan refuerzos en dos lados opuestos, contando de esta forma con mayor rigidez.

La estructura fundamental consta de tres partes: una base, dos postes y un puente, unidos rigidamente entre sí por medio de dos birlos de acéero al carbono de 9.5 mm de diámetro ocultos en los postes y apretados mediante tuercas, roldanas planas y de presión. Tanto las partes como el puente son de sección cuadrada (45 mm por lado), mientras que la base es de sección rectangular (45 X 75 mm), todas de 2 mm de espesor de pared (ver figura 2.6).

Se acoplan a los postes y en forma paralela a la base, dos soleras de aluminio de 6.3 X 25mm, quedando una de ellas fija, mientras que la otra es facilmente desmontable al estar sujeta mediante tuercas de mariposa. Estas soleras a la vez que sujetan firmemente el cilindro de doble efecto, permiten un desplazamiento horizontal del mismo, el cual es necesario para lograr su correcta posición dependiendo del tipo

sección transversal del puente.

birlo de acero de 9.5 mm ϕ .

refuerzos extraídos en el perfil de postes y puente.

vista lateral de un poste.

sección rectangular del perfil de la base.

roldanas plana y de presión para refuerzo.

tuerca hexagonal de cuerda estándar.

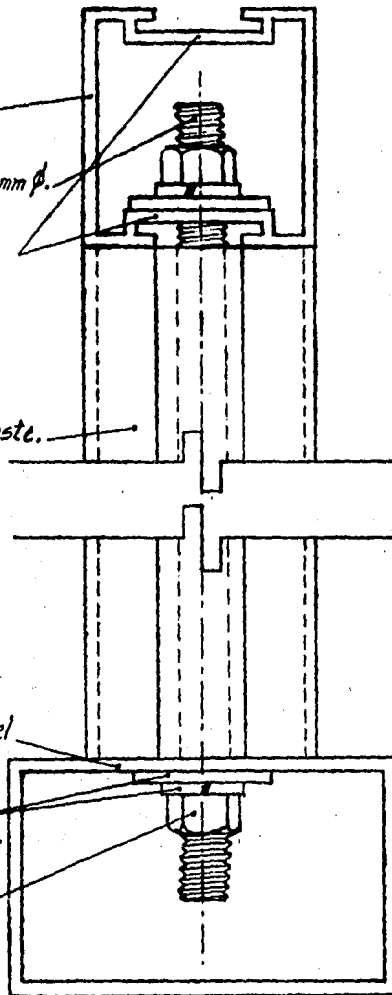


Figura 2.6. Secciones transversales que componen el marco, así como el detalle del armado.

de prueba que se va a realizar. Cuando el cilindro se ha posicionado en el lugar requerido sobre la base, basta con acoplar dos ganchos de presión ajustables a las soleras para que éste quede bastante rígido para poder iniciar las pruebas.

Para la fijación de las probetas, el marco cuenta con dos mordazas del tipo de broquero ajustable, con corona dentada, como las que emplean los taladros eléctricos y que se aprietan por medio de una llave con un piñón en la punta (ver figura 2.7). Un broquero se acopla al vástago del cilindro constituyendo la "mordaza" móvil que aplica la fuerza, y el otro, que constituirá la "mordaza" fija se acopla a una placa rectangular de aluminio de 13 mm de espesor, con dos barrenos en sus extremos que ayudan a su fijación, tanto en uno de los postes, como en el puente, dependiendo de la prueba que ha de realizarse.

En los costados interiores de los postes (ver figura 2.7) se tienen dos placas triangulares también de aluminio que sirven como apoyo a diversas barras horizontales, que se pueden intercambiar y posicionar de tal forma que sirvan para sujetar los instrumentos que se deseen emplear para medir la deformación de las probetas (tales como el indicador de carátula, algún tipo de seguidor, un micrómetro, etc). La variedad y el tipo de estos instrumentos dependerá del criterio y posibilidades de cada profesor u operador, quienes podrán llevar a cabo la operación de una forma versátil y creativa, como ellos quieran esto es, se podría instalar algún tipo de indicador muy especial, un buen diseño de un seguidor para las deformaciones, o en un mejor caso, un sistema transductor para lograr una señal eléctrica que se lea en una pantalla, etcétera.

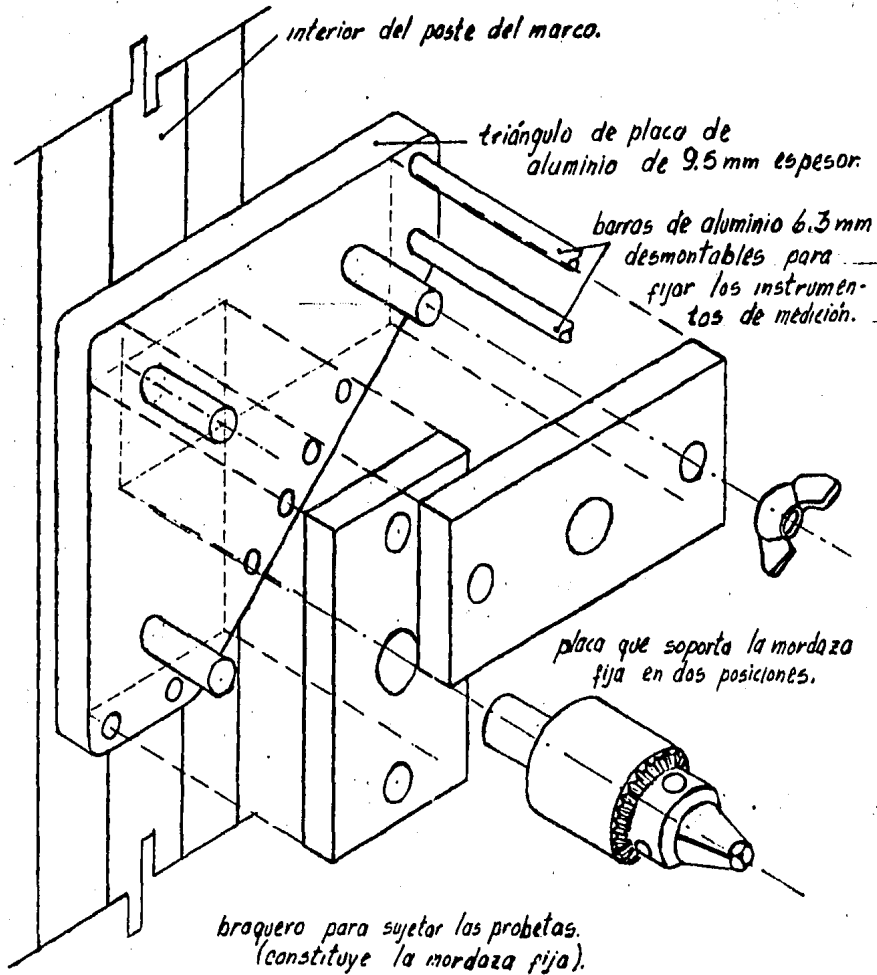


Figura 2.7. Despiece volumétrico mostrando las distintas adaptaciones para las pruebas en el marco.

C A P I T U L O I I I

DESCRIPCION DE LAS PRUEBAS DESARROLLABLES.

Debido a que la magnitud de la fuerza aplicable a las probetas en el marco de carga, así como la ligereza del mismo y su tamaño son relativamente pequeños en comparación con las alcanzadas por las máquinas de laboratorio empleadas para el mismo fin, resulta evidente que en este modelo sería imposible llevar a la ruptura probetas de materiales con altos grados de resistencia.

Es importante recordar que el objetivo básico del marco es llevar a cabo una serie de pruebas mecánicas destructivas con fines didácticos, en el mismo salón de clases en donde se esté impartiendo la teoría respectiva. También el marco de carga debe ser tan ligero que sea trasladado fácilmente de un lugar a otro sin mayor dificultad.

Analizando todos estos parámetros, se llegó a la conclusión de que las probetas a destruirse podrían ser representativas de las reales, y que además cumplirían el objetivo de ayudar a comprender prácticamente lo que sucede a las mismas durante los distintos ensayos.

Considerando lo anterior, concluimos que en el marco de carga se podrán ensayar probetas de materiales con un grado de resistencia que no supere el del aluminio, puesto que es este el material básico empleado en la construcción del marco. Entonces, podrán hacerse probetas de materiales como: estaño, plomo, metal babil, latón y algunos tipos de termoplásticos y termofijos; quedando la posibilidad de motivar a los alumnos para que ellos mismos fabriquen sus probetas de los materiales que deseen, en los talleres de la facultad, siempre y cuando se cumpla que no exceda el grado de resistencia del aluminio como se mencionó anteriormente.

El marco de carga cuenta con un lote de probetas de distintos tamaños, los cuales se han definido tomando como norma las dimensiones de las tablas 1.1 y 1.2, y se ha realizado una escalación en las medidas, considerando todos los parámetros indicados anteriormente.

A continuación se describen las pruebas mecánicas que se pueden realizar con el marco, aclarando que es una forma determinada, sin que con ello se limite la creatividad y diversidad de uso que se puede obtener del mismo.

3.1 TENSION PURA.

La palabra tensión, generalmente indica la dirección, el sentido y la intensidad de una fuerza actuando en un plano de un elemento sometido a la acción de un sistema de fuerzas exteriores.

Considerando que sobre la superficie de dicho plano actúa una fuerza resultante que denominamos dP , el modelo de tensión se define como:

$$\text{Tensión} = \lim_{dA \rightarrow 0} \frac{dP}{dA}$$

En la figura 3.1 b, se muestran los resultados obtenidos para una prueba de tensión pura, efectuada en el marco de carga, así como los gráficos correspondientes. La medida de la deformación se tomó con un indicador de carátula marca Starrett con lecturas en 0.0005".

En la práctica, al considerar las piezas sometidas a distintos tipos de cargas externas, se involucran una serie de planos que definen las direcciones en que actúan las tensiones, dando lugar al problema denominado de tensiones combinadas, el cual junto con toda la teoría sobre tensiones sale fuera del alcance del presente trabajo, ya que existe una gran

diversidad de obras que tratan en detalle el problema.

Para el caso de la prueba de tensión que se realiza en el marco de carga, la fuerza se aplica longitudinalmente a través del eje de la probeta jalándola por los extremos y dando lugar a una tensión pura, pues en ese momento son despreciables el resto de las fuerzas que sobre la misma actúan.

Es importante que las dos mordazas que sujetan la probeta se alineen correctamente (figura 3.1) ayudándose de las marcas que para tal fin se han grabado en el aparato.

También se debe cuidar que ambas mordazas se aprieten correctamente, para evitar que la probeta resbale al aplicar la fuerza en el cilindro. (En el capítulo IV se mencionan con detalle los pasos a seguir en el ajuste de cada una de las piezas del marco de carga, además de que se encuentran listados todos los datos técnicos acerca del mismo y los parámetros más importantes referentes a su comportamiento, los cuales de una u otra forma podrán ser una guía útil para su manejo).

Se debe cuidar que no se ensayen probetas con un alto módulo de elasticidad, ya que la carrera del cilindro no sería suficiente para ocasionar la ruptura en una prueba de tensión (tal sería el caso de colocar por ejemplo algún tipo de hule o un material demasiado elástico).

3.2 COMPRESION PURA.

Durante la prueba de compresión, la fuerza se aplica también a través del eje longitudinal de la probeta, pero de tal forma que comprime a la misma. En esta prueba, más que en la de tensión, es muy importante que la alineación de las mordazas sea correcta, pues una ligera desviación cambiaría por completo el tipo de prueba al existir un momento resultante en la aplicación de la fuerza.

Como se ve en la figura 3.2, se tiene la opción de insertar unas "platinas" adaptables a las mordazas, para tener dos superficies perfectamente lisas y paralelas, y de esta forma

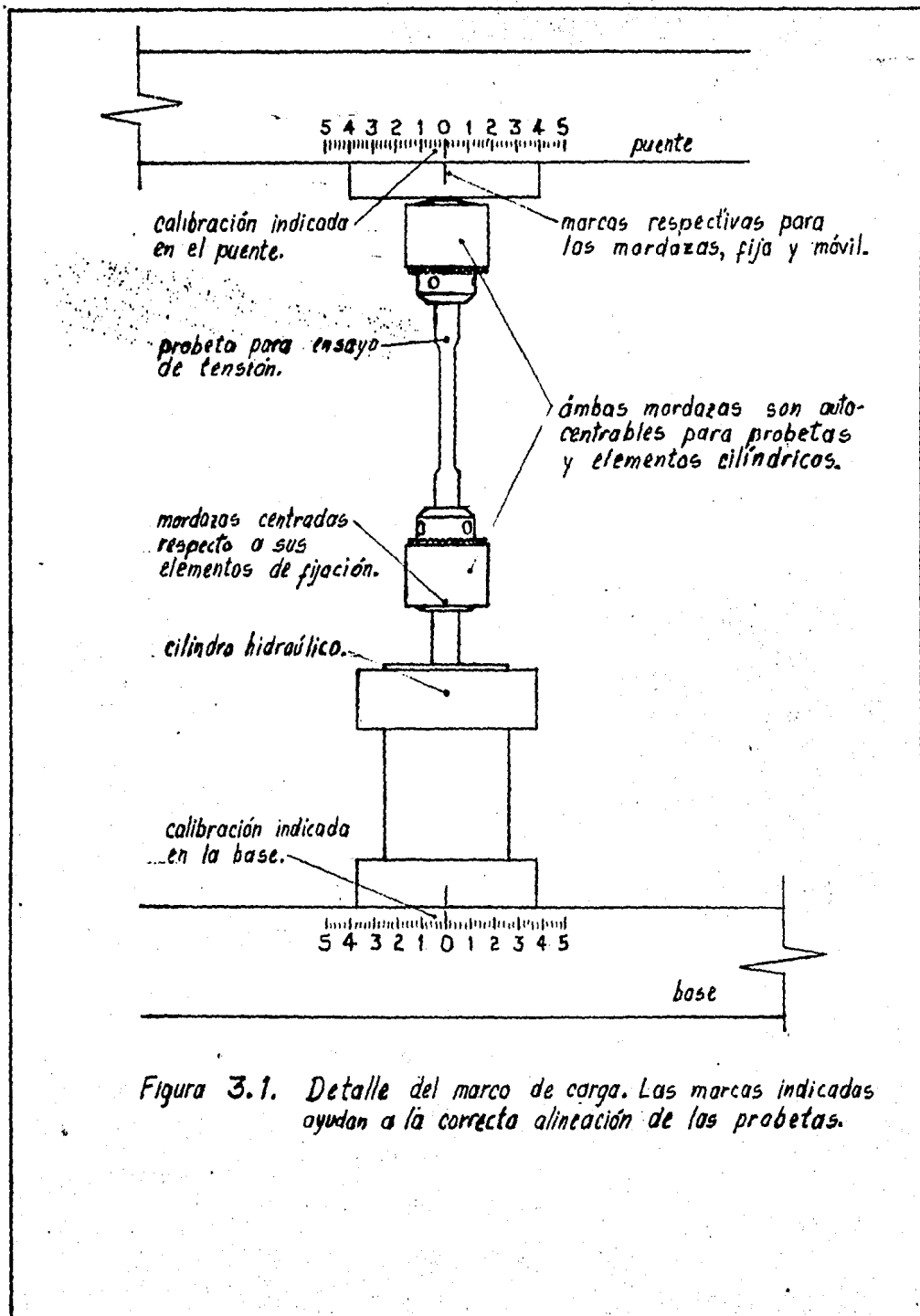


Figura 3.1. Detalle del marco de carga. Las marcas indicadas ayudan a la correcta alineación de las probetas.

PARAMETROS DE LA PRUEBA

Tipo de prueba	Tensión pura
Material de la probeta	Aleación de estaño 50% y plomo 50%
Sección transversal original	3 milímetros
Longitud calibrada original	20 milímetros
Sección transversal final (en la fractura)	1.2 milímetros
Longitud calibrada final	25.6 milímetros

TABLA DE DATOS

Carga aplicada Kg	Presión en manómetro Kg/cm ²	Longitud entre marcas L mm.	Cambio de longitud $\Delta L = L - L_0$ mm.	Deformación $E = \frac{\Delta L}{L_0}$	Si observa constricción
16.7	1.0	20.0	0.0	0.00	NO
23.4	1.4	20.0	0.0	0.00	NO
31.4	1.8	20.2	0.2	0.01	NO
45.2	2.7	20.5	0.5	0.025	SI
51.9	3.1	21.0	1.0	0.05	SI
65.3	3.9	22.1	2.1	0.105	SI
77.1	4.6	23.5	3.5	0.175	SI
61.2	3.7	25.6	5.6	0.280	FRACTURA

CURVA DE ESFUERZO-DEFORMACION

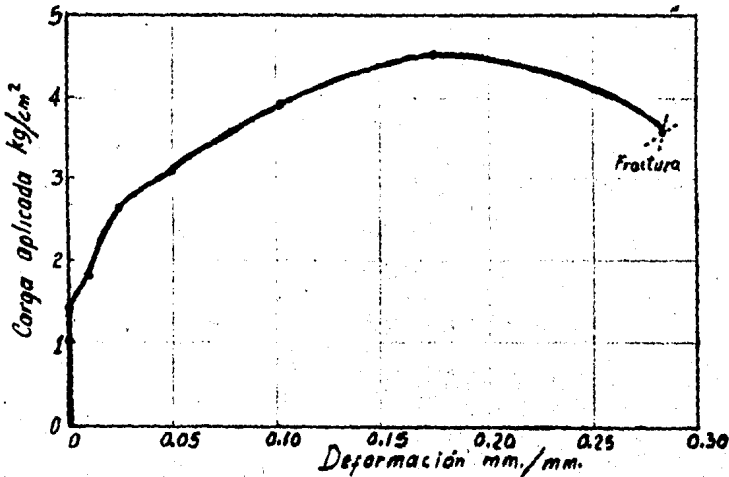
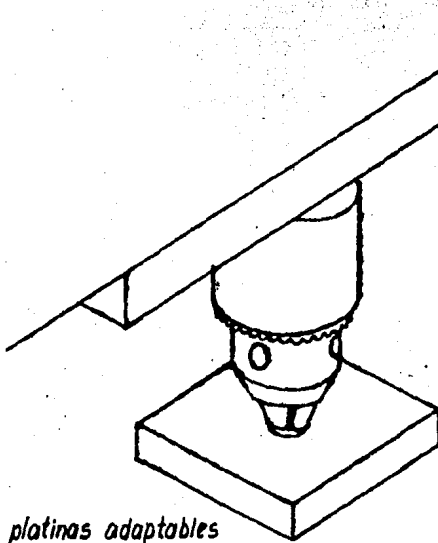
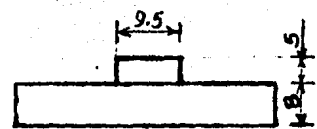


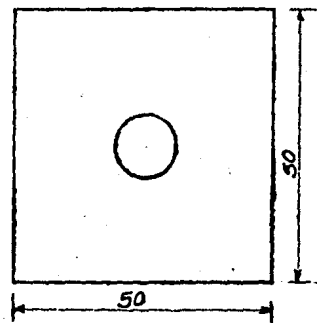
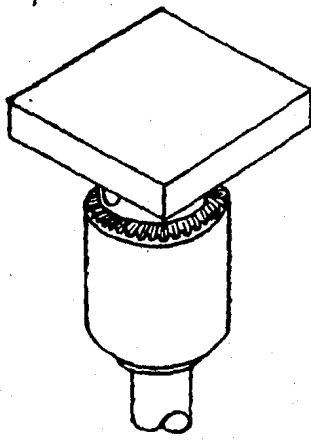
Figura 3.1. b. Resultados obtenidos en un ensayo de tensión con el marco de carga.



platinas adaptables
para varias pruebas



elevación



planta

Figura 3.2. Detalle de adaptación de las platinas, así como sus dimensiones correspondientes.

poder destruir probetas de diámetros mayores a 10 mm.

Se recomienda que los materiales que se sometan a esta prueba sean del tipo frágiles o con bajos índices de elasticidad, aunque ello no limita a ensayar cualquier tipo de materiales siempre y cuando cumplan las condiciones discutidas en el capítulo anterior.

Deberá procurarse no emplear probetas demasiado cortas, pues se corre el riesgo de hacer chocar las platinas y causar daños tanto en el marco como en el cilindro y los accesos correspondientes, si es que el vástago no alcanza su máxima elevación.

3.3 PANDEO

El pandeo es una forma de inestabilidad que afectará a las probetas, dependiendo de las condiciones de carga que se establezcan, así como de la forma y dimensiones que se pretendan ensayar.

Consideramos las dos formas básicas que clasifican este tipo de falla:

a) Pandeo en columnas, las cuales son miembros que transmiten cargas axiales de compresión. Su sección transversal podrá ser de una forma determinada, y los distintos tipos de restricciones (apoyos) con que cuenta en sus extremos, serán los parámetros que rijan su comportamiento durante la aplicación de la carga.

Los tipos de articulaciones más comunes son: el tipo articulado - articulado, la columna empotrada - libre (asta de bandera), empotrada - empotrada en donde ambos extremos se encuentran impedidos de rotación, etc. como se ilustra en la figura 3.3.

Al tener seccionada la columna a ensayarse, bastará con definir el tipo de articulaciones que presentará, para que se coloque en el marco de carga, auxiliándose de los diversos dispositivos con que cuenta el mismo.

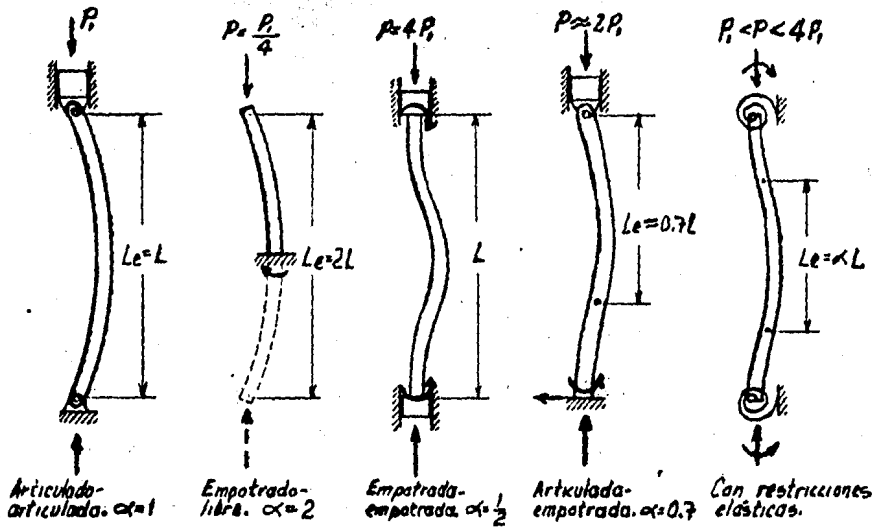


Figura 3.3. Diferentes tipos de restricciones extremas en columnas. Véase: Shanley F.R. Mecánica de materiales, pág. 264-265.

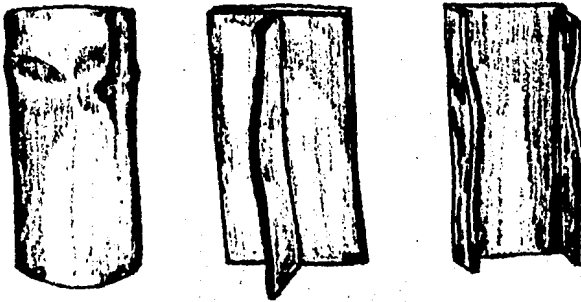


Figura 3.4. Tipos de pandeo local en compresión para secciones abiertas y cerradas huecas

b) Pandeo local (en tubos redondos y cascarones). Este caso se considera por separado pues, si un tubo corto de pared delgada es cargado a compresión, la falla no causará flexión del tubo en conjunto, como ocurre en el caso del pandeo en columnas, sino que ocurrirá una flexión local en las paredes del mismo, como se ilustra en la figura 3.4.

Esta prueba se llevará a cabo en el marco, adaptando las platinas para la prueba de compresión (figura 3.2). La única diferencia con respecto a esta prueba, es que la probeta será de una sección hueca, abierta o cerrada con un espesor de pared bastante delgado con relación a su sección transversal (figura 3.4).

La alineación de la probeta con respecto al punto de aplicación de la carga, podría perderse en un momento dado, y corresponderá al operador juzgar hasta que punto aplicará la fuerza en el marco.

3.4 FLEXION.

La mordaza fija que se soporta bajo el puente en el marco se puede cambiar fácilmente a uno de los postes y quedar en forma horizontal con solo aflojar y apretar dos tuercas de mariposa.

Esta operación se hace necesaria para llevar a cabo la prueba de flexión, pues en dicha mordaza se colocará la probeta en voladizo. El cilindro se aflojará de su posición y se correrá sobre la base, de tal manera que el punto de aplicación de la fuerza se pueda elegir a criterio del operador. En la mordaza móvil se fijará un dispositivo específico creado para esta prueba, como se ve en la figura 3.5.

Durante la prueba de flexión, a la probeta en voladizo se le aplica una fuerza en un punto de su extremo libre, cambiando la válvula de 4 vías para que el vástago del cilindro lleve una carrera ascendente. Deberá procurarse que la fuerza se aplique lenta y uniformemente para apreciar mejor las

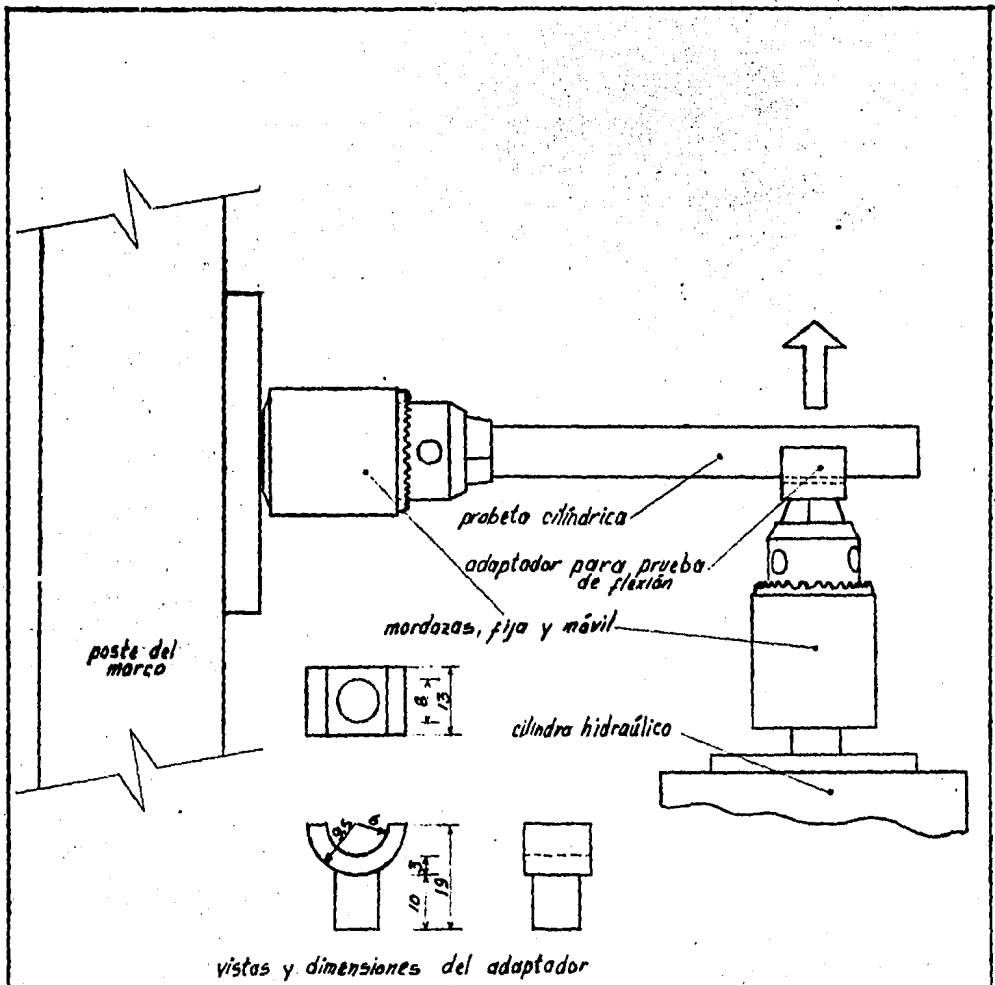


Figura 3.5. Detalles respectivos a una prueba de flexión en el marca de carga.

deformaciones presentadas, así como la falla al ocurrir ésta.

También es importante que exista una transición a un diámetro mayor, con su respectivo radio de curvatura, en uno de los extremos de la probeta, por el cual se sujeta al ensayarse; con ello se evitará que ésta se fracture en el extremo de los dientes de la mordaza.

Auxiliándose de las varillas horizontales que se fijan al marco, el operador podrá colocar los accesorios de medición que juzgue convenientes para valorar las deformaciones durante la prueba.

3.5 TORSION.

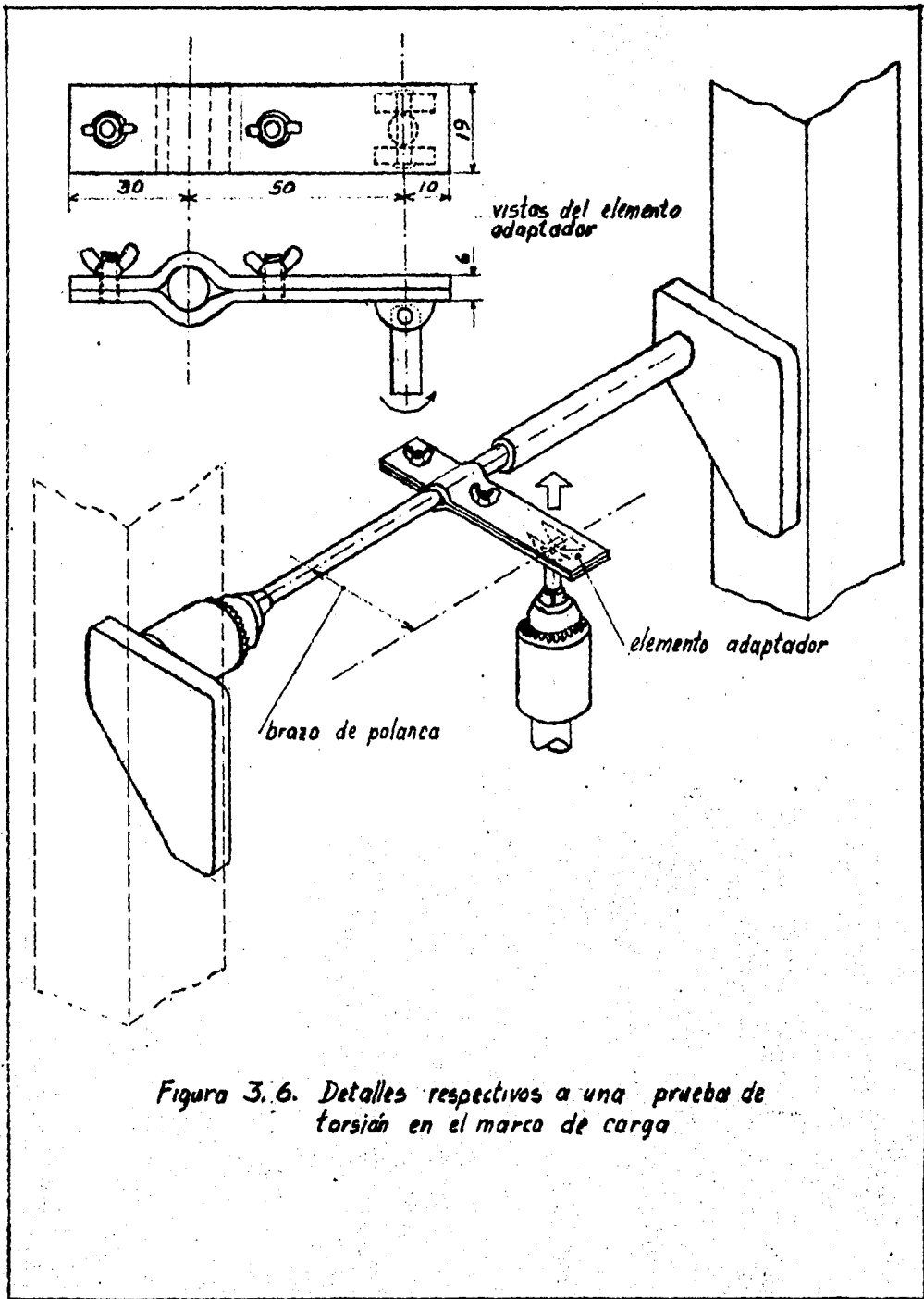
Un elemento está sujeto a esfuerzo de torsión, cuando dos o más planos paralelos entre sí tienen un desplazamiento angular uno con respecto del otro. En barras circulares los esfuerzos de torsión son máximos en la superficie y nulos en el centro de los mismos.

Por tal motivo, cuando se diseñan elementos que estarán sometidos a torsión, se procura que éstos sean huecos en su interior, con lo que se logra que aumente la ligereza y disminuya el costo de los mismos.

En el lote de probetas que se han fabricado para el marco de carga, se han incluido dos tipos de éstas exactamente iguales en sus dimensiones, con excepción de que una es sólida y otra hueca, de tal forma que ambas se destruyan en una misma sesión, y se comparen los resultados.

En la figura 3.6 se ilustra la forma en que se puede llevar a cabo la prueba de torsión en el marco. Auxiliándose de las placas triangulares que se tienen en la cara interior de los postes, por un lado se coloca la mordaza fija y por el otro, el apoyo que soportará un extremo libre de la probeta permitiendo su giro al aplicarse la fuerza a través de un brazo de palanca.

Este brazo es uno de los accesorios con que cuenta el



marco, y se adapta a la probeta mediante un tornillo con tuerca de mariposa. La distancia a que se fije será designada por el operador, considerando un mínimo de 3 veces el diámetro de la probeta desde el punto de sujeción en la mordaza.

Es importante notar que esta forma de llevar a cabo la prueba sólo es válida para pequeños ángulos de giro de las probetas, dentro de los cuales ocurrirá la falla, puesto que el vástago del cilindro no posee un movimiento angular. Sin embargo existen diversos materiales que a muy pequeños ángulos de giro, fallan por torsión, lo que proporciona un buen índice de aceptación de esta prueba en el marco.

Con la posición que ocupa la mordaza fija en el poste, se obtiene un brazo de palanca determinado, el cual permanece constante independientemente de la longitud a que se instale en la probeta.

Este valor al ser multiplicado por la fuerza ejercida nos da el momento torsionante al cual la probeta falla. La posición de el brazo de palanca unicamente tendrá influencia en el ángulo de torsión y en el tiempo en que ocurra la falla.

Para determinar el ángulo de torsión bastará con medir el incremento en la longitud del vástago, y de acuerdo a el valor de brazo de palanca, calcular en radianes el giro producido.

Estas sólo son algunas de las pruebas de mayor relevancia que se efectúan en el marco, ya que, existen un sinnúmero de pruebas que aunque no pertenecen a las de tipo mecánico destructivo, se podrían realizar aprovechando la fuerza disponible en el cilindro y algunos de los accesorios. Sin embargo, queda a la imaginación del operador el sacar el mejor provecho del marco de carga.

A continuación se mencionan algunas de las pruebas que se podrían lograr con ayuda del marco.

- Comparaciones de cargas en vigas de distintas secciones, huecas, etcétera.
- Comparaciones empleando probetas de igual sección pero de

distintos materiales.

- Determinación del punto de ruptura para varios diseños de armados.
- Determinación y análisis de momentos, etcétera.

C A P I T U L O I V

EMPLEO DEL MARCO DE CARGA (INSTRUCTIVO)

4.1 CONSIDERACIONES PRELIMINARES.

El marco de carga se ha proyectado de tal forma que su operación y manejo resulten bastante sencillos, aún cuando no se conozca en detalle el funcionamiento de cada uno de sus componentes.

Se procuró en todo momento un buen control de calidad durante la fabricación y armado de cada pieza, siempre bajo la supervisión y guía de el director de este trabajo, con lo cual se puede garantizar que, dándole el uso correcto, de podrá disponer del marco de carga por un buen período de tiempo.

Como en toda máquina, cabe la posibilidad de alguna falla, en cuyo caso será de gran utilidad conocer más a fondo el marco de carga, y si ésta se presenta es seguro que el Centro de Diseño Mecánico e Innovación Tecnológica de la Facultad de Ingeniería prestará la ayuda correspondiente para resolver el problema.

4.2 PARAMETROS Y CARACTERISTICAS DEL MARCO DE CARGA.

Independientemente de la prueba que se piense realizar, existen una serie de pasos que se deben observar para lograr un mejor provecho del marco de carga. En seguida se enlistan en orden progresivo las más importantes, que se han resumido en base a los ensayos preliminares practicados. No obstante, éstos marcan sólo una pauta a seguir, pudiendo el operador a su criterio elaborar su respectivo método de prueba.

1. Determinar un lugar específico, en el que se mantendrá el marco durante la prueba.
2. Seleccionar el tipo de prueba a realizarse.

3. Colocar los dispositivos adecuados y necesarios.
4. Montar en las mordazas o sobre las platinas la probeta. Para ello se regulará la altura del vástago y la posición del cilindro dependiendo de las dimensiones de la probeta.
5. Instalar sobre la probeta los dispositivos adecuados para registrar los parámetros correspondientes.
6. Seleccionar o verificar la posición de la válvula direccional.
7. Iniciar el bombeo del fluido hidráulico hasta lograr la falla.
8. Anotar todos los parámetros observados.

En los capítulos anteriores se han mencionado ya varias de las características de cada uno de los componentes, y para lograr un mejor conocimiento de los mismos se enlistan a continuación los datos faltantes para cada uno. (En cuanto a dimensiones del equipo consultar las figuras respectivas).

4.2.1 Marco de Carga.

En él se pueden hacer toda una serie de combinaciones según la creatividad de el operador. El cilindro desliza sobre la base y se fija a la misma colocando los ganchos de seguro instantaneo con solo presionar contra las soleras de apoyo.

La mordaza fija se cambia de posición al aflojar y apretar dos tuercas de mariposa de rosca derecha.

Todos los demás accesorios se fijan de manera similar, sin mayores problemas.

Construcción	Aluminio con refuerzos de acero.
Peso	2.7 Kg el marco y 3.8Kgl la unidad de fuerza.
Color	Anodizado Natural.
Resistencia a la tensión	150 Kg/cm ² (1).
Deformación máxima permisible. - - - j	17 o/o (1)
(alargamiento en 50 mm)	

4.2.2 Cilindro hidráulico y mordaza móvil.

Una vez que se ajusta y fija el cilindro en el marco, no se necesita realizar ninguna otra operación en el mismo. Para colocar la probeta o algún accesorio en la mordaza, ábranse las uñas" girando la "corona dentada" en sentido contrario a las manecillas del reloj (para esto no es necesario el uso de la llave). Una vez que se tiene incertada la pieza ciérre y apriétese manualmente al máximo. En seguida apriete con la llave colocándola en un mínimo de dos barrenos distintos.

Carrera del vástago	35 mm
Presión máxima permisible	13 Kg/cm ²
Desplazamiento del vástago por bombeo.	1 mm en cada bombeo
Diámetro máximo de sujeción de las mordazas.	100 mm
Diámetro interior	46.2 mm
Area de la sección	1675.53 mm ²

4.2.3 Mangueras de transmisión.

Este tipo de manguera se escogio al satisfacer las condiciones requeridas, y además ser económica con respecto a otra. Sin embargo, a juicio del usuario , podrían ser cambiadas por algunas de mayor flexibilidad u otro material, siempre y cuando sea de igual o mayor resistencia.

Material	plástico a 2 capas con trenzado intermedio de nylon.
Longitud.	500 mm por tramo.
Diámetro interior y exterior.	6.3 mm y 12.7 mm
Presión máxima permisible.	13 Kg/cm ²

4.2.4 Bomba hidráulica.

Se acciona manualmente mediante el maneral con un movimiento ascendente descendente uniforme.

Tipo	Reciprocante de desplazamiento positivo.
Capacidad	0.00285 lts/seg a una velocidad promedio del émbolo de 0.003 m/seg
Carrera del émbolo	30 mm
Presión mínima	2 Kg/cm ² a una carrera completa.

4.2.5 Válvula direccional.

Tiene la característica especial de ser de fácil fabricación; ya que no complica el proceso al no tener partes con superficies muy lisas o difíciles de maquinarse.

Su acción es manual y sencilla. Para lograr una carrera ascendente en el cilindro basta girar la palanca 90° de tal forma que el cuerpo suba. Para lograr el efecto contrario solo se requiere bajar este cuerpo, y se puede hacer con o sin el auxilio de la palanca.

Tipo	Direccional de 4 vías sin descarga al medio ambiente.
Presión máxima de operación	13 Kg/cm ²
Carrera del cuerpo	9 mm

4.2.6 Manómetro.

Para obtener información de la fuerza aplicada basta con leer en la carátula la presión máxima y considerar la siguiente relación:

$$\text{PRESION} = \frac{\text{FUERZA}}{\text{AREA}}$$

ENTONCES

$$\text{FUERZA} = \text{PRESION} \times \text{AREA}$$

Como el área es constante en el cilindro y es igual a 1675.53 mm^2 , o bien área = 16.755 cm^2 entonces la fuerza se calculará con la relación :

$$\text{FUERZA} = 16.755 \times P$$

donde P es la presión leída en el manómetro.

Tipo	De carátula de 52 mm de diámetro con entrada inferior a 1/4 N.P.T.
Rango	0 a 11 kg/cm^2 (0 a 160 lbs/pulg ²) con dos escalas.

4.2.7 Tubería.

En las partes fijas, se empleó tubo flexible de cobre acoplado mediante tuercas cónicas de bronce.

Diámetro nominal	6.3 mm, espesor de pared = 0.8 mm
Presión máxima permisible.	+ de 13 Kg/cm^2 (presión hidrostática = 108 Kg/cm^2)

4.2.8 Fluido hidráulico.

Al ser el marco de carga un sistema que trabajará a muy bajas presiones, no existe mayor problema en seleccionar un fluido hidráulico, pues sabemos que todo líquido es prácticamente incompresible. Sin embargo, es importante cuidar aspectos tales como: corrosión, abrasividad, contaminación, etc.

Al no contar con una información exacta acerca de ciertos líquidos comerciales, se optó por la conveniencia de emplear líquido especial para frenos de tambor de la marca WAGNER LOCKHEED, siendo éste recomendado para todo tipo de sistemas hidráulicos, y además con la experiencia previa de haberse obtenido buenos resultados durante las pruebas.

4.3 CONDICIONES DE SEGURIDAD Y PRECAUCIONES REQUERIDAS.

Aunque los sistemas se diseñan siempre de tal forma que ofrezcan seguridad y comodidad, es necesario que se tengan presentes ciertos detalles, que, aunque parecen no ser de importancia se deben observar para lograr el buen uso y funcionamiento de los mismos.

Es importante que en ningún momento se pretenda destruir probetas de una dureza mayor a la del aluminio, pues se corre el riesgo de lograr una deformación permanente en el marco así como una ruptura en las mangueras o tubería, derramándose el líquido hidráulico y causando serios problemas.

Se debe cuidar también que el líquido hidráulico se mantenga siempre a un nivel medio en el recipiente. En la tapa de éste, se ha instalado un dispositivo que evita que se forme un vacío, que en un momento dado impida la libre circulación del mismo. Por tanto es importante que la unidad de fuerza se mantenga en posición horizontal para evitar derrames del líquido.

4.4. MANTENIMIENTO DEL MARCO DE CARGA.

Además de la óptima condición de ligereza que se ha ganado al emplear en buena proporción el aluminio para la construcción del marco, se tiene la ventaja de contar con un material altamente resistente a la corrosión. De esta forma, únicamente se requiere el empleo de un poco de agua en una franela para limpiar el polvo que se almacena en todo el marco.

Como se mencionó anteriormente, las piezas que necesariamente se fabricaron en acero, se han recubierto con pintura, para evitar la corrosión. Sin embargo, en partes tales como el émbolo de la bomba o el vástago del cilindro, es recomendable, siempre que el marco no se use, que éstos permanezcan en su posición inferior, y periódicamente deberán limpiarse

con aceite delgado (grado 20 ó 30 SAE) o bien lijarse con una lija de grano extrafino (600 mallas).

Por la simplicidad del diseño de la bomba hidráulica, la válvula y el cilindro, y gracias a que no cuentan con piezas sujetas a un desgaste severo, se puede afirmar que el mantenimiento de el marco se reduce a sólo dos palabras: Lubricación y limpieza

CONCLUSIONES.

Algunas dificultades se presentaron durante la elaboración del trabajo práctico, así como el teórico, sobre todo en el aspecto referente a especificaciones precisas y confiables de materiales y productos en el mercado. Tal es el caso de accesorios, instrumentos de medición y perfiles de aluminio.

Por este motivo, en los incisos referentes a información técnica, se han dado en algunos casos, datos aproximados empleando comparaciones que siempre se sometieron a la aprobación del director del trabajo. Dichas aproximaciones están dentro de un rango que asegura su confiabilidad.

No se registraron resultados obtenidos con probetas, durante las pruebas preliminares, en virtud de que no pueden éstas marcar una pauta a seguir por el operador, ya que el marco deja libre el campo de la experimentación con las restricciones pertinentes.

En algunos casos se notarán pequeñas diferencias en cuanto a dimensiones de menor importancia de las figuras con respecto a los elementos físicos, sin embargo, consideramos que éstas no afectan el buen funcionamiento de los mismos.

En todo el trabajo se estudio a un nivel mínimo y sencillo, el aspecto teórico y matemático acerca de los distintos tipos de pruebas, considerando que existe una amplia varie-dad de obras que tratan con profundidad y en buenos niveles esta cuestión.

Por último, el presente trabajo, sin ser demasiado extenso, espera cumplir el objetivo planteado y ser una guía útil para el usuario del marco de carga.

REFERENCIAS

1. FLINN R. A. y TROJAN P. K. "Materiales de ingeniería y sus aplicaciones", McGraw-Hill, México 1980.
2. HAYDEN W. y MOFFATT W. G. " Propiedades mecánicas", Limusa Willey, México 1978.
3. JOHN V. B. " Conocimiento de materiales en ingeniería", Gustavo Gili, Barcelona 1976.
4. KEYSER C. A. "Ciencia de materiales para ingeniería", Limusa Willey, México 1972.
5. SHANLEY F. R. "Mecánica de materiales", McGraw-Hill, México 1971.
6. SHIGLEY J. E. "El proyecto en ingeniería mecánica", McGraw-Hill, México 1976.
7. SPOTTS M.F. "Proyecto de elementos de máquinas", Reverté, 1974.
8. VAN VLACK "Materiales para ingeniería", Compañía Editorial Continental, México 1975.
9. Manual de placa y perfiles de aluminio de "Metales Navales" México 1981.
10. Manual de manómetros "Emca-Surex", México 1983.
11. Manual de tubería de cobre "Anaconda Nacional", México 1978.