

# **ESCUELA POLITECNICA NACIONAL**

## **ESCUELA DE FORMACION TECNOLOGICA**

**CONSTRUCCIÓN DE UNA PRENSA HIDRÁULICA MANUAL PARA  
EL MONTAJE Y DESMONTAJE DE RODAMIENTOS RÍGIDOS DE  
BOLAS CON DIÁMETRO INTERIOR DESDE 20mm HASTA 30mm.**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN  
PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA**

**SHUGULÍ PAREDES CRISTHIAN JAVIER**

**DIRECTOR: Ing. VICENTE TOAPANTA**

**Quito, 1 de Junio 2006.**

## **DECLARACIÓN**

Yo, Shugulí Paredes Cristhian Javier, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada por ningún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad, intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por normativa institucional vigente.

---

Shugulí Paredes C. Javier

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el Sr. Shugulí Paredes Cristhian Javier, bajo mi supervisión.

---

Ing. Vicente Toapanta  
DIRECTOR DE PROYECTO

## **AGRADECIMIENTOS**

A DIOS por permitirme vivir estos momentos de tanta dicha y alegría.

A mis queridos padres por estar siempre junto a mí, por sus consejos, su apoyo, y  
sobre todo por su incondicional amor.

A mi hermana Gladis, mi cuñado José, y mi sobrinito Eric, por su cariño.

A mis amigos de toda la vida los "JB" por los momentos inolvidables.

A mis grandiosos compañeros los "FACH" que me apoyaron a seguir adelante.

A mis profesores por sus enseñanzas, y consejos.

Al Ing. Vicente Toapanta por su confianza, y dirección para el desarrollo del  
presente proyecto.

A la carrera más extraordinaria PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA por  
formarme como profesional.

## DEDICATORIA

A Oswaldo Shugulí y Silvia Paredes mis queridos padres.

A Gladis, José, y Eric, mi familia.

A Paúl y Mauricio mis “hermanos”.

A mis amigos y compañeros.

## CONTENIDO

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| <b>SIMBOLOGÍA</b> .....   | X   |
| <b>GLOSARIO</b> .....     | XII |
| <b>RESUMEN</b> .....      | XIV |
| <b>PRESENTACIÓN</b> ..... | XVI |

### CAPÍTULO I

#### ESTUDIO INTRODUCTORIO

|  |    |
|--|----|
| 1.1 GENERALIDADES.....                       | 1  |
| 1.2 TIPOS DE MONTAJE.....                    | 3  |
| 1.2.1 MONTAJE MECÁNICO.....                  | 5  |
| 1.2.2 MONTAJE POR INDUCCIÓN DE CALOR.....    | 6  |
| 1.2.3 MONTAJE BAJO PRESIÓN O HIDRÁULICO..... | 8  |
| 1.3 LA PRENSA.....                           | 9  |
| 1.3.1 RESEÑA HISTÓRICA.....                  | 10 |
| 1.3.1.1 Prensa de Balancín.....              | 11 |
| 1.3.1.2 Prensa Hidráulica.....               | 12 |
| 1.3.1.3 Prensa de Fricción.....              | 13 |
| 1.3.1.4 Prensa de Excéntrica.....            | 14 |
| 1.4 CLASIFICACIÓN DE LAS PRENSAS.....        | 14 |
| 1.4.1 PRENSAS MECÁNICAS.....                 | 15 |
| 1.4.2 PRENSAS HIDRÁULICAS.....               | 16 |

### CAPÍTULO I

#### FUNDAMENTOS TEÓRICOS

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| 2.1 ESTRUCTURAS METÁLICAS.....  | 19 |
| 2.1.1 TIPOS DE ESTRUCTURAS..... | 20 |

## VII

|  |    |
|--|----|
| 2.1.1.1 Estructura Isostática.....                       | 20 |
| 2.1.1.2 Estructura Hipostática.....                      | 21 |
| 2.1.1.3 Estructura Hiperestática.....                    | 21 |
| 2.1.2 APOYOS.....  | 22 |
| 2.1.3 VIGAS.....   | 23 |
| 2.1.2.1 Vigas de Alma Llena.....                         | 23 |
| 2.1.2.2 Vigas en Celosía.....                            | 23 |
| 2.2 ETAPAS DEL DISEÑO ESTRUCTURAL.....                   | 25 |
| 2.2.1 ETAPA DE ESTRUCTURACIÓN.....                       | 25 |
| 2.2.2 ESTIMACIÓN DE LAS SOLICITACIONES O ACCIONES.....   | 25 |
| 2.2.3 ANÁLISIS ESTRUCTURAL.....                          | 26 |
| 2.2.3.1 Idealización de la Estructura.....               | 26 |
| 2.2.3.2 Determinación de las Acciones de Diseño.....     | 27 |
| 2.2.3.3 Dimensionamiento.....                            | 27 |
| 2.3 CÁLCULO ESTRUCTURAL.....                             | 27 |
| 2.3.1 PIEZAS SOMETIDAS A FLEXIÓN.....                    | 28 |
| 2.3.1.1 Cálculo de Vigas.....                            | 30 |
| 2.3.2 PIEZAS SIMPLES SOLICITADAS A COMPRESIÓN AXIAL..... | 32 |
| 2.3.2.1 Carga Crítica.....                               | 34 |
| 2.4 TORNILLERÍA.....                                     | 36 |
| 2.4.1 CLASES DE TORNILLOS.....                           | 37 |
| 2.4.1.1 Tornillos Ordinarios.....                        | 37 |
| 2.4.1.2 Tornillos Calibrados.....                        | 38 |
| 2.4.1.3 Tornillos de Alta Resistencia.....               | 38 |
| 2.4.2 CÁLCULO DE TORNILLOS A CORTADURA.....              | 39 |
| 2.4.2.1 Diámetro del Tornillo.....                       | 39 |
| 2.4.2.2 Carga Máxima Resistente a la Rotura.....         | 39 |
| 2.4.2.3 Cálculo del Número de Tornillos.....             | 40 |

## VIII

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 2.4.3   | DISPOSICIONES CONSTRUCTIVAS DE TORNILLOS.....                   | 40 |
| 2.4.3.1 | Cálculo de la Distancia entre Agujeros.....                     | 41 |
| 2.4.3.2 | Distancia entre Centros de agujeros y Bordes de las chapas..... | 41 |
| 2.5     | RESORTES.....   | 41 |
| 2.5.1   | RESORTES DE EXTENSIÓN.....                                      | 42 |
| 2.5.2   | CÁLCULO DE RESORTES CON SECCIÓN CIRCULAR.....                   | 43 |
| 2.6     | SISTEMAS HIDRÁULICOS.....                                       | 44 |
| 2.6.1   | COMPONENTES BÁSICOS.....  | 44 |
| 2.6.2   | BOMBAS HIDRÁULICAS.....   | 45 |
| 2.6.2.1 | Selección de una Bomba Hidráulica.....                          | 47 |
| 2.6.3   | CILINDROS O BOTELLAS.....                                       | 47 |
| 2.6.3.1 | Tipos de Cilindros Hidráulicos.....                             | 48 |
| 2.6.3.2 | Selección de un Cilindro Hidráulico.....                        | 49 |
| 2.6.4   | LAS VÁLVULAS.....   | 50 |
| 2.6.5   | ACUMULADORES HIDRÁULICOS.....                                   | 51 |
| 2.6.6   | FILTROS HIDRÁULICOS.....  | 52 |
| 2.6.7   | TUBERÍAS.....   | 52 |
| 2.7     | PRESIÓN.....  | 53 |
| 2.7.1   | FUERZA PARA EL MONTAJE DEL RODAMIENTO.....                      | 54 |

## CAPÍTULO III

### DIMENSIONAMIENTO

|         |   |    |
|---------|---|----|
| 3.1     | SELECCIÓN DEL TIPO DE SISTEMA HIDRÁULICO.....       | 56 |
| 3.1.1   | ALTERNATIVA N° 1: CONJUNTO BOMBA Y CILINDRO.....    | 57 |
| 3.1.1.1 | Ventajas.....                                       | 58 |
| 3.1.1.2 | Desventajas.....                                    | 58 |
| 3.1.2   | ALTERNATIVA N° 2: GATO HIDRÁULICO TIPO BOTELLA..... | 58 |
| 3.1.2.1 | Ventajas.....                                       | 59 |



|   |    |
|---|----|
| 3.1.2.2 Desventajas.....                                      | 59 |
| 3.1.3 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA.....                        | 59 |
| 3.1.4 ADECUACIONES DEL GATO HIDRÁULICO.....                   | 60 |
| 3.1.4.1 Ajuste de Posición.....                               | 60 |
| 3.1.4.2 Instalación del Manómetro.....                        | 61 |
| 3.2 ESQUEMA GENERAL DE LA PRENSA HIDRÁULICA...                | 63 |
| 3.2.1 DETERMINACIÓN DE FUERZAS Y REACCIONES.....              | 65 |
| 3.2.1.1 Cargas en la Platina de Montaje y Desmontaje.....     | 65 |
| 3.2.1.1.1 <i>Diseño de la Platina</i> .....                   | 66 |
| 3.2.1.2 Cargas en la Mesa de Prensado.....                    | 68 |
| 3.2.1.2.1 <i>Diseño de la Viga</i> .....                      | 68 |
| 3.2.1.3 Cargas en el Pasador.....                             | 71 |
| 3.2.1.3.1 <i>Diseño del Pasador</i> .....                     | 71 |
| 3.2.1.4 Cargas en la Tapa Superior.....                       | 73 |
| 3.2.1.4.1 <i>Diseño de la Tapa Superior</i> .....             | 73 |
| 3.2.1.5 Cargas en la Columna.....                             | 76 |
| 3.2.1.5.1 <i>Diseño de la Columna</i> .....                   | 77 |
| 3.2.1.6 Selección de los Tornillos para la Tapa Superior..... | 79 |
| 3.2.1.7 Selección del Resorte para el Retorno del Émbolo..... | 80 |
| 3.3 HOJAS DE PROCESOS.....                                    | 82 |
| 3.4 PLANOS DE CONSTRUCCIÓN.....                               | 82 |
| 3.5 SISTEMA DE PRUEBAS DE LA MÁQUINA.....                     | 82 |

## CAPÍTULO IV

### GUÍA PARA EL MONTAJE Y DESMONTAJE

|   |    |
|---|----|
| 4.1 MONTAJE RODAMIENTO-EJE.....                   | 84 |
| 4.1.1 HOJAS DE TRABAJO ESTANDARIZADO (HTE-1)..... | 85 |

|   |     |
|---|-----|
| 4.2 MONTAJE EJE-RODAMIENTO.....                   | 92  |
| 4.2.1 HOJAS DE TRABAJO ESTANDARIZADO (HTE-2)..... | 93  |
| 4.3 DESMONTAJE DEL RODAMIENTO.....                | 100 |
| 4.3.1 HOJAS DE TRABAJO ESTANDARIZADO (HTE-3)..... | 101 |

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

|                          |            |
|--------------------------|------------|
| 5.1 CONCLUSIONES.....    | 104        |
| 5.2 RESOMENDACIONES..... | 105        |
| <b>BIBLIOGRAFÍA.....</b> | <b>107</b> |

## ANEXOS

|  |         |
|--|---------|
| DAÑOS EN LOS RODAMIENTOS   | ANEXO 1 |
| MÉTODOS DE MONTAJE Y DESMONTAJE SEGÚN EL TIPO DE RODAMIENTOS                   | ANEXO 2 |
| TABLA COMPLEMENTARIAS PARA EL ESTUDIO DE PIEZAS SOMETIDAS A FLEXIÓN, Y PANDEO  | ANEXO 3 |
| TABLAS PARA TORNILLOS ORDINARIOS, CALIBRADOS, Y DE ALTA RESISTENCIA            | ANEXO 4 |
| CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES UTILIZADOS                                   | ANEXO 5 |
| GRÁFICOS DEL CORTANTE Y MOMENTO FLECTOR DE LOS COMPONENTES SOMETIDOS A FLEXIÓN | ANEXO 6 |
| HOJAS DE PROCESOS DE LOS COMPONENTES DE LA PRENSA HIDRÁULICA                   | ANEXO 7 |
| PLANOS DE CONSTRUCCIÓN   | ANEXO 8 |

## ÍNDICE DE CUADROS Y TABLAS

|            |   |    |
|------------|---|----|
| Cuadro 1.1 | Tipos de Montaje.....                             | 4  |
| Cuadro 1.2 | Tipos de Prensas.....                             | 15 |
| Cuadro 2.1 | Producto Laminado.....                            | 24 |
| Tabla 2.1  | Valores máximos de la relación Flecha-Luz.....    | 29 |
| Tabla 2.2  | Valores del coeficiente $\alpha$ .....            | 32 |
| Tabla 2.3  | Valores y aplicación para $n$ y $\lambda$ .....   | 35 |
| Tabla 2.4  | Relación entre las unidades de presión.....       | 54 |
| Tabla 2.5  | Factor de fuerza.....                             | 55 |
| Tabla 3.1  | Régimen de pruebas para la Prensa Hidráulica..... | 82 |

## SIMBOLOGÍA

### SÍMBOLO

### SIGNIFICADO

|                   |  |
|-------------------|--|
| L                 | Longitud   |
| $C_{m\acute{a}x}$ | Cortante máxima                                  |
| $M_{m\acute{a}x}$ | Momento flector máximo                           |
| W                 | Momento resistente                               |
| $\sigma$          | Tensión de trabajo                               |
| f                 | Flecha, flexión                                  |
| lk                | Longitud de pandeo                               |
| $P_{ki}$          | Carga de pandeo                                  |
| i                 | Radio de giro, valor de interferencia            |
| A                 | Área, anexo                                      |
| $\lambda$         | Esbeltez mecánica                                |
| R                 | Resistencia límite práctica (límite de fluencia) |

## XII

|                   |  |
|-------------------|--|
| Im                | Momento de inercia                             |
| n                 | Factor de seguridad                            |
| T                 | Tornillo Ordinario                             |
| TC                | Tornillo calibrado                             |
| TR                | Tornillo de alta resistencia                   |
| d                 | Diámetro, diámetro del hilo de sección redonda |
| e                 | Espesor  |
| P <sub>máx</sub>  | Carga máxima resistente a la rotura            |
| K                 | Coefficiente adimensional                      |
| m                 | Número de secciones                            |
| F                 | Sección resistente del tornillo                |
| $\sigma_t, S_y$   | Límite de fluencia                             |
| N <sub>c</sub>    | Número de tornillos                            |
| N*                | Cortante (carga)                               |
| P                 | Carga  |
| R <sub>c</sub>    | Tensión de trabajo admisible                   |
| G                 | Módulo de elasticidad transversal              |
| r                 | Radio del centro de gravedad                   |
| Kg                | Kilogramo fuerza                               |
| Psi               | Libra fuerza por pulgada cuadrada              |
| F                 | Fuerza de montaje del rodamiento               |
| D                 | Diámetro de la pieza a oprimir                 |
| Pf                | Factor de fuerza                               |
| Ø <sub>sup.</sub> | Diámetro superior                              |
| Ø <sub>inf.</sub> | Diámetro inferior                              |
| Pf sup.           | Factor de fuerza superior                      |
| HTE               | Hoja de trabajo estandarizado                  |

## GLOSARIO

- ◆ **Acciones o Cargas:** Es una fuerza que causa un efecto sobre un cuerpo, provocando que este experimente cambios de posición, o forma.
- ◆ **Alineamiento:** Colocar en forma paralela dos o más objetos.
- ◆ **Casquillo:** Anillo o abrazadera de metal, que sirve para reforzar el extremo de una pieza.
- ◆ **Celosía:** Enrejado de pequeños listones de madera o de hierro, que se pone en las ventanas de los edificios.
- ◆ **Columna:** Soporte vertical de gran altura respecto a su sección transversal.
- ◆ **Émbolo:** Pieza que se mueve alternativamente en el interior de un cuerpo de bomba o del cilindro de una máquina para enrarecer o comprimir un fluido o recibir de él movimiento.
- ◆ **Empotramiento:** sujetar algo en la pared o en el suelo, generalmente asegurándolo con concreto, o tornillos.
- ◆ **Flecha:** Longitud que se deforma un elemento por la acción de una carga, medida desde su eje neutro
- ◆ **Flexión:** Encorvamiento transitorio que experimenta un sólido por la acción de una fuerza que lo deforma elásticamente.
- ◆ **Inducción:** Acción de un campo magnético sobre un conductor por el que circula corriente eléctrica.
- ◆ **Indentación:** Introducir un objeto en una superficie lisa y dura (sinónimo de incrustar).

- ◆ **Micra:** Unidad de longitud, submúltiplo del metro ( $1\mu = 10^{-6}\text{m}$ ).
- ◆ **Placa de obturación:** Elementos plásticos que se colocan entre el anillo interior y exterior de los rodamientos para proteger los elementos rodantes, y mantener en buen estado el lubricante.
- ◆ **Pandeo:** Flexión de una viga, provocada por una compresión lateral.
- ◆ **Perfil:** Barra metálica obtenida por laminación, forja, estampación o estirado cuya sección transversal tiene diversas formas, tales como simples, dobles, cuadradas, redondas, rectangulares, triangulares, etc.
- ◆ **Potencia:** Energía que absorbe o sede un dispositivo en la unida de tiempo.
- ◆ **Viga:** barras que están sometidas a fuerzas o momentos situados en un plano que contiene a su eje longitudinal.

## RESUMEN

El presente proyecto se realizó con la finalidad de tecnificar cada vez más los procesos de trabajo en los pequeños talleres de la ciudad (Quito), en donde se realizan operaciones de montaje y desmontaje de rodamientos rígidos de bolas a través de un método no tan confiable como es el mecánico.

Para esto basados en el método Hidráulico, el segundo más recomendado por los fabricantes de rodamientos para evitar posibles daños que se dan por un mal ensamblaje, se construyó una prensa hidráulica manual de 12 Tm cuyo diseño se trata en el capítulo III, dispositivos de montaje y desmontaje, y además se implantó en el proceso una ecuación que permite calcular la presión de trabajo que se requiere, para instalar piezas de forma circular en función del ajuste de interferencia con que cuente.

## PRESENTACIÓN

La exigencia de productos y servicios de alta calidad a bajo precio, son factores muy importantes para ser competitivos en el mercado, es por esto que en hoy en día es indispensable que los propietarios de las industrias se preocupen por el ente más importante dentro de la misma que es el trabajador, proporcionándole una capacitación continua para hacer de ellos un personal calificado, y maquinaria junto con otros implementos que faciliten la vida del operario dentro de las empresas.

El problema es que en el Ecuador, la gran mayoría de máquinas en las que se incluyen las prensas hidráulicas y sus accesorios, son importadas por lo cual sus precios son considerablemente altos, siendo este el principal motivo para que los pequeños empresarios de nuestro país, no implanten tecnología en sus lugares de trabajo que les permita realizar sus actividades de manera más sencilla, segura, y garantizada.

El presente proyecto pretende a través de la investigación y aplicación de los conocimientos adquiridos a lo largo de la Carrera de PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA, diseñar y construir una prensa hidráulica junto con otros dispositivos, que permitan el montaje y desmontaje de rodamientos en forma segura, garantizada, y que tenga una un bajo costo de adquisición.



# CAPÍTULO I

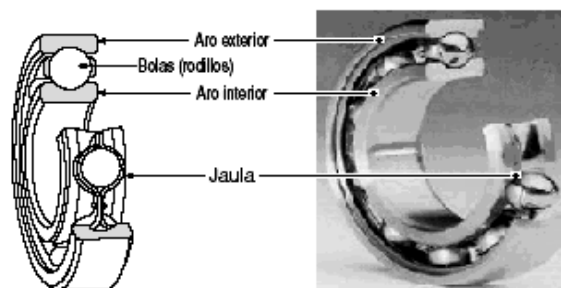
## ESTUDIO INTRODUCTORIO

### 1.1 GENERALIDADES

En el Ecuador tenemos la presencia de una gran cantidad de pequeños talleres mecánicos automotrices e industriales, sitios en los que las actividades más comunes que se realizan son el mantenimiento y la reparación; principalmente de automóviles, equipos de construcción, máquinas herramientas, motores, maquinaria pesada y equipos grandes, en los cuales es común el uso de rodamientos rígidos de bolas, elementos que por su continuo funcionamiento y las condiciones de trabajo a las que son expuestos, sufren daño y desgastes.

Para el mantenimiento, los rodamientos defectuosos son retirados del mecanismo y luego se instalan los repuestos, para lo cual es necesaria una determinada presión que depende del tipo de ajuste con el que deben ser acoplados.

Los rodamientos tienen que ser tratados con sumo cuidado antes y durante el acoplamiento, de esto dependerá su correcto desempeño, y el tiempo de vida útil del mismo, ya que son elementos mecánicos de precisión, y las partes que lo conforman como los aros, exterior e interior, y los elementos rodantes están contruidos con una calidad superficial medida en unidades de 1/1,000 mm (1 micra)<sup>1</sup>. Ver fig. 1.1



**Fig. 1.1** Partes del rodamiento Rígido de bolas.

---

<sup>1</sup> [www.nachi-fujikoshi.co.jp/](http://www.nachi-fujikoshi.co.jp/)

En la actualidad las pequeñas microempresas optan por realizar esta clase de trabajos de mantenimiento o reparación, mediante métodos nada técnicos, que ponen en riesgo la integridad física del trabajador y que ocasionan alrededor del 16% de todos los fallos prematuros en los rodamientos durante su acoplamiento, según la SKF.

Estos son causados por montajes deficientes o inadecuados, normalmente por el uso de un incorrecto casquillo de impacto, un defectuoso proceso de trabajo que casi nunca cuenta con una secuencia lógica de operaciones, y la falta de cumplimiento a las recomendaciones del fabricante que se fundamentan en tres básicamente:

- **Suciedad.-** El factor más importante que hay que considerar al trabajar con rodamientos es la limpieza del entorno de trabajo.

Cualquier partícula de suciedad o arenilla, por pequeña que sea, puede dañar los componentes internos del rodamiento y acortar su vida útil, lo que a su vez puede causar costosos daños por mal funcionamiento, y afectar a otras partes que comprendan el sistema.

- **Herramientas adecuadas.-** El segundo factor más importante que hay que considerar es el tipo de herramienta que se utiliza para montar y desmontar los rodamientos.

La adquisición de las herramientas adecuadas puede ser una de las mejores inversiones que el taller pueda hacer, ya que dichas herramientas le permitirán hacer el trabajo mejor y más rápido.

- **Procedimientos de montaje.-** El tercer factor por orden de importancia consiste en seguir un procedimiento de montaje adecuado, apoyándose para esto en los manuales de taller del fabricante.

En la gran mayoría de los talleres, no se toman en cuenta ninguna de las tres recomendaciones mencionadas anteriormente, en general estas operaciones se ejecutan mediante el método Mecánico ya que el costo en herramental es muy bajo e incluso a veces son fabricados en los mismos talleres, olvidando que las instalaciones pueden requerir métodos mecánicos hidráulicos y/o de inducción de calor para el correcto montaje o desmontaje, lo que hace ver a estas operaciones como no confiables y que además pueden ser las causantes de diferentes tipos de daños, (Ver Anexo 1)

## **1.2 TIPOS DE MONTAJE**















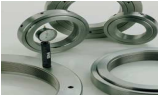


En el cuadro 1.1 están representadas 17 formas o métodos para el montaje y desmontaje de rodamientos, estos se han ido perfeccionando con el transcurso del tiempo mediante el desarrollo tecnológico realizado por los fabricantes de estos elementos en base las necesidades de los clientes. Los objetivos son: reducir daños prematuros que acorten la vida útil del rodamiento debido a un incorrecto montaje, mejorar continuamente la ergonomía del proceso, y permitir la realización de estas operaciones en un corto tiempo.

Dentro de las diferentes alternativas para el trabajo de montaje y desmontaje de rodamientos, sobresalen tres que son las más comúnmente empleadas en la mayoría de talleres mecánicos, las mismas que son:

- Montaje Mecánico (martillo y casquillo de impacto),
- Montaje por inducción de calor (placa de calentamiento, aparato inductivo de calentamiento y baño de aceite), y
- Montaje hidráulico o de presión (prensa hidráulica).

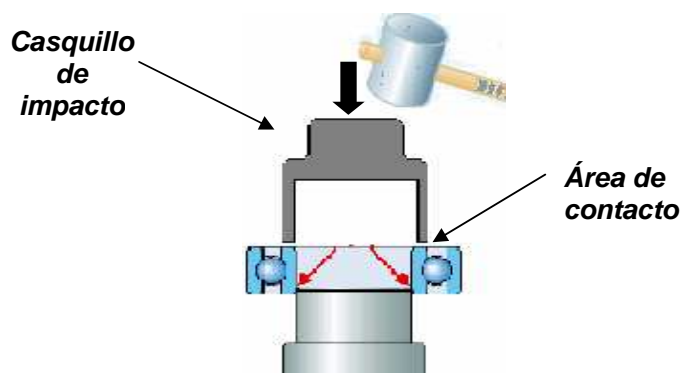
Este último es usado en un 75 % para el montaje sin calentamiento previo, y en un 80 % para el desmontaje sin calentamiento, en distintos tipos de rodamientos. (Ver anexo 2.)

Cuadro 1.1 Tipos de Montaje

| TIPOS DE MONTAJE  |   |
|---|---|
| <i>Aparato de inducción de calor</i>  | <i>Placa de calentamiento</i>   |
|    |    |
| <i>Armario de aire caliente</i>   | <i>Dispositivo inductivo</i>  |
|    |    |
| <i>Baño de aceite</i>   | <i>Martillo y casquillo de montaje</i>  |
|    |    |
| <i>Anillo de calentamiento</i>  | <i>Llave de doble gancho</i>  |
|    |     |
| <i>Prensas hidráulicas y mecánicas</i>  | <i>Llave de vaso</i>  |
|  |  |
| <i>Tuerca y llave de gancho</i>   | <i>Sobre el eje</i>   |
|  |   |
| <i>Tuerca y tornillos de montaje</i>  | <i>Martillo y punzón</i>  |
|  |  |
| <i>Tuerca hidráulica</i>  | <i>Procedimiento hidráulico</i>   |
|  |   |
| <i>Dispositivo de desmontaje</i>  |   |
|  |   |

### 1.2.1 MONTAJE MECÁNICO

Este método consiste en aplicar una fuerza a un casquillo de impacto a través de un martillo de goma (Fig. 1.2), al parecer es una labor sencilla y rápida, pero no hay que olvidar que los rodamientos son muy susceptibles a cargas de impacto y choque, debido a que para darles una mayor resistencia al desgaste son templados lo que los hace frágiles, asimismo soportan la carga en un área de contacto muy pequeña, localizada entre los elementos rodantes y las superficies de las pistas del anillo interior y exterior. Si se aplica una carga excesiva o de impacto a esta pequeña área de contacto, se producirán indentaciones y/o marcas que provocan niveles de ruido, vibraciones y una rotación inapropiada<sup>1</sup>.



**Fig.1.2** Montaje del rodamiento en un eje

Además este método no transmite la fuerza de montaje en forma efectiva al aro del rodamiento con ajuste de interferencia, produciéndose errores de alineamiento y ocasionando de esta manera daños en los caminos de rodadura. Ver (Fig. 1.3).



**Fig. 1.3** Daños en los caminos de rodadura

<sup>1</sup> [www.ntnmexico.com.mx/pages/spa](http://www.ntnmexico.com.mx/pages/spa)

## 1.2.2 MONTAJE POR INDUCCIÓN DE CALOR.-

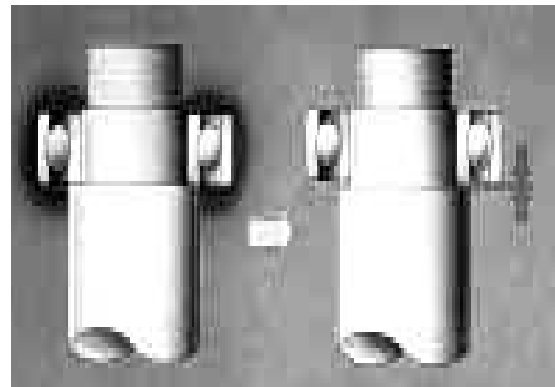
Es llamado también montaje por dilatación o térmico, consiste en aumentar la temperatura del rodamiento para hacer que su tamaño sobrepase la interferencia entre el eje y el aro interior. Es muy importante no aumentar la temperatura del rodamiento más de lo necesario, no sobrepasar los 120°C, ya que esto reduciría la dureza del rodamiento y acortaría su vida útil. Después del calentamiento, el montaje debe ser inmediato dándole ligeras vueltas al cojinete para evitar atascamientos, o juego entre el aro interior y el lomo del eje<sup>1</sup>.

*Los atascamientos* se producen por la falta de calentamiento y por una inserción en forma inclinada respecto al plano de asentamiento; en estos casos el montaje se siente tenso y se recomienda extraer inmediatamente el rodamiento para volver a ser calentado antes de montarlo en el eje nuevamente. (Ver fig. 1.4-a)

*El juego entre el aro interior y el lomo del eje* se produce cuando el rodamiento se enfría después de haberlo montado (ver fig. 1.4-b), este se contrae en el sentido del eje desarrollando dicho juego, un método para evitar el juego es reapretar la tuerca del eje mientras el rodamiento esté todavía caliente.



**Fig. 1.4-a**



**Fig. 1.4-b**

---

<sup>1</sup> [www.nachi-fujikoshi.co.jp/](http://www.nachi-fujikoshi.co.jp/)

Hoy en día se cuenta con placas de calentamiento eléctrico (Fig. 1.5-a), y aparatos inducción de calor (Fig. 1.5-b); sistemas que administran un calentamiento uniforme, cuentan con un control de temperatura, y dispositivos de desmagnetización en el caso de los aparatos de inducción. Además son aparatos muy útiles, permiten realizar trabajos garantizados y de calidad, el proceso es rápido, limpio, y especialmente adecuado para el montaje en serie, permite ahorro de esfuerzo de trabajo, y es adecuado para rodamientos y otras piezas anulares de acero.



**Fig. 1.5- a**



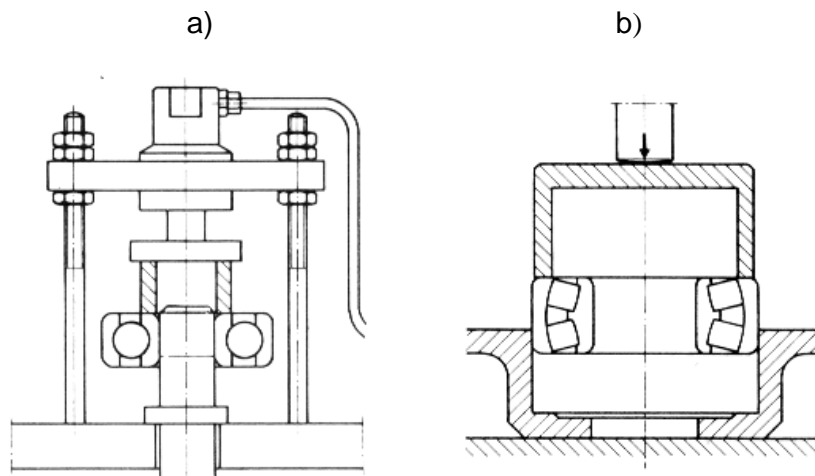
**Fig. 1.5-b**

Estas características hacen que esta clase de equipo sea de alto costo adquisitivo, funcional y de mantenimiento, sin dejar de lado que el trabajar con altas temperaturas representa un riesgo para el operador, por lo que se requiere contar con equipo de seguridad industrial especial siendo esto un costo adicional.

Por este motivo en los pequeños talleres con el afán de realizar una menor inversión de capital, usan métodos alternativos como: el baño de calentamiento con aceite para máquinas o de transmisión de buena calidad, y el calentamiento del rodamiento con las llamas directas de un soplete (suelta autógena). En el primer caso, no puede ser usado para rodamientos con placas de obturación, y en el segundo no es posible mantener un calentamiento uniforme y menos aun controlar la temperatura.

### 1.2.3 MONTAJE BAJO PRESIÓN O HIDRÁULICO

El principio básico en el que se apoya el método Hidráulico para su realización es el mismo con que cuenta el método mecánico, es decir utiliza un casquillo de impacto llamado en este caso copa de presión, la cual transmite la fuerza de montaje sobre la periferia entera del anillo (interior o exterior) que cuente con el ajuste de interferencia, el eje (fig. 1.6-a) ó el alojamiento (fig.1.6-b) en el que se ha de insertar el rodamiento se apoya sobre una plataforma. La diferencia se da en la fuerza aplicada, ésta es proporcionada por un sistema hidráulico que esta sujeto en una estructura metálica (prensa hidráulica), lo cual permite transferir una carga uniforme y segura, evitando que el rodamiento sufra daños que se provocan cuando se emplean cargas de impacto y choque.



**Fig. 1.6 Montaje hidráulico: a) en eje, b) en alojamiento**

Presenta ventajas como: proceso rápido, apto para trabajo en serie, requiere un mínimo esfuerzo de trabajo, en caso ser un sistema hidráulico manual este no requiere ningún tipo de energía eléctrica, evita en un alto grado que se produzcan desviaciones del rodamiento durante el montaje, y es una operación de fácil realización la cual prevé la seguridad del trabajador ayudando a que éste no sufra golpes o quemaduras como se puede suscitar en los procedimientos citados antes, además este método es muy versátil y puede ser empleado para montar diferentes tipos de piezas de forma anular.

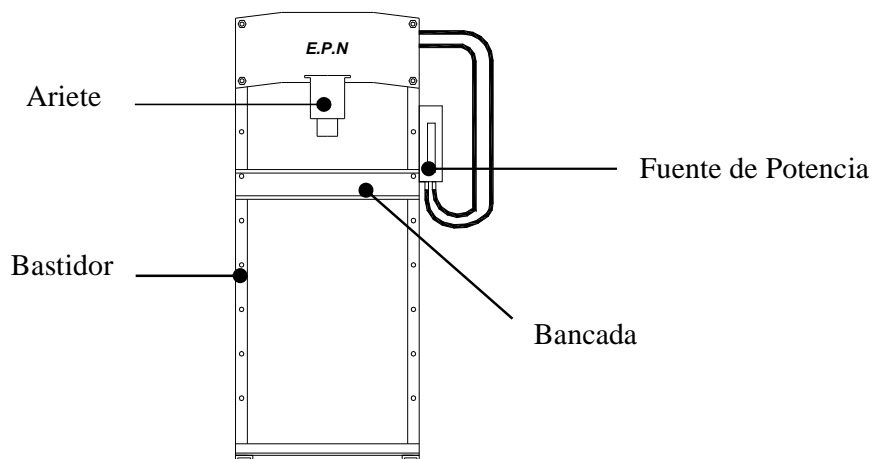


La máquina empleada como es la prensa hidráulica manual, no solo proporciona una gran eficiencia en el proceso de montaje y desmontaje de rodamientos, también puede ser usada para procesos de conformado mecánico en frío como: extrusión, doblado, embutición, punzonado, y enderezado, que son algunas de las actividades que se presentan en los pequeños talleres, es decir es una herramienta muy práctica y necesaria.

### 1.3 LA PRENSA

La prensa es una máquina herramienta que pertenece al grupo de aparatos de movimiento rectilíneo alternativo, tiene como finalidad lograr la deformación permanente o incluso cortar un determinado material mediante la aplicación de una carga. Son conocidas desde la antigüedad, empleadas prácticamente en todas las industrias, y utilizadas para actuar sobre muy distintos materiales ya sea en frío o en caliente, en cualquier operación que se requiera una fuerte presión, por ejemplo: embalar, forjar, estampar, extruir, laminar, estirar, etc. <sup>1</sup>

Consiste de un bastidor que sostiene una bancada y un ariete, una fuente de potencia, y un mecanismo para mover el ariete linealmente y en ángulos rectos con relación a la bancada, como se observa en la figura 1.7.



**Fig. 1.7** Esquema básico de una prensa.

<sup>1</sup> [www.campus.fortunecity.com/duquesne/623/home/prensa/prensa.htm](http://www.campus.fortunecity.com/duquesne/623/home/prensa/prensa.htm)

Estas máquinas tienen capacidad para la producción rápida, puesto que el tiempo de operación es solamente el que necesita para una carrera del ariete, más el tiempo necesario para alimentar el material, hay prensas que pueden producir 600 piezas por minuto o más.

Por consiguiente se pueden conservar bajos costos de producción, esto la hace una máquina especial para los métodos de elaboración en masa y es empleada cada día en mayor número sustituyendo a otras máquinas, y sistemas de fabricación (fundición), como lo evidencia su amplia aplicación en la manufactura de piezas para automóviles, en donde es notable observar el trabajo de una prensa de gran tamaño que de un solo golpe produce el techo de un automóvil cuya forma puede ser no tan sencilla y que sale de la prensa sin un arañazo o falla.<sup>1</sup>

Otros campos de aplicación para éste tipo de máquina es la industria de: aviones, artículos de ferretería, juguetes y utensilios de cocina, ya que con una buena operación y calidad de las prensas, se pueden obtener productos de mucha homogeneidad, con diferencias de acabado entre unas y otras piezas de 0.002" y aun menos, lo cual es una buena tolerancia hasta para piezas maquinadas.

### **1.3.1 RESEÑA HISTÓRICA<sup>2</sup>**

Para llegar al estado actual de la tecnología del prensado ha sido necesario aplicar, combinar y desarrollar técnicas muy diversas, fundamentos teóricos muy distantes y aportaciones individuales muy numerosas.

Esto ha hecho que el proceso evolutivo experimentado por la prensa, una de las máquinas más populares de todos los tiempos, sea tan amplio y complejo que resulta muy difícil sintetizarlo en un breve artículo, por lo que a continuación se indica algunos de los hitos más relevantes, ocurridos en el transcurso de los últimos cinco siglos.

---

<sup>1</sup> [www.campus.fortunecity.com/duquesne/623/home/prensa/prensa.htm](http://www.campus.fortunecity.com/duquesne/623/home/prensa/prensa.htm)

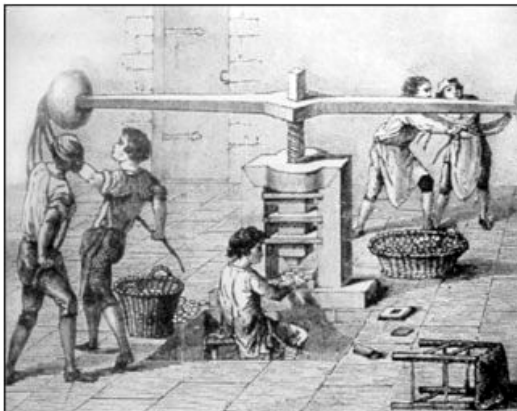
<sup>2</sup> [www.metalunivers.com/Tecnica/Hemeroteca/ArticuloCompleto.asp](http://www.metalunivers.com/Tecnica/Hemeroteca/ArticuloCompleto.asp)

### 1.3.1.1 Prensa de Balancín

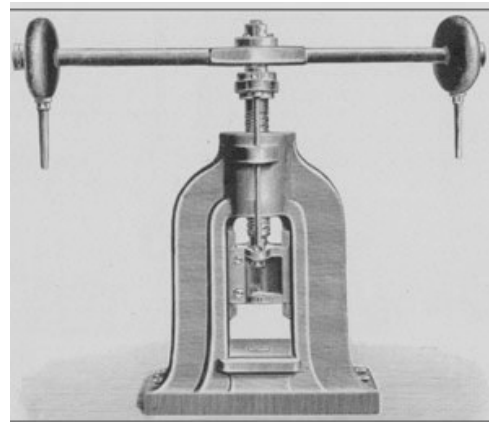
Diseñada hacia 1500 por Leonardo da Vinci, se generaliza para el acuñado de monedas a partir del modelo de Briot en 1616 y mantiene su vigencia, con ligeras modificaciones durante más de tres siglos.

La utilización de pequeñas prensas de balancín se inicia en el siglo XIV y, de hecho, se conoce diseños de Leonardo da Vinci realizados en torno al año 1500 una de las principales máquinas para la fabricación de monedas, sin embargo, la puesta en práctica definitiva de la prensa de balancín se atribuye convencionalmente al grabador francés Nicolás Briot (1579-1646) cuyo modelo se puede observar en la figura 1.8-a.

Su uso se difunde en toda Europa a partir de 1645, y con pequeñas variaciones desarrolladas durante el siglo XIX mantiene su vigencia hasta bien entrado el siglo XX. Una muestra de esto es la sencilla prensa-cortador de doble brazo que aparece en el catálogo de Alfred Schütte de 1913, tan parecida a la de Briot, a pesar de los casi trescientos años que las separan. (Ver fig. 1.8-b)



**Fig.1.8-a**

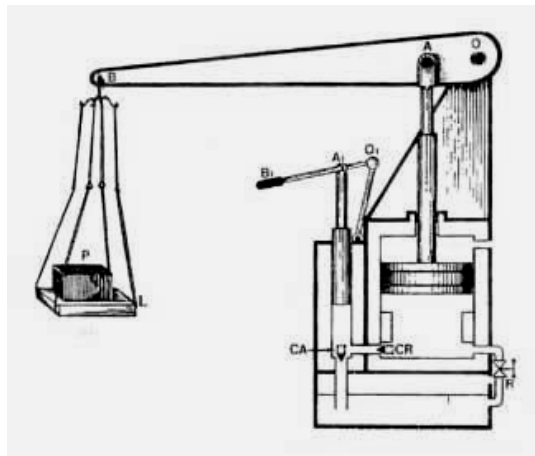


**Fig. 1.8-b**

### 1.3.1.2 Prensa Hidráulica

Fue inventada por el industrial inglés Joseph Bramah (1749-1814) en torno al año 1770, es una aplicación directa del principio, del físico y matemático francés Blaise Pascal (1623-1662), quien realizó un experimento que sentó las bases del futuro desarrollo de la hidrostática. Pascal comprobó que cuando se aplica una presión a un líquido encerrado y estático, dicha presión es uniformemente transmitida a todas las partículas del fluido y con ello a las paredes del recipiente contenedor. En base a ello, formuló el principio que lleva su nombre en el famoso Tratado del Equilibrio de los Líquidos: “La presión ejercida sobre un líquido confinado y en reposo se transmite integralmente a todos los puntos de este”

Consiste en esencia, en dos cilindros de diferente sección comunicados entre sí, y cuyo interior está completamente lleno de un líquido que puede ser agua o aceite. Dos émbolos de secciones diferentes se ajustan, respectivamente, en cada uno de los dos cilindros (Fig. 1.9), de modo que estén en contacto con el líquido. La fuerza que actúa en la superficie del émbolo menor se transmite a través del fluido hacia el otro émbolo, dando lugar a una fuerza mayor que la primera.



**Fig. 1.9** Esquema de la primera prensa hidráulica de Bramah (1770).

Esta primera prensa hidráulica conseguía presiones relativamente pequeñas y no era utilizable para la deformación de metales. Fueron los hermanos Perier quienes, algunos años más tarde, desarrollaron la máquina de Bramah

permitiendo alcanzar presiones más altas (sobre 70 kg/cm<sup>2</sup>), haciéndola apta para trabajos más duros, como el acuñado de monedas o la deformación de plomo. Sin embargo, la aplicación de la prensa hidráulica para el trabajo del hierro no se produce hasta mediados del siglo XIX, especialmente tras la aparición del modelo desarrollado por el austriaco Haswell, de mucho mayor tamaño y capacidad de presión.

### 1.3.1.3 Prensa de Fricción

A partir de un prototipo del francés Chéret, de 1867, la Fábrica de la Moneda de París puso en marcha las primeras prensas de este tipo, cuyo principio de funcionamiento se ha mantenido hasta nuestros días.

A principios del siglo XX la prensa de fricción adquirió un notable desarrollo, especialmente en su aplicación para el estampado de objetos macizos como cucharas, tenedores, escudos, medallas, monedas o incluso para el doblado piezas de chapa.

En la figura 1.10 podemos observar un modelo de prensa de fricción de la primera década de siglo cuyo husillo, de acero, con rosca de tres hilos, se desplaza por una larga tuerca de bronce. Este modelo se suministraba en distintos tamaños, variando el diámetro del husillo desde 45 hasta 170 mm. El volante tiene un recubrimiento de cuero destinado a reducir el desgaste.

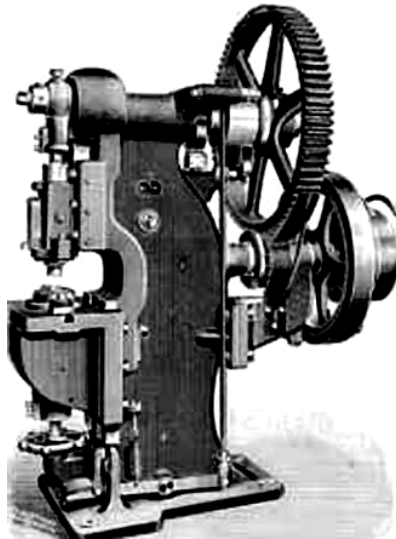


**Fig. 1.10** Prensa de fricción para estampar de principios del siglo XX.

#### 1.3.1.4 Prensas de Excéntrica

La búsqueda de un mayor rendimiento para la fabricación en serie de piezas de chapa dio lugar a la prensa de excéntrica, cuya comercialización inició la empresa americana Bliss & Williams hacia 1870, estas primeras prensas mecánicas de excéntrica, eran aptas para el punzonado de agujeros de tres cuartos de pulgada con un espesor de media pulgada.

Estaban diseñadas para trabajar a 100 rpm, y se mostraban en distintas variantes, frontales, de cuello de cisne, de arcada, se generalizó con enorme rapidez, mejorándose progresivamente su capacidad y rendimiento, y haciéndose imprescindible para trabajos de estampación, forja y pequeñas embuticiones, una muestra de estas máquinas se lo puede ver en la figura 1.11.



**Fig. 1.11** Prensa excéntrica para embutir por estirado.

### 1.4 CLASIFICACIÓN DE LAS PRENSAS

Su amplísima variedad permite numerosos sistemas de clasificación, esta puede estar en relación a la fuente de energía, ya sea operada manualmente o con potencia, por el tipo de ariete, la forma del bastidor, etc., como se indican en el cuadro 1.2, en el cual constan una variedad de estos tipos de máquinas.

**Cuadro 1.2 Tipos de Prensas<sup>1</sup>.**

| <b><u>MOTIVO</u></b>                               | <b><u>TIPOS</u></b>   |
|--|---|
| <b>FUENTE DE ENERGIA (EL ACCIONAMIENTO)</b>        | . Manual . Vapor, gas, neumática<br>. Potencia . Hidráulica<br>. Mecánica   |
| <b>ARIETE (ELEMENTOS ACTIVOS)</b>                  | . Vertical de simple efecto . En cuatro correderas<br>. Vertical de doble efecto . De configuración especial  |
| <b>DISEÑO DEL BASTIDOR</b>                         | . De banco . De costados rectos<br>. Inclinable . Yunque<br>. De escote . Columna<br>. De puente  |
| <b>METODOS DE APLICACIÓN DE POTENCIA AL ARIETE</b> | . Manivela . Junta articulada<br>. Leva . Hidráulica<br>. Excéntrica . Palanca acodillada<br>. Tornillo de potencia . Neumática<br>. Cremallera y piñón |
| <b>PROPÓSITO DE LA PRENSA</b>                      | . Doblado . Acuñado<br>. Punzonado . De transferencia<br>. Extruido . Roedora<br>. Empalmado . Estirado<br>. Enderezado . Revólver<br>. Forzado . Forja |

Debido a la amplia diversidad de tipos de prensas es que, por lo general se las divide en dos grandes grupos: Prensas Mecánicas, y Prensas Hidráulicas.

#### **1.4.1 PRENSAS MECÁNICAS**

Las prensas mecánicas son generalmente máquinas rápidas, de bajo costo, y fáciles de mantener, pueden ser operadas manualmente, en el caso más elemental, y con motor en la mayoría de los casos, consta de siete tipos principales:

<sup>1</sup>[www.rincondelvago.com/tipos-de-prensas-y-su-clasificacion.html](http://www.rincondelvago.com/tipos-de-prensas-y-su-clasificacion.html)

Inclinable de fondo abierto, de bastidor en “C”, articulada, de montantes rectos (de acción sencilla, doble, triple), de transmisión por fondo, y de gran velocidad<sup>1</sup>. En todos estos tipos, de prensas operadas con motor el funcionamiento está basado en el siguiente principio: el movimiento giratorio de un motor se convierte en movimiento lineal de una corredera por medio de cigüeñales, excéntricas, o mecanismos articulados, ver ejemplo fig. 1.12



**Fig. 1.12** Prensa de Excéntrica para perforar

#### **1.4.2 PRENSAS HIDRÁULICAS**

Durante los últimos años, ha habido un crecimiento en el uso de prensas hidráulicas, lo que ha dejado de lado la preferencia que se mantuvo por muchos años en el empleo de la prensa mecánica. Esto se debe a que en la actualidad las prensas hidráulicas son máquinas más rápidas y más confiables, debido al mejoramiento de la tecnología que estas han experimentado, incluyendo: los nuevos sellos, mejores bombas, las mangueras reforzadas y los acoplamientos mejorados<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> HABICHT, F. H.; Máquinas Herramientas Modernas; Editorial Continental S.A.; México; 1963

<sup>2</sup> [www.fluídica.sa.com](http://www.fluídica.sa.com)



También el uso de controles PLC (Control Lógico Programable) y otros controles electrónicos ha mejorado la velocidad y la flexibilidad de estas prensas en el proceso de fabricación, lo que las ha convertido en las preferidas en la manufactura mundial (Ver fig. 1.13), ya que las máquinas hidráulicas reúnen las ventajas de las prensas mecánicas, es decir alta velocidad de trabajo y autonomía.



**Fig. 1.13 Prensa Hidráulica de doble pistón, de 1000 tn.**

Se diferencian fundamentalmente de las prensas mecánicas en que se utiliza presión hidráulica por medio de uno o más pistones y cilindros para proporcionar el movimiento deslizante lineal, el cual empuja o “comprime” el material en tanto que las prensas mecánicas lo golpean. Esta característica es la causa de las inherentes ventajas y desventajas de operación que definen en forma aguda los tipos de trabajos apropiados para las prensas hidráulicas.

Siendo no tan rápidas en funcionamiento, éstas no se presentan para el trabajo general del troquelado cuando la velocidad de producción es el principal objetivo. Sin embargo, y debido a que muestran ventajas tales como: carrera lenta y controlada, habilidad para ejercer toda su presión en cualquier punto a lo largo de

la carrera, proporcionar un ajuste infinito de número de golpes y longitud de carrera, etc., la hace una herramienta indispensable para operaciones de extrusión y embutición profunda.

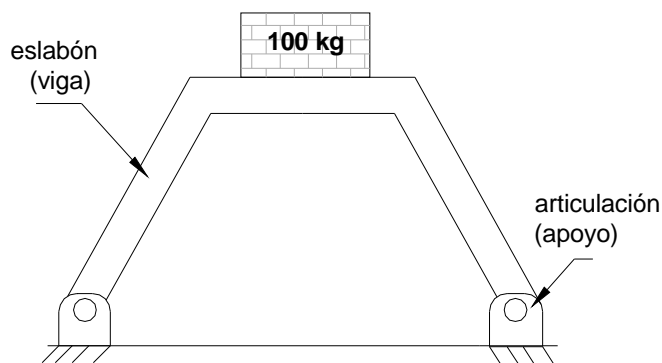
Además son fáciles de cambiar los herramientas para seguir con un nuevo trabajo. Se cuenta especialmente cuando tiene que ver con el ajuste de la carrera de una prensa mecánica, porque la prensa hidráulica puede mantener la fuerza máxima por lo largo de toda la carrera, así es que no se tiene que preocupar del punto de máxima fuerza, por último cabe decir que son máquinas, más compactas, menos ruidosas, más seguras, el costo de mantenimiento es menor, presentan mayor flexibilidad y versatilidad, y proporcionan una mayor capacidad a menor costo.

# CAPÍTULO I

## FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 2.1 ESTRUCTURAS METÁLICAS

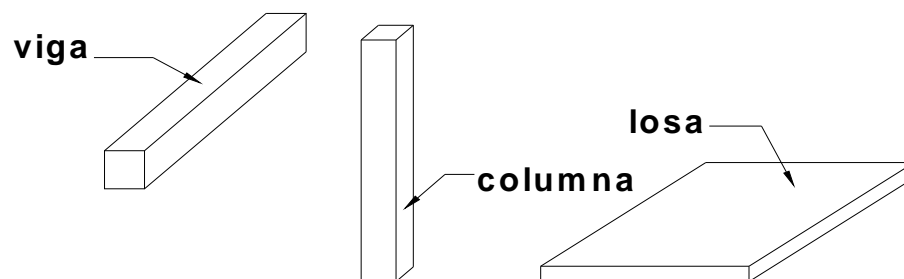
Se tiene presente que una estructura metálica es un conjunto de eslabones (cuerpos rígidos) y articulaciones ligadas entre sí que no transmiten movimiento. Forman un conjunto estable capaz de recibir cargas externas, resistirlas internamente y transmitir las a sus apoyos, donde esas fuerzas externas encontrarán su sistema estático equilibrante<sup>1</sup>. Ver fig. 2.1.



**Fig. 2.1** Esquema de Estructura metálica.

Son la parte primordial y a la vez la más grande de las máquinas, tiene como objetivo sostener todos los elementos que componen el sistema, de manera que la máquina en funcionamiento no ponga en riesgo la vida humana. Las piezas que la componen poseen evidentemente tres dimensiones, pero en general pueden ocurrir dos casos:

- **Dos** dimensiones, son pequeñas con relación a la tercera: le llamaremos barra y estará representada por su eje (lugar geométrico del centro de gravedad de su sección transversal), por ejemplo: barras horizontales (vigas), barras verticales (columnas). Ver fig. 2.2-a y 2.2-b
- **Una** dimensión, es pequeña con relación a las otras dos. Es el caso de losas o placas cuyo espesor es pequeño respecto a su superficie. Ver fig. 2.2-c.

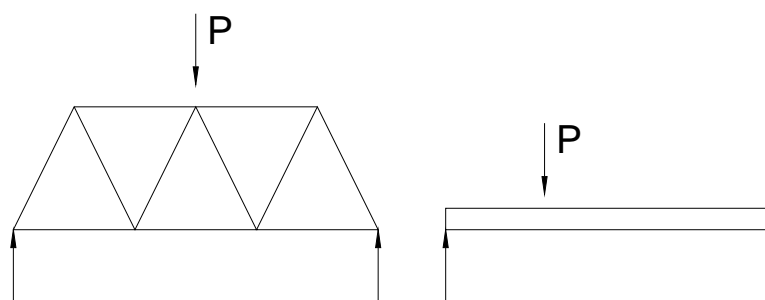
**Fig. 2.2-a****Fig. 2.2-b****Fig. 2.2-c**

## 2.1.1 TIPOS DE ESTRUCTURAS

Existen tres tipos diferentes de estructuras metálicas, cada una con diferentes características respecto a su estabilidad. Se clasifican en base a una relación entre el número de incógnitas y las ecuaciones de estática aplicables:

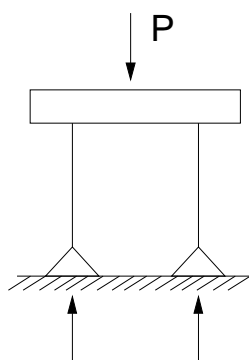
### 2.1.1.1 Estructura Isostática

Ocurre cuando el número de incógnitas (reacciones) es igual al número de ecuaciones de estática aplicables, produciendo una situación de equilibrio estable, ante cualquier deformación impuesta a la estructura, ésta tiende a volver a su situación inicial. Fig. 2.3

**Fig. 2.3 Condición isostática.**

### 2.1.1.2 Estructura Hipostática

Este tipo de estructuras se originan cuando el número de apoyos es inferior a lo necesario para impedir los movimientos posibles de la estructura, es decir se cuenta con más ecuaciones que incógnitas. Puede ocurrir una situación de carga para la cual se consigue equilibrio, pero se trataría de equilibrio inestable, pues cualquier deformación impuesta a la estructura tenderá a seguir hasta su ruina, por lo que las estructuras hipostáticas son inadmisibles para las construcciones<sup>1</sup>. Ver Fig. 2.4



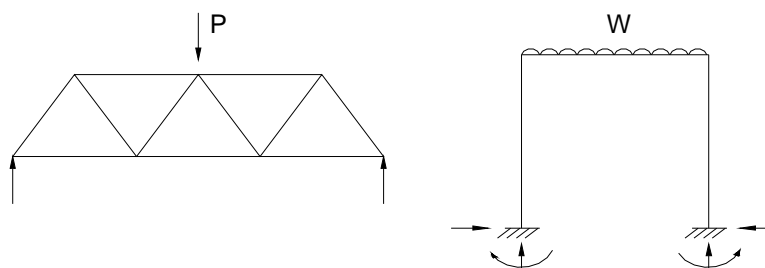
**Fig. 2.4 Estructura hipostática**

### 2.1.1.3 Estructura Hiperestática

Con el fin de conseguir un ahorro en cuanto a costo o simplemente por la naturaleza del material empleado, la mayoría de estructuras son hiperestáticas, es decir, no se pueden resolver solamente con las ecuaciones de la estática; el número de apoyos es superior a lo necesario para impedir todos los movimientos posibles de la estructura, haciendo que cuente con un equilibrio estable. En este caso el número de ecuaciones es inferior al número de incógnitas, produciendo un sistema indeterminado (Fig. 2.5), por lo tanto se requiere de todos los conocimientos de estática y adicionalmente de las propiedades de los elementos estructurales tales como módulo de elasticidad, momento de inercia y área de las secciones transversales<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> <http://lorenzoasuservicio.50megs.com/facu/modulo1/modulo1.htm#bolita>

<sup>2</sup> LEÓN de la BARRA, A; [Apuntes de Análisis Estructural](#); España; 1997



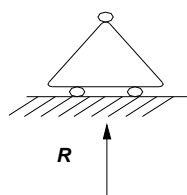
**Fig. 2.5 Estructura hiperestática.**

### 2.1.2 APOYOS

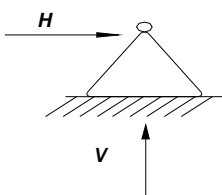
Una estructura plana posee tres grados de libertad, dos de traslación y una de rotación; la traslación puede expresarse por sus dos componentes según ejes ortogonales, y la rotación alrededor de un eje perpendicular al plano que contiene a las fuerzas.

Estos grados de libertad deben ser restringidos para evitar toda tendencia al movimiento de la estructura y lograr su equilibrio. Esta restricción está dada por los apoyos, ya que provocan reacciones en la dirección contraria a la de los movimientos, formando este conjunto de cargas y reacciones, un sistema de fuerzas en equilibrio.

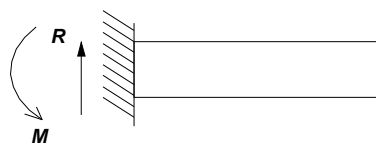
- **Apoyo de primer género:** impide el movimiento en la dirección perpendicular al plano de apoyo. (Fig. 2.6-a)
- **Apoyo de segundo género o articulación:** impide traslaciones en cualquier dirección, permitiendo sólo rotaciones. (Fig. 2.6-b)
- **Apoyo de tercer género o empotramiento:** este tipo de apoyo impide todo tipo de movimiento de la estructura. (Fig. 2.6-c).



**Fig. 2.6-a**



**Fig. 2.6-b**



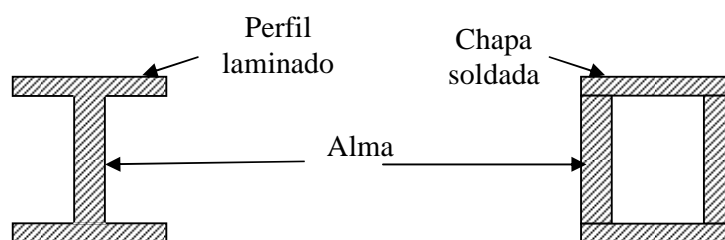
**Fig. 2.6-c**

### 2.1.3 VIGAS

Las vigas al igual que las columnas son barras que están sometidas a fuerzas o momentos situados en un plano que contiene a su eje longitudinal<sup>1</sup>; estas al interactuar con el elemento pueden producir efectos tales como: compresión, corte, tracción, torsión, y flexión. Estos efectos provocan en la viga, o en la columna deformaciones parciales, totales, y en casos extremos la rotura.

#### 2.1.2.1 Vigas de Alma Llena

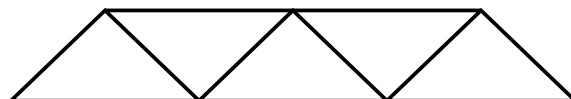
La fig. 2.7 muestra las vigas de alma llena, son llamadas así debido a que dicha parte no esta aligerada, son usadas para luces y cargas moderadas, y se emplean en gran parte por motivos económicos. Dentro de este tipo de vigas tenemos: Los perfiles laminados sencillos (Ver cuadro 2.1), y las vigas armadas (chapas soldadas).



**Fig. 2.7 Vigas de alma llena**

#### 2.1.2.2 Vigas en Celosía






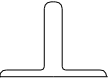


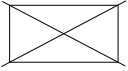
Este tipo de vigas cuentan con el alma aligerada, son usadas para luces y cargas superiores a las tratadas anteriormente, y de igual forma, por economía del material se utilizan las vigas de celosía en lugar de las armadas aunque su ejecución requiera una mayor mano de obra. Ver fig. 2.8



**Fig. 2.8 Vigas en celosía**

<sup>1</sup> ESPINOSA, D.; Resistencia de Materiales Mecánicos; EPN-ESFOT; Quito; 2004.

**Cuadro 2.1** Producto laminado

| PRODUCTO LAMINADO      | ESQUEMA   |
|------------------------|---|
| PERFILES IPN o DOBLE T |    |
| PERFILES IPE           |    |
| PERFILES HE            |    |
| PERFILES UPN           |    |
| PERFILES ANGULARES     |  |
| PERFILES EN T          |  |
| REDONDO                |  |
| CUADRADO               |  |
| RECTANGULAR            |  |



## **2.2 ETAPAS DEL DISEÑO ESTRUCTURAL**

Es el Proceso creativo mediante el cual se da forma a un sistema estructural para que cumpla una función determinada con un grado de seguridad razonable, y que en condiciones normales de servicio tenga un comportamiento adecuado. Es importante considerar ciertas restricciones que surgen de la interacción con otros aspectos del proyecto global como son; las limitaciones en cuanto al costo, el tiempo de ejecución, y la satisfacción de determinadas exigencias estéticas<sup>1</sup>.

La solución al problema de diseño no puede obtenerse mediante un proceso matemático rígido, donde se aplique rutinariamente un determinado conjunto de reglas y formulas, esto es un proceso en el cual el proyecto necesita atravesar por ciertas etapas.

### **2.2.1 ETAPA DE ESTRUCTURACIÓN**

Es quizás la etapa más importante del diseño estructural pues, la optimización del resultado final del diseño depende de gran medida del acierto que se haya obtenido en adoptar la estructura más adecuada para una edificación específica.

En esta etapa de estructuración se seleccionan los materiales que van a constituir la estructura, se define el sistema estructural principal, el arreglo y dimensiones preliminares de los elementos estructurales más comunes. El objetivo debe ser el de adoptar la solución óptima dentro de un conjunto de posibles opciones de estructuración.

### **2.2.2 ESTIMACIÓN DE LAS SOLICITACIONES O ACCIONES**

En esta etapa del proyecto, se identifican las acciones que se considera van a incidir o que tienen posibilidad de actuar sobre el sistema estructural durante su vida útil. Dichas acciones, atendiendo a los conceptos de seguridad estructural y de los criterios de diseño, son clasificadas en base a la variación de su intensidad con el tiempo. Se distinguen así los siguientes tipos:

---

<sup>1</sup> [www.monografias.com/trabajos6/dies/dies.shtml](http://www.monografias.com/trabajos6/dies/dies.shtml)

- **Acciones permanentes**, son las que actúan en forma continua sobre la estructura y cuya intensidad puede considerarse que no varía con el tiempo. Las principales a tomar en cuenta son: las cargas muertas, las deformaciones y los desplazamientos debido al esfuerzo.
- **Acciones variables**, son aquellas que inciden sobre la estructura con una intensidad variable con el tiempo, pero que alcanzan valores importantes durante lapsos grandes. Se pueden considerar las siguientes: cargas vivas, cambios de temperaturas y cambios volumétricos.

### 2.2.3 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Es el procedimiento que lleva a determinar la respuesta o reacción del sistema estructural ante la sollicitación de las acciones externas que puedan incidir sobre él, produciendo algún efecto.

La respuesta de una estructura o de un elemento es su comportamiento bajo una acción determinada; está en función de sus propias características, se expresa en base a deformaciones, agrietamiento, vibraciones, esfuerzos, reacciones, etc., y es evaluada modelando las acciones como fuerzas concentradas, lineales, o uniformemente distribuidas. Si la acción es de carácter dinámico se puede proponer un sistema de fuerzas equivalentes.

#### 2.2.3.1 Idealización de la Estructura<sup>1</sup>

Consiste en seleccionar un modelo teórico y analítico factible de ser analizado con los procedimientos de cálculo disponible. La selección del modelo analítico de la estructura puede estar integrada de las siguientes partes:

- **Modelo geométrico.** Esquema que representa las principales características geométricas de la estructura.
- **Modelo de las condiciones de continuidad en las fronteras.** Debe establecerse como cada elemento está conectado a sus adyacentes y cuáles son las condiciones de apoyo de la estructura.

---

<sup>1</sup> [www.monografias.com/trabajos6/dies/dies.shtml](http://www.monografias.com/trabajos6/dies/dies.shtml)

- **Modelo del comportamiento de los materiales.** Debe suponerse una relación acción – respuesta, o esfuerzo - deformación del material del que se compone la estructura.
- **Modelo de las acciones impuestas.** Las acciones que afectan la estructura para una condición dada de funcionamiento se representan por fuerzas o deformaciones impuestas.

### 2.2.3.2 Determinar las Acciones de Diseño

En muchas situaciones las cargas y otras acciones que introducen esfuerzos en la estructura están definidas por los reglamentos de las construcciones y es obligación del proyectista sujetarse a ellos, además determina la respuesta de las acciones de diseño en el modelo elegido para la estructura.

### 2.2.3.3 Dimensionamiento

En esta etapa se define a detalle la estructura y se revisa si se cumple con los requisitos de seguridad adoptados.

## 2.3 CÁLCULO ESTRUCTURAL

Podría ser considerado como el punto más esencial dentro de la etapa del análisis estructural razón por la cual se ha decidido tratarlo como un tema independiente.

Es muy importante se haga énfasis en la realización de un óptimo cálculo en todo proyecto de estructuras metálicas, ya que es la parte del diseño que tiene la finalidad de hallar las dimensiones adecuadas de los elementos que las constituyen, relacionando de la mejor forma la resistencia del elemento con las cargas externas que se le apliquen.

Existen varios métodos de cálculo que determinan los efectos producidos sobre vigas, y columnas, los más frecuentemente utilizados son: doble integración, viga conjugada, área de momento, y método de la energía elástica<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> ESPINOSA, D.; Resistencia de Materiales Mecánicos; EPN-ESFOT; Quito; 2004.

Actualmente también se cuenta con programas computacionales como el SAP 2000, VIGAS, etc., sin embargo es un requisito importante el propio juicio o criterio del diseñador pues los resultados calculados sólo proporcionan la base para adoptar las decisiones finales.

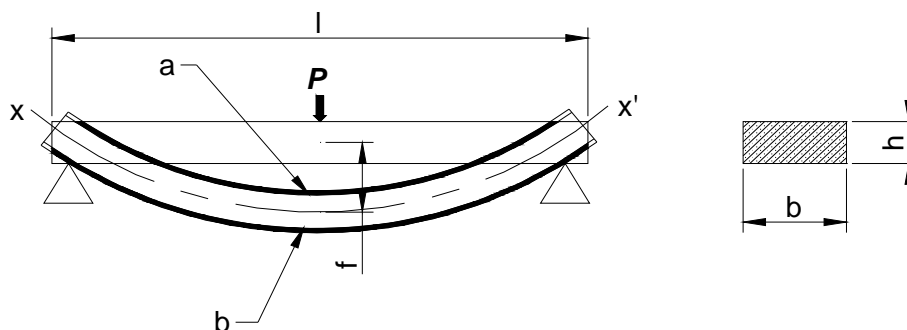
### 2.3.1 PIEZAS SOMETIDAS A FLEXIÓN<sup>1</sup>

Un material trabaja a flexión cuando soporta cargas perpendiculares al eje que dan origen a esfuerzos internos de flexión y cortantes en la barra, y además también hace que ésta fleje en sentido perpendicular a su eje longitudinal.

La deformación de una viga se suele expresar en función de la flecha desde la posición no deformada. Se mide desde la superficie neutra de viga deformada hasta la posición de original de dicha superficie. En el ejemplo representado en la figura 2.9 se observa que, por efecto de una carga  $P$ , la viga ha flexado ( $f$ ):

En la flexión se han de distinguir tres hechos importantes, a saber:

- La parte inferior ( $a$ ) sufre una compresión de sus moléculas.
- La parte exterior ( $b$ ) sufre un alargamiento de sus moléculas.
- La línea del eje ( $xx'$ ), parte central o fibra neutra, no sufre deformación.



**Fig. 2.9** Viga deformada

<sup>1</sup> VILORIA, JOSE R.; Prontuario de Mecánica Industrial Aplicada; Editorial Thomson; España.

Las condiciones de diseño de las vigas frecuentemente imponen limitaciones sobre las deflexiones, lo mismo que sobre los esfuerzos. Por esto además del cálculo de los esfuerzos es importante determinar las flechas, por ejemplo el código AISC, indica que a flecha máxima no debe exceder de 1/300 de la longitud de la viga<sup>1</sup>, en cambio otras normas presentan el factor de división en función de la longitud y el tipo de trabajo que realice la viga como muestra la tabla 2.1.

**Tabla 2.1 Valores máximos de la relación flecha-luz<sup>2</sup>.**

| <b>LIMITACIONES DE LAS FLECHAS DE LAS VIGAS</b>                                  |         |
|--|---------|
| Vigas o viguetas de cubierta   | L / 250 |
| Vigas de hasta 5 m de luz y viguetas de forjado que no soporten muros de fábrica | L / 300 |
| Vigas de mas de 5 m de luz; que no soporten muros de fábrica                     | L / 400 |
| Vigas y viguetas de forjado; que soporten muros de fábrica                       | L / 500 |
| Ménsulas con la flecha medida en el extremo libre                                | L / 300 |
| Cualquier otro elemento (a menos que se justifique debidamente)                  | L / 500 |

Para que una pieza sometida a flexión pueda considerarse correctamente calculada, y por tanto pueda ser empleada, es preciso que esta cumpla con las siguientes condiciones, las cuales se refieren a: <sup>3</sup>

- **Estado tensional:** tensiones combinadas inferiores a la tensión admisible.
- **Estado de deformación:** flechas que no alcancen un límite preestablecido.
- **Estabilidad:** comprobación de posibles fenómenos de pandeo lateral, local y abollamiento del alma.

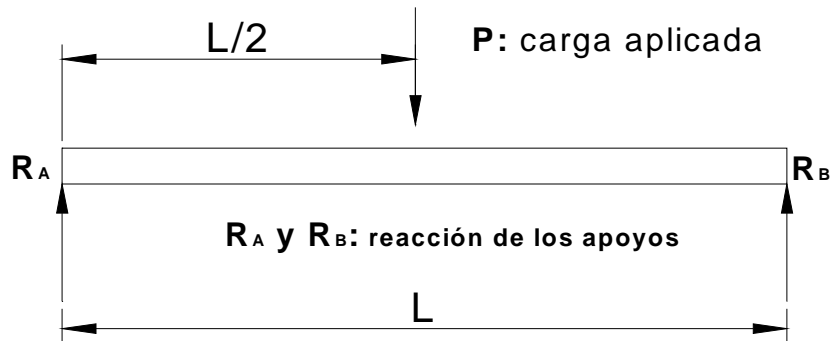
En el caso particular de la estabilidad, no son necesarias las comprobaciones de pandeo local del ala, ni de abolladura del alma, cuando se trata de secciones laminadas.

<sup>1</sup> ESPINOSA, D.; Resistencia de Materiales Mecánicos; EPN-ESFOT; Quito; 2004.

<sup>2 - 3</sup> NORMA NBE EA-95; Estructuras de Acero en Edificación; España; 1995.

### 2.3.1.1 Cálculo de Vigas

- 1) **Diagrama de cuerpo libre**; es el primer paso a seguir en el análisis de cualquier tipo de viga, consiste en representar gráficamente las condiciones y tipos de carga a la que esta sometido el cuerpo. (Ver fig. 2.10)



**Fig. 2.10**

- 2) **Cortante Máximo ( $C_{m\acute{a}x}$ )**; consiste en calcular la fuerza cortante máxima que soporta la viga en un determinado punto, debido a la carga aplicada sobre ella. El resultado hallado es usado en forma de valor absoluto. ( tabla A3.1 y A3.2)
- 3) **Momento Flector Máximo ( $M_{m\acute{a}x}$ )**; es el tercer paso en el análisis; al igual que en el cortante máximo se debe obtener el más alto valor que se produce en la viga debido a las cargas aplicadas, y el resultado es usado en valor absoluto. (ver tabla A3.3, A3.4)
- 4) **Momento Resistente ( $W$ )**; es la relación entre el momento flector máximo y el límite de fluencia del material a usar, pero cuando se desconoce alguno de estos valores y si el eje del cuerpo pasa por su centro de gravedad se puede emplear para el cálculo las ecuaciones de la tabla A3.5. En el caso del perfil UPN el resultado obtenido es una guía para seleccionar el  $W$  más conveniente de los datos que se muestran en la tabla A3.6

5) **Tensión de Trabajo ( $\sigma$ )**; es el esfuerzo máximo de trabajo al cual esta sujeto el elemento, producto de la carga aplicada. Este valor debe ser menor o igual al límite de fluencia del material que esta hecho el cuerpo. Ecuación 2.1

$$\sigma = \frac{M_{\text{máx}}}{W_{xx'}} \quad \text{Ecuación 2.1}$$

6) **La Flecha ( $f$ )**<sup>1</sup>; es la deformación que sufre la viga a causa de las cargas que se le aplican; cuando esta se halla en el centro de la distancia comprendida entre los apoyos de una viga de alma llena, de sección constante y constituida por un perfil simétrico de canto  $h$  y luz  $L$ ; puede calcularse mediante la ecuación 2.2

$$f_{(\text{mm})} \cong \alpha \cdot \frac{\sigma_{(\text{Kg/mm}^2)} \cdot L^2_{(\text{m}^2)}}{h_{(\text{cm})}} \quad \text{Ecuación 2.2}$$

$\sigma$ : Tensión de trabajo.

$\alpha$ : Coeficiente que depende del tipo de apoyo de la viga y del tipo de carga.  
(Ver tabla 2.2).

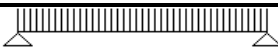
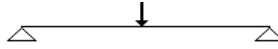



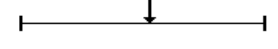



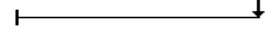

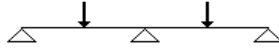
$h$ : Espesor del cuerpo.

Para casos de vigas las cuales sus diagramas no coincidan con los mostrados en la tabla 2.2, el cálculo de la flecha se lo realiza mediante el método de doble integración, los cuales dan como resultado distintas ecuaciones que dependen del sistema de fuerzas que se aplique en determinado tipo de viga, como se muestra en las tablas A3.7, y A3.8.

---

<sup>1</sup> NORMA NBE EA-95; Estructuras de Acero en Edificación; España; 1995

**Tabla 2.2** Valores del coeficiente  $\alpha$ <sup>1</sup>

| Clases de sustentación y tipo de carga  | $\alpha$ |
|---|----------|
|    | 1,000    |
|    | 0,800    |
|    | 0,300    |
|    | 0,250    |
|    | 0,340    |
|    | 0,400    |
|    | 2,380    |
|    | 1,930    |
|   | 2,650    |
|  | 3,180    |
|  | 0,415    |
|  | 0,448    |

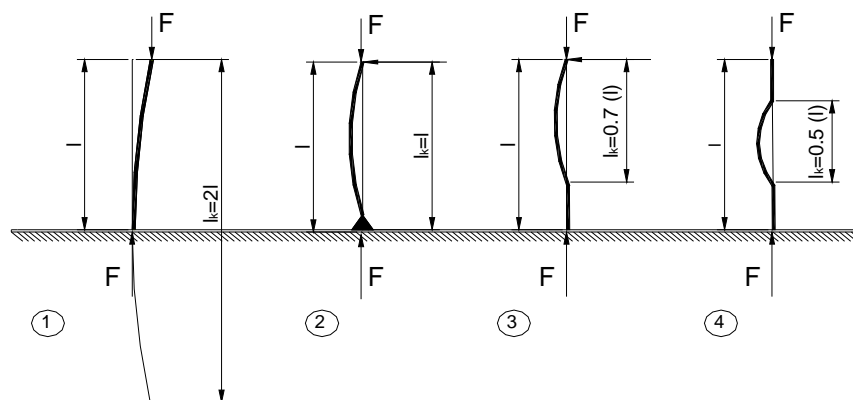
### 2.3.2 PIEZAS SIMPLES SOLICITADAS A COMPRESIÓN AXIAL

Una pieza larga montada en posición vertical (columnas, postes, etc.) y sometida a compresión está expuesta a pandeo, que es una deformación en forma de curva que se produce en la pieza sobre su eje longitudinal.

La longitud de pandeo o zona curvada ( $l_k$ ) de una pieza larga sometida a compresión dependerá del tipo de anclaje o apoyo que tenga en sus extremos. Se pueden dar cuatro casos de pandeo, tal como se representa en la figura 2.11.

<sup>1</sup> NORMA NBE EA-95; Estructuras de Acero en Edificación; España; 1995





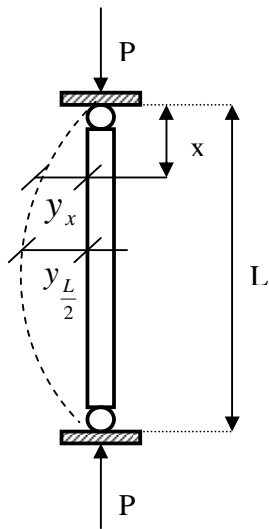
**Fig. 2.11 Piezas sometidas a pandeo**

- (1) Cuando un extremo está libre el otro empotrado:  $l_k=2l$
- (2) Cuando los dos extremos están articulados:  $l_k=l$
- (3) Cuando un extremo está fijo y el otro articulado:  $l_k= 0.7 \cdot l$
- (4) Cuando los dos extremos están fijos:  $l_k= 0.5 \cdot l$

Mientras la carga permanezca por debajo de un determinado valor  $P_{ki}$  que es la carga exterior crítica, la barra conserva su forma recta siendo su equilibrio estable. Incrementando  $P$  hasta alcanzar dicho valor, además de la posibilidad del estado de equilibrio con la forma recta de la pieza aparecen otros posibles estados de equilibrio; en los que la forma se convierte en curva con desplazamientos infinitesimales de sus diversos puntos. (Ver fig. 2.12)

Para nuevos incrementos de la carga  $P$ , los desplazamientos se hacen finitos y la pieza prismática se encuentra sometida a flexión compuesta debido al descentramiento de la carga  $P$ , con relación a la directriz de la barra cuyo valor máximo será  $P \cdot y_{L/2}$ ; al alcanzar la carga exterior el valor crítico que da lugar al cambio de forma, la pieza prismática se comporta como si se produjese una pérdida repentina de la capacidad de resistencia hasta el punto que sobreviene la ruptura bajo tensiones de compresión, que no solo son inferiores a los límites de rotura, sino a aquellas correspondientes a los límites de fluencia y proporcionalidad<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> [www.infomecanica.com/estructuras.htm](http://www.infomecanica.com/estructuras.htm)



$P < P_{ki} \rightarrow$  La barra conserva la forma recta y su equilibrio es estable.

$P = P_{ki} \rightarrow$  Tenemos un equilibrio inestable, aparecen una serie de posibles estados de equilibrio.

$P > P_{ki} \rightarrow$  Tendremos flexiones compuestas, para pequeños incrementos de  $P$ ; podemos ver grandes

**Fig. 2.12** Acción de cargas axiales sobre una columna

### 2.3.2.1 Carga Crítica

Euler determinó la carga crítica de rotura  $P_{ki}$  para una pieza que axialmente comprimida satisface las siguientes condiciones:

- La pieza es biarticulada, de sección transversal constante e  $I$  constante.
- El módulo de elasticidad  $E$  permanece constante hasta la rotura.
- El eje de la pieza es matemáticamente recto.
- La carga externa  $P$  actúa exactamente en el eje.
- Los recorridos de los puntos del eje de la pieza son muy pequeños.

#### 1) Carga de pandeo $P_{ki}$ (Euler).

$$P_{ki} = \pi^2 \cdot \frac{E \cdot I_m}{l_k^2}$$

**Ecuación 2.3**

**$I_m$ :** Momento de inercia de la sección

**$A$ :** Sección

**$l_k$ :** Longitud de pandeo

2) **Radio de giro ( $i$ )**, este depende de la forma de la sección y no del material.

$$i = \sqrt{\frac{I_m}{A}}$$

**Ecuación 2.4**

**$I_m$** : Momento de inercia de la sección

**$A$** : Sección

3) **Esbeltez mecánica ( $\lambda$ )**, se produce en piezas sometidas a compresión, y es consecuencia del pandeo, se calcula a través de la relación entre la longitud de pandeo y el radio de giro mínimo de la sección.

$$\lambda = \frac{l_k}{i}$$

**Ecuación 2.5**

Si el valor de  $\lambda$  es  $\geq$  que el dado en la tabla 2.3, el cálculo de la carga crítica a soportar por la columna o pilar se hará en función de la fórmula de Euler. Si  $\lambda$  es menor que el valor dado en la tabla se aplicará la fórmula de *Rankine* para calcular la carga de pandeo (Ecuación 2.6).

$$P_{ki} = \frac{R * A}{1 + \frac{L^2 * A}{\lambda^2 * I_m}}$$

**Ecuación 2.6**

**$R$** : Resistencia límite práctica, trabajando a compresión.

**$A$** : Sección

**$l_k$** : Longitud de pandeo

**$\lambda$** : Valor de la esbeltez mecánica.

**$I_m$** : Momento de inercia de la sección

**Tabla 2.3** Valores de coeficiente de seguridad según la esbeltez ( $\lambda$ )<sup>1</sup>

|                                 | Aceros | Fundición | Madera | Hormigón |
|---------------------------------|--------|-----------|--------|----------|
| <b>Coeficiente de seguridad</b> | 4 a 5  | 8         | 10     | 8 a 10   |
| <b><math>\lambda</math></b>     | 100    | 60        | 70     | 140      |

- 4) **Tensión de Trabajo ( $\sigma$ )**, es el máximo esfuerzo al que esta sometido la columna, y debe ser menor o igual al límite de fluencia del material. Para cargas centradas usar ecuación 2.7

$$\sigma = \frac{P_{Kl} * w}{A} \quad \text{Ecuación 2.7}$$

**W:** Coeficiente de pandeo (tabla A3.9)

- 5) **Coeficiente de Seguridad (n)**, es la relación entre el límite de fluencia del material y la tensión de trabajo. Por lo general se encuentra entre 1 y 2

$$n = \frac{S_y}{\sigma} \quad \text{Ecuación 2.8}$$

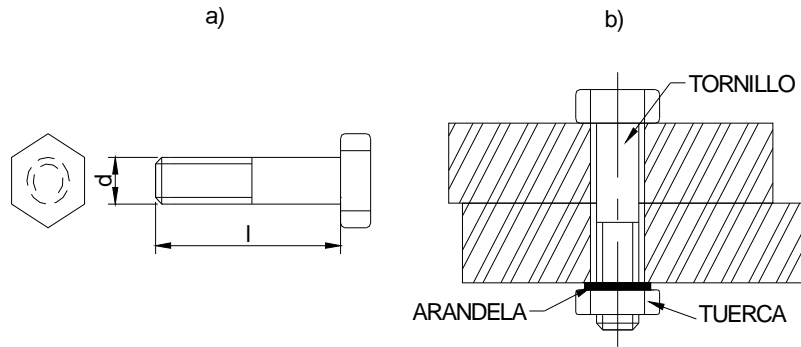
- 6) **Carga Real ( $P_R$ )**, es el valor real de carga que puede soportar la columna, es la relación entre la carga crítica y el coeficiente de seguridad. Se calcula a través de la ecuación:

$$P_R = \frac{P_{Kl}}{n} \quad \text{Ecuación 2.9}$$

## 2.4 TORNILLERÍA

La tornillería tiene gran importancia en la fijación de máquinas y elementos de las mismas, pertenece al grupo de uniones desmontables, y son juntas muy seguras y de fácil mantenimiento. En cada estructura los tornillos serán de dos o tres diámetros distintos, y bien diferenciados

El tornillo consiste en un vástago de diámetro  $d$ , longitud  $l$ , y una cabeza que en el caso de las estructuras metálicas es casi siempre de forma hexagonal (Ver fig. 2.13-a). Se introduce en los taladros de la chapa a enlazar; teniendo en el extremo saliente del vástago una zona roscada que en la mayoría de casos es de tipo métrica, en la cual se colocan una arandela y una tuerca que al ir roscándose consigna el apriete de las chapas unidas. (Ver fig. 2.13-b)



**Fig. 2.13** Partes de una junta atornillada.

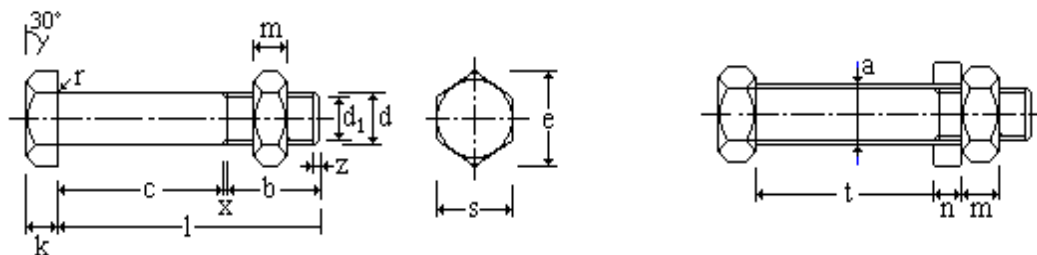
## 2.4.1 CLASES DE TORNILLOS

La clasificación de los tornillos se da en base a las características mecánicas del acero que los constituyen; los tornillos a tratar en este proyecto son de tres clases:

- Clase T: Tornillos ordinarios,
- Clase TC: Tornillos calibrados, y
- Clase TR: Tornillos de alta resistencia

### 2.4.1.1 Tornillos Ordinarios

Los tornillos ordinarios tienen la forma representada en la figura 2.14, son empleados con producto de acero de los tipos A37 y A42. Se designan con: La sigla T, el diámetro de la caña, la longitud  $l$  del vástago, el tipo de acero y la referencia a la norma; estos dos últimos datos pueden suprimirse cuando sean innecesarios. Ejemplo: T 16 x 80, A4t, NBE EA-95.

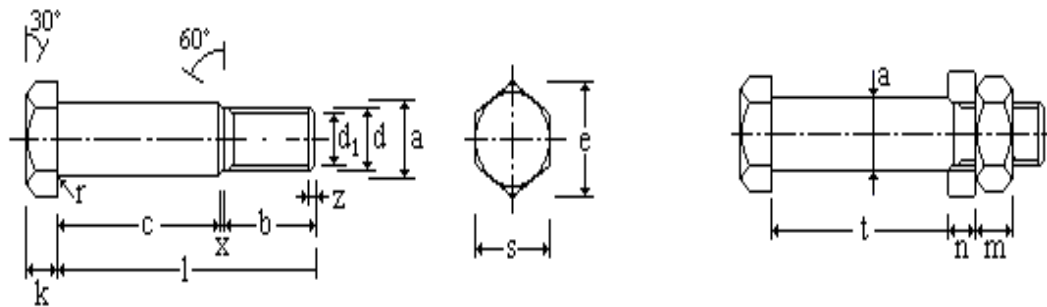


**Fig. 2.14** Tornillo ordinario.

### 2.4.1.2 Tornillos Calibrados

Los tornillos calibrados tienen la forma representada en la figura 2.15, son empleados con producto de acero de los tipos A37, A42, y A52. Se designan con: La sigla TC, el diámetro de la caña, la longitud  $l$  del vástago, el tipo de acero y la referencia a la norma; estos dos últimos datos pueden suprimirse cuando sean innecesarios.

Ejemplo: TC 12 x 55, A5t, NBE EA-95.

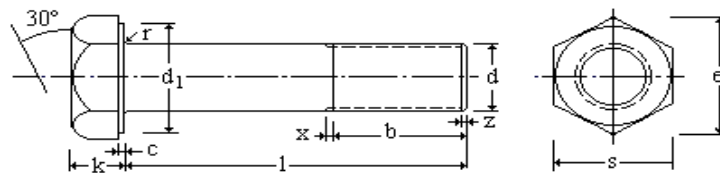


**Fig. 2.15** Tornillo calibrado.

### 2.4.1.2 Tornillos de Alta Resistencia

Los tornillos calibrados tienen la forma representada en la figura 2.16, son empleados con aceros de cualquier tipo. Se designan con: La sigla TR, el diámetro de la caña, la longitud  $l$  del vástago, el tipo de acero y la referencia a la norma; estos dos últimos datos pueden suprimirse cuando sean innecesarios.

Ejemplo: TR 20 x 55, A10t, NBE EA-95.

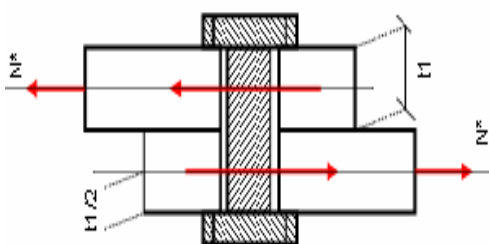


**Fig. 2.16** Tornillo de alta resistencia.

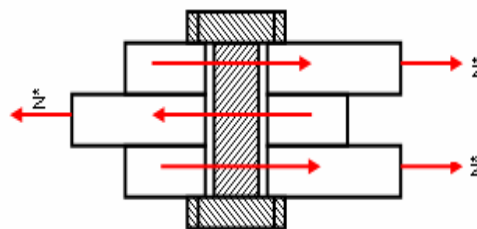
## 2.4.2 CÁLCULO DE TORNILLOS A CORTADURA

Un pieza esta sometida a efectos de corte cuando fuerzas exteriores tienden a fragmentarlo, en este caso diremos cuando las chapas unidas tratan de deslizarse una con respecto a la otra, produciendo un esfuerzo de corte en el vástago<sup>1</sup>.

Generalmente se originan dos casos: de simple cortadura (Fig. 2.17), y de doble cortadura (Fig. 2.18), para realizar el cálculo se tomará la sección resistente, resultante del vástago.



**Fig. 2.17** Simple cortadura.



**Fig. 2.18** Doble cortadura.

### 2.4.2.1 Diámetro del Tornillo

Se recomienda aplicar para la elección del  $\varnothing$  del tornillo la ecuación 2.10, el espesor ( $e$ ) para el cálculo será el promedio de las chapas a unir. El anexo A4.1 y A4.2 se emplearán para la designación de la longitud.

$$d_{(cm)} = \sqrt{5 \times e_{(cm)}} - 0.2 \quad \text{Ecuación 2.10}$$

### 2.4.2.2 Carga Máxima Resistente a la Rotura

La sollicitación o carga de agotamiento de un tornillo a cortadura, en la sección del vástago definida por la posición de contacto entre chapas, se la calcula haciendo uso de la ecuación 2.11.

$$P_{\text{máx}} = K \times \sigma_t \times m \times F \quad \text{Ecuación 2.11}$$

<sup>1</sup> [www.infomecanica.com/estructuras.htm](http://www.infomecanica.com/estructuras.htm)

- P<sub>max</sub>**: carga máxima resistente a la rotura  
**K**: Coeficiente adimensional (0.65 para tornillos ordinarios y 0.8 en calibrados)  
**m**: numero de secciones transversales (1 para cortadura simple y 2 para doble)  
**F**: Sección resistente del tornillo (ecuación 2.12)  
**σ**: Límite de fluencia (Ver tabla A4.3)

$$F = \frac{\pi \times d^2}{4} \quad \text{Ecuación 2.12}$$

### 2.4.2.3 Cálculo del Número de Tornillos

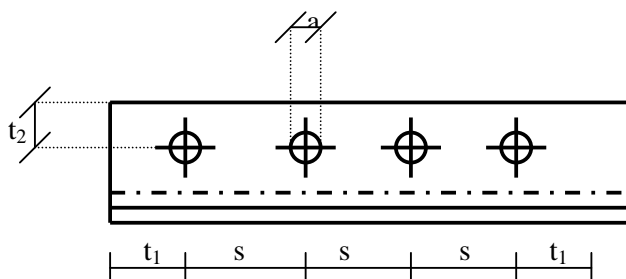
El número de tornillos  $N_c$ , debe absorber la carga que resulta del cortante  $N^*$  por un factor de seguridad ( $n$ ) que por lo general está entre 1.1 y 2. (Ver ecuac. 2.13).

$$N_c = \frac{N^* \times n}{P_{\text{máx}}} \quad \text{Ecuación 2.13}$$

### 2.4.3 DISPOSICIONES CONSTRUCTIVAS DE TORNILLOS<sup>1</sup>

Según la figura 2.19, tenemos para la disposición constructiva las siguientes medidas y tolerancias.

- $a \rightarrow \emptyset$  del tornillo.
- $t_1 \rightarrow$  distancia desde el centro del tornillo hasta el borde frontal.
- $t_2 \rightarrow$  distancia desde el centro del tornillo hasta borde lateral.
- $S \rightarrow$  distancia entre centro de agujeros



**Fig. 2.19** Disposición constructiva.

<sup>1</sup> [www.infomecanica.com/estructuras.htm](http://www.infomecanica.com/estructuras.htm) - 30k -



### 2.4.3.1 Cálculo de la Distancia entre Agujeros

- Cuando se conozca como dato el espesor ( $e$ ) mínimo de la chapa, tendremos valores mínimos para  $s$ :  $s \geq 3.5 \cdot a$
- Si conocemos el diámetro del tornillo, tendremos el valor máximo para  $s$  en todos los casos, entonces:  $s \leq 8 \cdot a$  y  $s \leq 15 \cdot e$ .

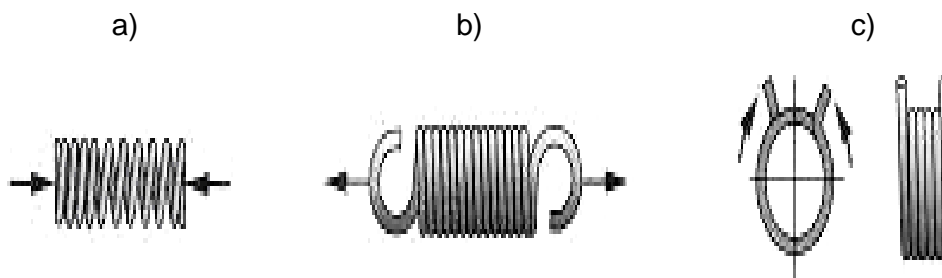
### 2.4.3.2 Distancias entre Centros de agujeros y Bordes de las chapas

- Los valores mínimos al borde frontal  $t_1 \geq 2 \cdot a$  y
- Al borde lateral  $t_2 \geq 1.5 \cdot a$ .
- Valor máximo a cualquier borde  $t \leq 3 \cdot a$ , o  $t \leq 6 \cdot e$ .

La suma de los espesores de las piezas unidas será menor o igual que  $4.5 \cdot d$  para tornillos ordinarios; no hay limitación para tornillos de alta resistencia.

## 2.5 RESORTES

Los resortes son componentes mecánicos que se caracterizan por absorber deformaciones considerables bajo la acción de una fuerza exterior, volviendo a recuperar su forma inicial cuando cesa la acción de la misma, es decir, presentan una gran elasticidad. Los resortes se diseñan para dar una fuerza que puede ser de empuje, puede tirar, e incluso torcer. Ver figura 2.20



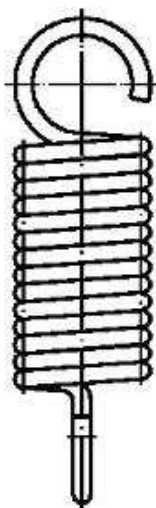
**Fig. 2.20** Tipos de fuerza que da un resorte. a) Empuje, b) tracción, y c) torsión.

Para su fabricación se emplean aceros de gran elasticidad (acero al carbono, acero al silicio, acero al cromo-vanadio, acero al cromo-silicio, etc.), aunque para algunas aplicaciones especiales pueden utilizarse el cobre endurecido y el latón.

Los resortes se utilizan con gran frecuencia en los mecanismos para asegurar el contacto entre dos piezas, acelerar movimientos que necesitan gran rapidez, limitar los efectos de choques y vibraciones, etc.

### 2.5.1 RESORTES DE EXTENSIÓN

Este tipo de resortes son similares a los resortes helicoidales a compresión, pero a diferencia de ellos, los resortes de extensión están diseñados para absorber y acumular energía, mediante la creación de resistencia a una fuerza de tracción. Además la forma estándar de los extremos de esta clase de resorte se forman doblando la última espira a  $90^\circ$  en relación con el cuerpo, tal y como se muestra en la figura 2.21, y el material más comúnmente usado para su fabricación es el alambre redondo, ya que es más adaptable al herramental de enrollado estándar.

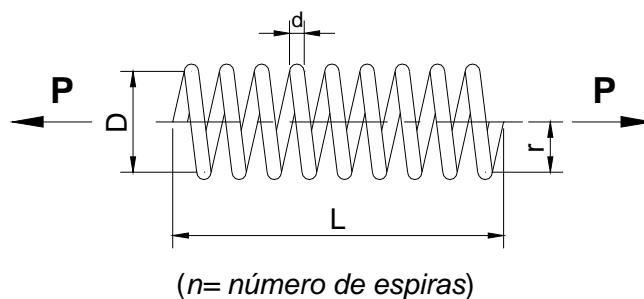


**Fig. 2.21** Resorte de tracción.

En un resorte de extensión, todas las espiras son activas, y la tensión inicial es lo que las mantiene firmemente apretadas, por lo que el paso de las espiras es igual al diámetro del hilo. Cabe tener en cuenta que por lo general los ganchos están más esforzados que las espiras y por consiguiente fallan primero

## 2.5.2 CALCULO DE RESORTES CON SECCIÓN CIRCULAR

Para este tipo de resortes es necesario aplicar tres ecuaciones básicas, para realizar una correcta selección en cuanto a las dimensiones del resorte se refiere. (Ver figura 2.22)



**Fig. 2.22** Resorte de sección redonda.

- 1) **Carga (P):** capacidad de carga del resorte. (Ec. 2.14)

$$P = \frac{\pi * d^3 * R_c}{16 * r} \quad \text{Ecuación 2.14}$$

- 2) **Flexión (f):** es la deformación experimenta el resorte bajo la acción de la carga P. (Ec. 2.15)

$$f = \frac{64 * n * P * r^3}{G * d^4} \quad \text{Ecuación 2.15}$$

- 3) **Diámetro del hilo de sección redonda (d):** (ver ecuación 2.16)

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 * P * r}{\pi * R_c}} \quad \text{Ecuación 2.16}$$

**R<sub>c</sub>:** Tensión de trabajo admisible (6000 a 8000 Kg/cm<sup>2</sup> acero templado)

**G:** módulo de elasticidad transversal por cm<sup>2</sup> (800000 a 1000000 Kg acero)

**r:** radio del centro de gravedad.

**d:** diámetro del hilo de sección redonda.

**D:** diámetro medio.

**L:** longitud inicial del resorte.

## 2.6 SISTEMAS HIDRÁULICOS

Los sistemas hidráulicos pueden ser simples o complejos. Consiguen operar a altas temperaturas (por ejemplo 60 °C), altas presiones y ciclos rápidos. Se comportan como los circuitos neumáticos, excepto en el tocante a su principal propiedad: la incomprensibilidad del fluido. Esto les confiere a estos sistemas una gran facilidad para obtener avances o desplazamientos lentos y adecuados para el mecanizado con máquina herramienta, además cuentan con la posibilidad de aumentar muchísimo la presión de funcionamiento y obtener las fuerzas elevadas que necesitan ciertas máquinas como la prensa hidráulica. Esta clase de sistemas son muy empleados en la actualidad debido a factores tales como:

- **Simplicidad.** Hay pocas piezas en movimiento (bombas, motores y cilindros)
- **Flexibilidad.** El aceite se adapta a las tuberías y transmite la fuerza como si fuera una barra de acero.
- **Tamaño.** Son pequeños comparado con sistemas mecánicos y eléctricos a igual potencia.
- **Seguridad.** Brindan altos índices de seguridad, salvo algún peligro de incendio en ciertas instalaciones.
- **Multipliación de fuerzas.** Principio muy usado para las prensas hidráulicas.

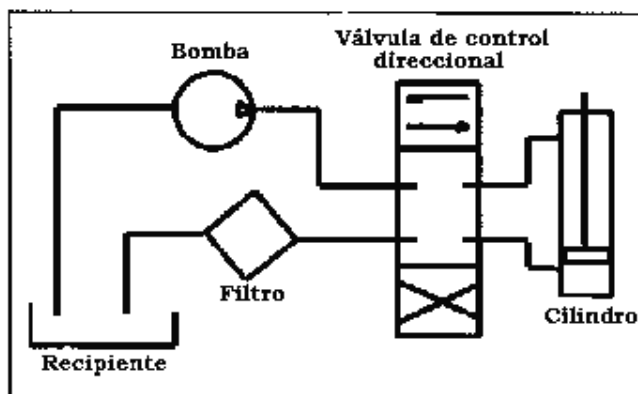
### 2.6.1 COMPONENTES BÁSICOS <sup>1</sup>

Muchos de los sistemas hidráulicos se estructuran de cinco componentes mecánicos básicamente: bombas, válvulas, depósitos, cilindros o botellas, y filtros, sin dejar de lado las tuberías y el fluido. (Ver fig. 2.23).

No importa que tan sofisticado se vuelva el sistema, el fluido hidráulico lleva a cabo en él cuatro funciones simples: Transmitir potencia, lubricar bomba, válvulas y sellos, proteger el sistema removiendo contaminantes (Humedad, suciedad, calor, aire), y sellar con los componentes internos.

---

<sup>1</sup> [www.filtercouncil.org](http://www.filtercouncil.org)



**Fig. 2.23** Esquema de un sistema hidráulico.

## 2.6.2 BOMBAS HIDRÁULICAS

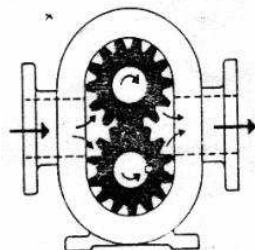
Las [bombas](#) son los órganos que generan la potencia hidráulica en el circuito la cual se transmite dentro del mismo a través del fluido que por él circula (ver fig. 2.24). Muchos creen que estos mecanismos generan presión, pero no es así, es importante entender que el único propósito de las bombas es crear caudal con el fin de originar un flujo necesario para el desarrollo de la misma.



**Fig. 2.24** Bomba Hidráulica

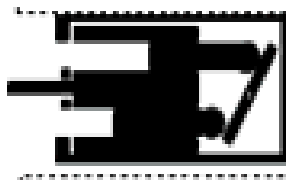
La presión es la fuerza en una determinada área, creada por la resistencia a la circulación del fluido, cuyo tránsito por el sistema hidráulico, debe ser dirigido convenientemente a los diversos cilindros, y actuadores, de acuerdo a las exigencias y secuencias del trabajo a realizar. Existen tres tipos de bombas que son los más utilizados en máquinas que cuentan con sistemas hidráulicos:

- a) **De engranajes:** Son bombas rotatorias, de desplazamiento positivo, adecuadas para la transmisión de potencia, generalmente se les considera como bombas para líquidos viscosos (ver fig. 2.25), y tienen una eficiencia (rendimiento) volumétrico aproximado de 85 a 96 %.



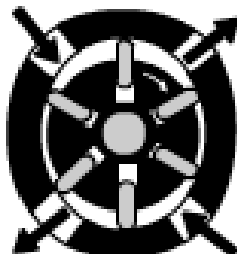
**Fig. 2.25** Bomba de engranajes externos

- b) **De pistones:** Son bombas de desplazamiento positivo, aplicadas cuando se requieren altas presiones hidráulicas y grandes esfuerzos (ver fig. 2.26), funcionan según el principio de un cilindro hidráulico, donde un pistón es movido alternativamente dentro de un orificio, aspirando el fluido al retraerse y expulsándolo en su carrera hacia adelante. Son eficientes para trabajar con líquidos viscosos, y tiene un rendimiento volumétrico aproximado de 95 a 98%.



**Fig. 2.26** Bomba de pistón axial

- c) **De paletas:** Son bombas centrífugas, de desplazamiento no positivo, poco utilizadas para trabajar con líquidos viscosos, en su mayoría son empleadas como bombas de agua en vehículos, máquinas para lavar vajilla o lavadoras, y cuentan con una rendimiento vol. aproximado de 85 a 93 %. (Fig. 2.27)



**Fig. 2.27** Bomba de paletas equilibradas

### 2.6.2.1 Selección de una Bomba Hidráulica

Estos mecanismos nunca deben ser escogidos de forma empírica, el [objetivo](#) siempre es seleccionar una bomba de modo que, las características de trabajo en relación al sistema en el cual opera, sean tales que el punto de funcionamiento esté cerca del PMR (punto de máximo de rendimiento), logrando con esto minimizar el consumo de energía y optimizar su rendimiento.

Existen factores importantes ha considerar para la selección de una bomba, dentro de los cuales tenemos:

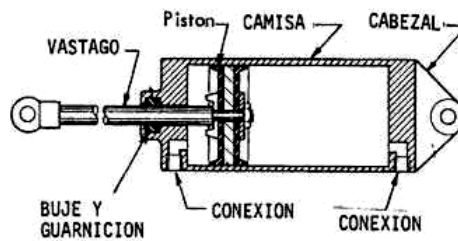
- Presión máxima requerida para producir suficiente fuerza de salida de los actuadores.
- Rendimiento volumétrico de la bomba.
- Seguridad de operación.
- Fácil mantenimiento.
- Condiciones de funcionamiento, continuo o de corta duración.
- Instalación interior o exterior.

### 2.6.3 CILINDROS O BOTELLAS

Los cilindros son actuadores lineales, utilizados para convertir la fuerza hidráulica en fuerza o movimiento mecánico lineal, en ocasiones son llamados "motores lineales" y son posiblemente la forma más habitual de uso de energía en instalaciones hidráulicas, el principio de funcionamiento es simple: el fluido bajo presión enviado por una de las conexiones del cilindro, actúa contra el área del pistón, éste unido al vástago es desplazado linealmente en su longitud con una fuerza que es usada para mover o cargar (ver fig. 2.28), la distancia recorrida por el pistón se llama carrera<sup>1</sup>. La presión del fluido determina la fuerza de empuje de un cilindro, el caudal del fluido es quien establece la velocidad de desplazamiento del mismo, y La combinación de fuerza y recorrido produce trabajo. Cuando este trabajo es realizado en un determinado tiempo da como resultado la potencia.

---

<sup>1</sup> [www.tecnicaoleohidraulica.com/h\\_07\\_cilindros.htm](http://www.tecnicaoleohidraulica.com/h_07_cilindros.htm)

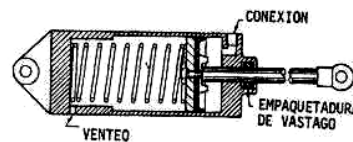


**Fig. 2.28** Cilindro Hidráulico.

### 2.6.3.1 Tipos de Cilindros Hidráulicos.

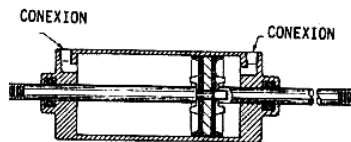
Básicamente, los cilindros hidráulicos se definen por su sistema de desplazamiento en:

- **Cilindros hidráulicos de Simple Efecto**, el movimiento de retorno del mismo se efectúa por un muelle o resorte, y en ocasiones por gravedad. (fig. 2.29)



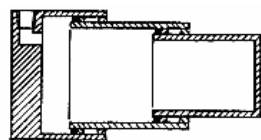
**Fig. 2.29** Cilindro de simple efecto con muelle.

- **Cilindros hidráulicos de doble Efecto**, se utiliza la presión Hidráulica para el movimiento en ambos sentidos. (fig. 2.30)



**Fig. 2.30** Cilindro de doble vástago.

- **Cilindros hidráulicos Telescópicos**, cilindro que contiene otros de menor diámetro en su interior y que se expanden por etapas. (Ver fig. 2.31)



**Fig. 2.31** Cilindro telescópico.

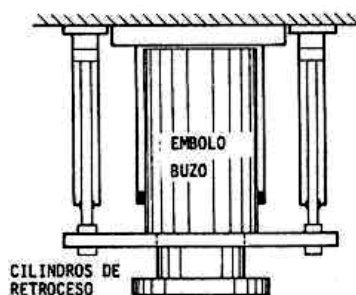


### 2.6.3.2 Selección de un Cilindro Hidráulico<sup>1</sup>

Es fundamental una buena selección del cilindro hidráulico, éste tiene que ser adecuado a su ubicación para un correcto funcionamiento de la instalación. Las características fundamentales para la elección son:

- Fuerza, donde se define la fuerza necesaria para el actuador. Es importante elegir cilindros hidráulicos sobredimensionados. Este sobre-dimensionamiento deberá ser calculado en función de la instalación, pero suele estar entre el 20% y el 100% de la fuerza a efectuar.
- Velocidad, dado que muchos cilindros forman parte de sistemas automatizados más complejos, y deben actuar a un ritmo calculado.
- Longitud de Carrera, los cilindros hidráulicos tienen limitaciones constructivas y de diseño, por esta razón deben elegirse de forma adecuada y calculada previamente a su instalación, o bien instalar limitadores y/o sistemas de control de carrera.

En el caso de las presas hidráulicas fundamentalmente son empleados los cilindros simple efecto de émbolo buzo, en los cuales el fluido desplaza al vástago que esta empaquetado por la guarnición existente en el cabezal delantero, retorna a su posición original por acción de la gravedad, resortes internos, externos, o cilindros adicionales (Fig. 2.32). Para el cálculo de fuerza, el área neta a tomarse en cuenta esta dada por el diámetro de vástago.



**Fig. 2.32** Cilindro hidráulico con émbolo buzo.

<sup>1</sup> [www.solomantenimiento.com/articulos/cilindros-hidraulicos.htm](http://www.solomantenimiento.com/articulos/cilindros-hidraulicos.htm)

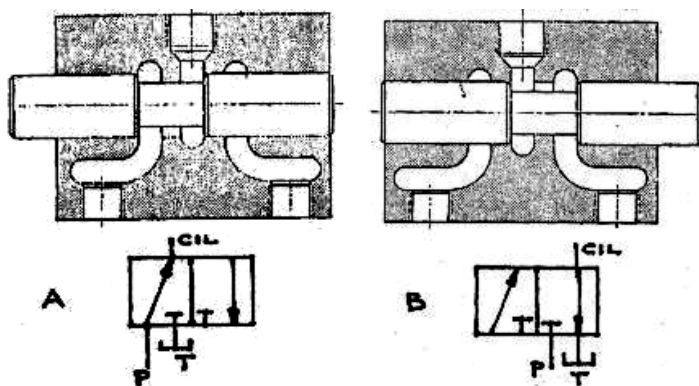
## 2.6.4 VÁLVULAS

Son elementos fundamentales en los circuitos hidráulicos, se encargan de controlar los flujos de aceite para dirigirlos hacia el lugar conveniente en cada momento, y su velocidad estándar para aplicaciones generales es de 4 m/seg.

Cada fabricante puede denominarlas de una manera distinta, pero básicamente las funciones son similares en casi todos los circuitos hidráulicos. Su tamaño puede ser el mismo que el diámetro de cañería, pero en condiciones especiales pueden utilizarse tamaños mayores o menores; las más elementales son: válvulas de dos, tres, y cuatro vías.

En el caso del cilindro de simple efecto, y el cilindro buzo o de émbolo buzo, el control del accionamiento se lo hace a través de una válvula de tres vías y dos posiciones. Como su nombre; lo indica, hay tres bocas de conexión o "puertas", la primera por donde entra la presión desde la bomba, la segunda que se comunica con el cilindro hidráulico y la tercera que es la conexión hacia el tanque o retorno.

En la figura 2.33 se muestra en corte una válvula de tres vías en las dos posiciones A y B, en una de esas posiciones la corredera o husillo permite comunicar la puerta de entrada de presión con la salida del cilindro, mientras bloquea el retorno al tanque, en la segunda posición, la corredera situada en el otro extremo bloquea ahora la entrada de presión y conecta el tanque con el cilindro<sup>1</sup>.



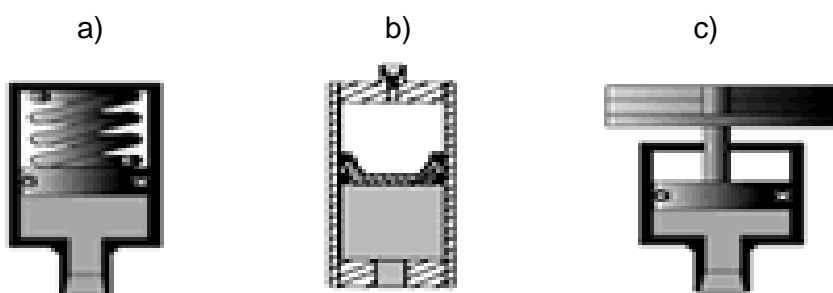
**Fig. 2.33** Válvula de Tres vías y Dos posiciones.

<sup>1</sup> [www.elprisma.com/apuntes/ingenieria\\_mecanica/valvulashidraulicas/](http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_mecanica/valvulashidraulicas/)

### 2.6.5 ACUMULADORES HIDRÁULICOS<sup>1</sup>

Los fluidos usados en los sistemas hidráulicos no pueden ser comprimidos como los gases y almacenarse para ser usados en diferentes lugares o a tiempos distintos. Un acumulador consiste en un depósito destinado a almacenar una cantidad de fluido incomprensible y conservarlo a una cierta presión mediante una fuerza externa.

El fluido hidráulico bajo presión entra en las cámaras del acumulador y hace una de estas tres funciones (ver fig. 2.34): a) comprime un resorte, b) comprime un gas, c) levanta un peso; posteriormente cualquier caída de presión en el sistema provoca que el elemento reaccione y fuerce el líquido hacia fuera otra vez.



**Fig. 2.34** Acumuladores: a) de muelle, b) de gas, c) de contrapeso

Los acumuladores son conocidos también como depósitos hidráulicos y se pueden aplicar en los cilindros hidráulicos como:

- Acumulador de Energía.
- Anti-golpe de ariete.
- Anti-pulsaciones.
- Compensador de fugas.
- Fuerza auxiliar de emergencia.
- Amortiguador de vibraciones.
- Transmisor de energía de un fluido a otro.

<sup>1</sup> MANUAL DE MECÁNICA INDUSTRIAL; Tomo II; Neumática e Hidráulica; Editorial Cultura S.A.; Madrid; España.

### 2.6.6 FILTROS HIDRÁULICOS

La mayoría de las bombas utilizan para su protección un filtro destinado a retener partículas sólidas en la aspiración, el propósito es prolongar la vida útil de los componentes hidráulicos, y también evitar paradas en el circuito producidas por la acumulación de impurezas en las estrechas holguras y orificios de las válvulas.

Van generalmente en derivación con el circuito principal y suele pasar por ellos una parte de la presión de retorno, circunstancia por la cual, su eficacia en el circuito es limitada. No suelen colocarse en las líneas de presión porque necesitarían ser muy reforzados para aguantar tan altas presiones y serían antieconómicos. En las líneas de aspiración de las bombas podrían dar lugar a restricciones que producirían cavitación acortando así drásticamente la vida útil de las mismas.

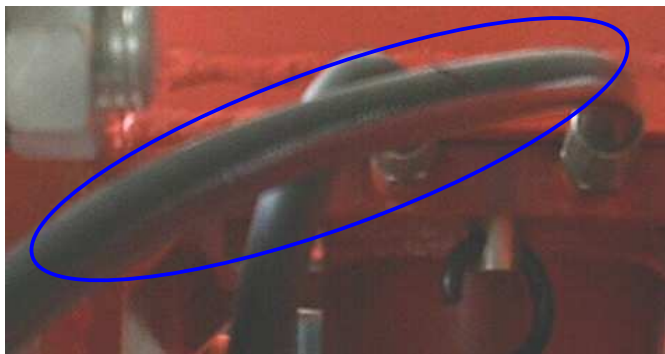
Uno de los más usados y más económicos es el filtro en línea de la figura 2.35 que también lleva incluida una válvula de retención, su desventaja consiste en que hay que desmontar la tubería para su mantenimiento.



**Fig. 2.35** Filtro en Línea.

### 2.6.7 TUBERÍAS

Pueden ser metálicas con tubos rígidos conformados a la medida o bien mangueras de goma (Fig. 2.36) con una o varias capas de alambres de acero trenzado en su interior, dependiendo de la presión para la cual estén diseñados.



**Fig. 2.36** Manguera de goma.

Es necesario dimensionar las tuberías de acuerdo al caudal que circulará por ellas, una tubería de diámetro reducido provocará elevadas velocidades de circulación y como consecuencia pérdidas elevadas de presión por fricción sobrecalentamiento del aceite; por el contrario una tubería de gran diámetro resulta costosa y difícil de instalar. Cuando la tubería presenta problemas son detectados por el ruido que produce la circulación del fluido por los conductos.

## 2.7 PRESIÓN

La presión es la relación entre una fuerza (F) que actúa sobre una determinada superficie (A), y se mide en unidades de fuerzas por unidades de área. Esta carga se puede aplicar a un punto de la superficie o distribuirse sobre ella, y cada vez que esta es ejercida se produce una flexión, y un cambio de volumen o dimensión. Su cálculo se lo realiza mediante la ecuación 2.17

$$p = \frac{F}{A}$$

**Ecuación 2.17**

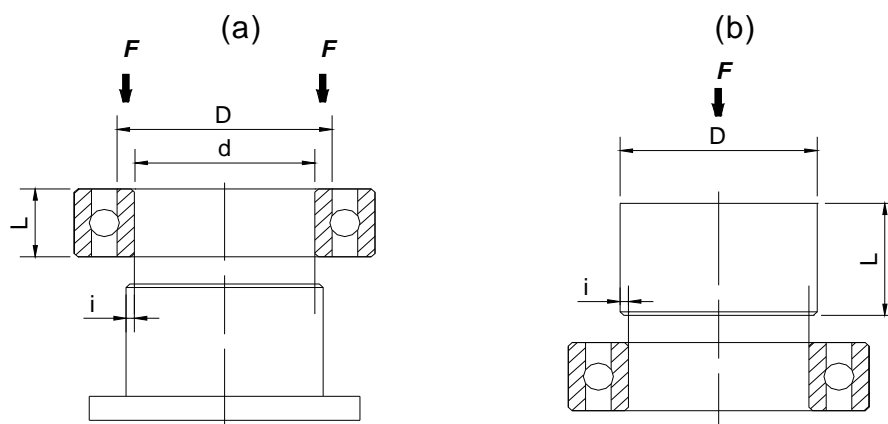
Su unidad es el pascal Pa, presión que corresponde a la fuerza de 1 newton actuando uniformemente sobre una superficie de  $1\text{m}^2$ , pero existen otras unidades de presión como muestra la tabla 2.4.

**Tabla 2.4** Relación entre las unidades de presión.

| Unidades                  | Pascal<br>N/m <sup>2</sup> | Bar.                     | Kg f/m <sup>2</sup>      | At técnicas<br>kg/cm <sup>2</sup> | Torr mm<br>de HG         | Atm físicas<br>(760 Torr) | Psi                     | Pulg. De<br>Hg          |
|---------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------|
| <b>Pascal</b>             | 1                          | 0,00001                  | 0,10197162               | 1,0197162/10 <sup>5</sup>         | 7,500615/10 <sup>3</sup> | 9,8692312/10 <sup>6</sup> | 1,45037/10 <sup>4</sup> | 2,95299/10 <sup>4</sup> |
| <b>Bar</b>                | 100000                     | 1                        | 10197,162                | 1,0197162                         | 750,065153               | 0.98692312                | 14,503771               | 29,53                   |
| <b>Kgf/m<sup>2</sup></b>  | 9,80665                    | 9,80665/10 <sup>5</sup>  | 1                        | 0.0001                            | 0,07355591               | 9,678409/10 <sup>5</sup>  | 142233,408              | 0.0228959               |
| <b>At</b>                 | 98066,5                    | 0.980665                 | 10000                    | 1                                 | 735.55913                | 0,96784097                | 14,2233408              | 28,959                  |
| <b>Torr</b>               | 133.32233                  | 1,333223/10 <sup>3</sup> | 13,5951                  | 1,3595/10 <sup>3</sup>            | 1                        | 1,315789/10 <sup>3</sup>  | 0,01933677              | 0,03937                 |
| <b>Atm</b>                | 101325,014                 | 1,01325014               | 10332,276                | 1,0332276                         | 760                      | 1                         | 14,6959489              | 29,92126                |
| <b>Lb/plg<sup>2</sup></b> | 6894,757                   | 0,06894757               | 7,030697/10 <sup>6</sup> | 0,07030697                        | 51,714934                | 0,0680459                 | 1                       | 2.036.009               |
| <b>Pul. Hg</b>            | 3386,4                     | 0,033864                 | 345,316                  | 0.0345316                         | 25,4                     | 0,0334211                 | 0,491157                | 1                       |

### 2.7.1 FUERZA PARA EL MONTAJE DEL RODAMIENTO

Es la fuerza necesaria que debe proporcionar el embolo para la realización de cualquier tipo de trabajo, en el caso del presente proyecto, es la carga que se requiere para el montaje de piezas con forma anular como son los rodamientos rígidos de bolas, que estén sujetos a un ajuste con interferencia localizado en el aro interior. (Ver fig. 2.37)



**Fig. 2.37** Ensamble con ajuste: a) rodamiento-eje, b) eje-rodamiento

Cuando el trabajo sea en frío, el valor de la interferencia entre las piezas a ensamblar puede estar entre 1 y 6 milésimas de pulgada. Para calcular el valor de dicha fuerza, en el caso (a) de la figura anterior se empleará la ecuación 2.18, y en el (b) la ecuación 2.19.

$$F = \frac{(D-d) * \pi * L * i * Pf}{2} \quad \text{Ecuación 2.18}$$

$$F = \frac{D * \pi * L * i * Pf}{2} \quad \text{Ecuación 2.19}$$

Donde:

**i**= Valor de la interferencia entre las dos piezas (pulgadas)

**Pf**= Factor de fuerza en función del diámetro D (ver tabla 2.5)

**L**= Longitud con interferencia.

**Tabla 2.5** Factor de fuerza.

| Diámetr.<br>mm | Diámetr.<br>Pulg | Factor<br>de<br>fuerza | Diámetr.<br>mm | Diámetr.<br>Pulg | Factor<br>de<br>fuerza | Diámetr.<br>mm | Diámetr.<br>Pulg | Factor<br>de<br>fuerza |
|----------------|------------------|------------------------|----------------|------------------|------------------------|----------------|------------------|------------------------|
| 6,35           | 1/4              | 2002                   | 76,20          | 3                | 156                    | 146,05         | 5¾               | 78                     |
| 12,70          | 1/2              | 1001                   | 82,55          | 3¼               | 143                    | 152,40         | 6                | 75                     |
| 19,05          | 3/4              | 667                    | 88,90          | 3½               | 132                    | 158,75         | 6¼               | 72                     |
| 25,40          | 1                | 500                    | 95,25          | 3¾               | 123                    | 165,10         | 6½               | 69                     |
| 31,75          | 1¼               | 395                    | 101,60         | 4                | 115                    | 171,45         | 6¾               | 66                     |
| 38,10          | 1½               | 325                    | 107,95         | 4¼               | 108                    | 177,80         | 7                | 64                     |
| 44,45          | 1¾               | 276                    | 114,30         | 4½               | 101                    | 184,15         | 7¼               | 61                     |
| 50,80          | 2                | 240                    | 120,65         | 4¾               | 96                     | 190,50         | 7½               | 59                     |
| 57,15          | 2¼               | 212                    | 127,00         | 5                | 91                     | 196,85         | 7¾               | 57                     |
| 63,50          | 2½               | 189                    | 133,35         | 5¼               | 86                     | 203,20         | 8                | 55                     |
| 69,85          | 2¾               | 171                    | 139,70         | 5½               | 82                     |                |                  |                        |

En el caso de los diámetros que no consten dentro de la tabla anterior, se recomienda hacer un aproximado del factor usando para esto la ecuación 2.19. Siempre emplee para este cálculo los datos en pulgadas del diámetro inmediato superior que figuran en la tabla.

$$P_f \approx \frac{\phi_{sup.} * P_{f.sup.}}{D} \quad \text{Ecuación 2.19}$$

## CAPÍTULO III

### DIMENSIONAMIENTO

El dimensionamiento abarca: Selección del tipo de sistema hidráulico, esquema de la estructura metálica de la máquina, determinación de fuerzas y reacciones de los elementos que la componen, análisis estructural de los elementos, esquema de los aditamentos para las operaciones de montaje y desmontaje, hojas de procesos, y planos de construcción.

#### 3.1 SELECCIÓN DEL TIPO DE SISTEMA HIDRÁULICO

La selección es realizada apoyándose en los parámetros de funcionamiento a los que va estar sujeto dicho sistema en condiciones normales de trabajo, así como también en el costo de adquisición, y el mantenimiento; partiendo desde:

- **Fuente de energía**, de accionamiento manual.
- **Instalación**, el sistema irá colocado externamente tanto el cilindro como la bomba, y el émbolo debe trabajar en posición vertical hacia abajo.
- **Tipo de bomba**, al ser el sistema de accionamiento manual, dentro del grupo analizado en 2.6.2-b es la bomba de pistón la opción más adecuada, ya que se operan manualmente, soporta elevadas presiones de trabajo, su rendimiento volumétrico es de 95 a 98 %, y son de fácil mantenimiento.
- **Tipo de cilindro**, la prensa ejecuta las operaciones de montaje y desmontaje solo en la carrera de salida del pistón, por esta razón, según lo indicado en 2.6.3.1 lo más recomendable es emplear un cilindro de simple efecto con émbolo buzo. En cuanto a la fuerza de trabajo requerida, se realiza el cálculo para tres rodamientos, con diámetros interiores y valores de interferencia diferentes, mediante la ecuación 2.18 (ver Anexo A3.11); el promedio total de los resultados más altos es de 6.2 Tm, pero con el fin de darle una mayor



seguridad a la máquina, la fuerza es sobredimensionada en un 100% dando como resultado una carga de 12 toneladas.

- **Montaje**, con el objetivo de facilitar el montaje del sistema hidráulico en la estructura metálica, este se ha de ensamblar mediante pernos.
- **Seguridad de operación**, el sistema debe brindar el más alto índice de seguridad para el operador, siguiendo una regla básica “LA SEGURIDAD esta por encima de la CALIDAD y calida antes que la PRODUCCIÓN”.
- **Costo**, al ser un costo directo, su monto no debe ser muy elevado puesto que ello aumentará el valor final de la máquina notablemente.

En base a lo anterior, a continuación se presentan dos alternativas que cumplen con estos requerimientos.

### 3.1.1 ALTERNATIVA N° 1: CONJUNTO BOMBA Y CILINDRO

El conjunto se compone de: una bomba hidráulica de velocidad constante y acción simple, con un depósito de 400 cm<sup>3</sup>, proporciona una presión de trabajo de 700 bares, y esta dotada de un sistema de protección integrado con una “válvula de alivio” para impedir la sobre-presión; transmite el fluido por una tubería flexible, hasta un cilindro de acción simple con capacidad de 10 tn, carrera de 155 mm, un émbolo de 50 mm de diámetro, retroceso por resorte y que opera en cualquier posición. (Ver fig. 3.1)



### **Fig. 3.1 Sistema Bomba-Cilindro**

#### **3.1.1.1 Ventajas**

- Estos sistemas son Idóneos para aplicaciones donde hay muy poco recorrido libre.
- Son de fácil acoplamiento, así como sencillos para transportar.
- Su estructura es completamente metálica, excepto la tubería, lo que evita quemaduras en entornos de soldadura.
- Ideal para pequeños trabajos de elevación y prensado.

#### **3.1.1.2 Desventajas**

- El costo total la fecha haciende a \$ 700 lo que dificulta su adquisición.
- Su mantenimiento es complicado, y costoso.

#### **3.1.2 ALTERNATIVA N° 2: GATO HIDRÁULICO TIPO BOTELLA**

Es un sistema compacto compuesto de un depósito en forma de botella que se posiciona sobre una base. El depósito esta dividido en dos cámaras, la primera se encarga de contener el fluido, y la segunda es un cilindro de émbolo buzo, este es accionado mediante una pequeña bomba de pistón situada en la base, la cual contiene en su interior un sistema de cañerías por donde se desplaza el aceite. El pistón posee una capacidad de 12 toneladas, carrera de 150 mm, un diámetro de 45 mm, y opera en posición vertical y horizontal. (Ver fig. 3.2)



**Fig. 3.2 Gato hidráulico tipo botella**

### 3.1.2.1 Ventajas

- Su tamaño los hace muy sencillos de transportar de un lugar a otro.
- Cuenta con un tornillo de extensión de 80 mm, dando una carrera útil de 230 mm en total.
- Posee una válvula de seguridad en la base para evitar problemas de sobrepresión.
- Al ser un sistema compacto evita fugas de aceite mejorando su eficiencia.
- Son de manejo simple, seguro, y de fácil mantenimiento.
- Puede ser empleado en trabajos de elevación, o prensado.
- El costo a la fecha es de \$ 84.

### 3.1.2.2 Desventajas

- El sistema no funciona en posición vertical con el émbolo hacia abajo, por lo cual es necesario instalar un acumulador en la parte superior.
- Necesita de resortes externos para el retroceso del émbolo.
- Debido a que la cañería esta en el interior de la base, resulta un poco complicado colocar un manómetro, puesto que los re-trabajos pueden dejar limaduras en el interior afectando gravemente su funcionamiento.

### 3.1.3 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA

En vista que las dos muestran características muy parecidas, y que cumplen con casi todos los parámetros establecidos para el desarrollo funcional del presente proyecto, se opta por tomar la opción N° 2 GATO HIDRÁULICO TIPO BOTELLA, por presentar una diferencia en cuanto al costo de \$ 616 en comparación con la alternativa N° 1 ayudando de esta forma a mejorar la rentabilidad del proyecto, y además porque este sistema requiere de un menor espacio físico en la estructura metálica.

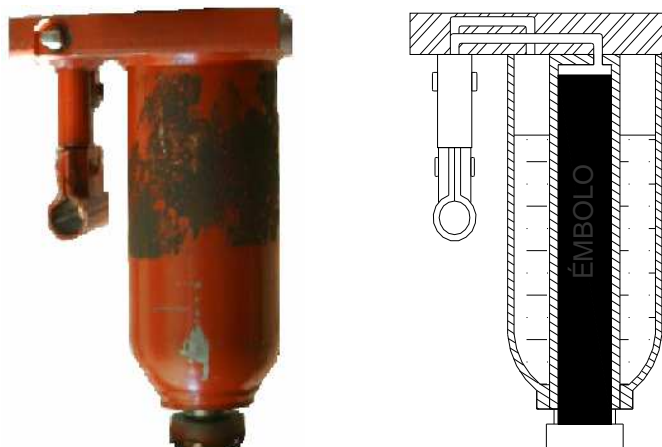
Antes es necesario realizar algunos ajustes en el gato hidráulico que den paso a eliminar las desventajas que presenta.

### 3.1.4 ADECUACIONES DEL GATO HIDRÁULICO

Debido a que esta clase de sistemas no puede operar en posición vertical con el émbolo hacia abajo, y que de igual forma demanda de un medidor hidráulico o manómetro que permita controlar la presión de trabajo mientras se retira o instala el rodamiento; ha hecho necesario efectuar dos adecuaciones con el fin de resolver estos inconvenientes, las mismas que se detallan a continuación.

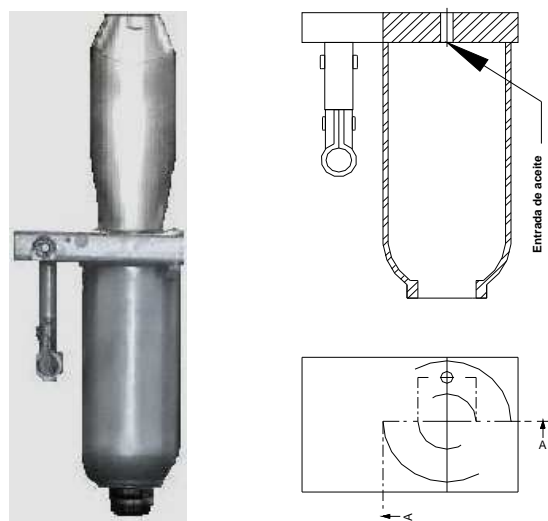
#### 3.1.4.1 Ajuste de Posición

Cuando el gato hidráulico es colocado verticalmente hacia abajo, el aceite contenido en la cámara exterior del depósito desciende hasta un nivel en el que la bomba no puede succionarlo, como se muestra en la figura 3.3



**Fig. 3.3 Gato hidráulico invertido**

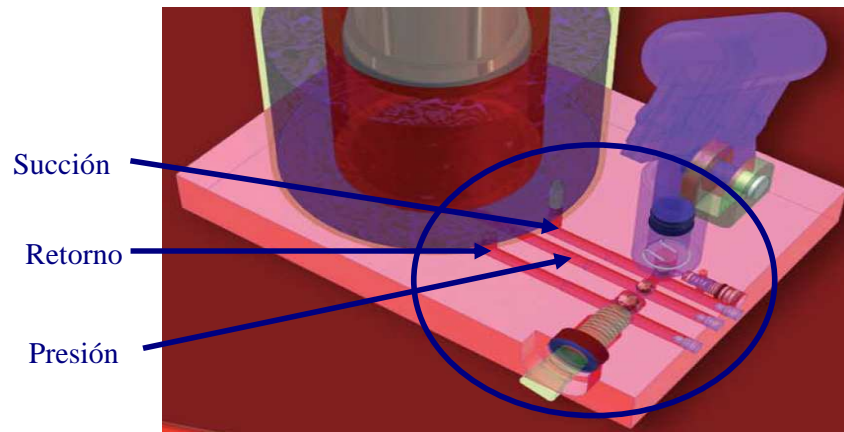
Por esta razón se instala un acumulador con capacidad de  $400 \text{ cm}^3$  sobre la base, el cual está conectado directamente con el tanque donde se encuentra el fluido mediante un adaptador NPT de  $1/8''$ , con el fin de mantener la cantidad de aceite a tal nivel que la bomba pueda succionar y de esta manera hacer que el émbolo trabaje normalmente. (Ver fig. 3.4)



**Fig. 3.4 Gato hidráulico y acumulador**

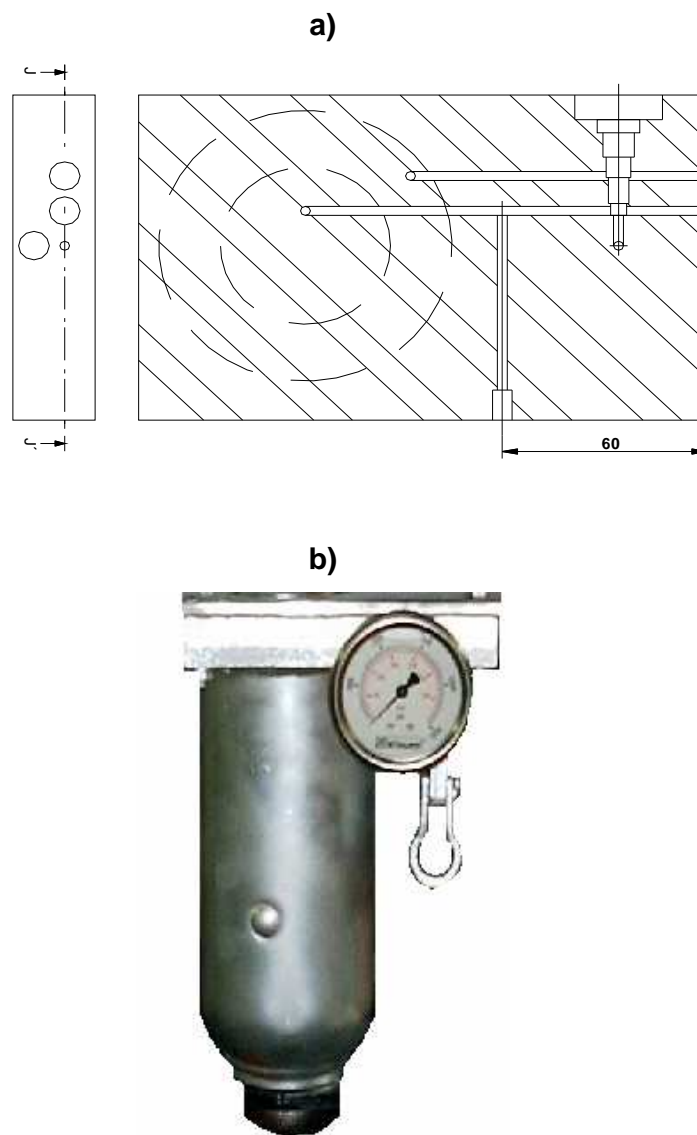
#### 3.1.4.2 Instalación del Manómetro

El sistema de cañerías del gato hidráulico se compone de tres canales (ver fig. 3.5): el de alimentación o succión, de retorno o descarga, y el canal de presión. Este último es el conducto a través del cual la bomba envía el fluido presurizado hasta el cilindro para que trabaje el pistón, y es en cualquier punto del trayecto de este en donde se puede colocar el medidor hidráulico aprovechando que “la presión es la misma en cualquier punto”.



**Fig. 3.5** Sistema de cañerías

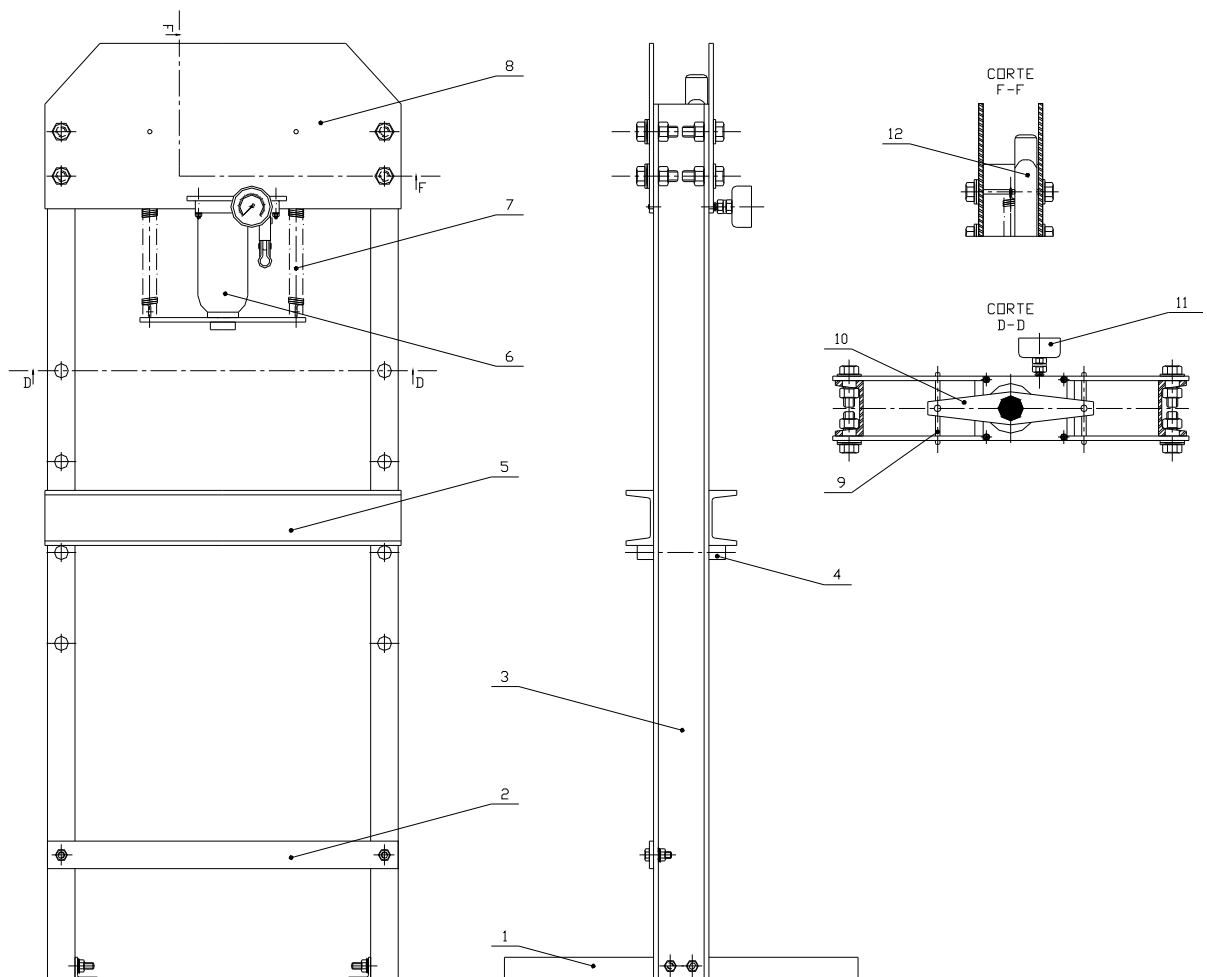
Tanto el canal de presión como el de retorno se encuentran a la misma altura, y debido al desconocimiento de la longitud de cada uno de los ellos se opta por realizar una perforación de diámetro 1/4" entre la bomba y el cilindro, en la cara de la base opuesta a la llave de descarga con el propósito de no perforar el canal de retorno; hasta llegar al conducto de presión, para luego agrandar el extremo saliente de la perforación hecha hasta un diámetro de 8.75 mm (ver fig. 3.6-a), y poder acoplar un adaptador NPT de 1/8" en el cual se introduce el manómetro (ver fig. 3.6-b).



**Fig. 3.6** Instalación: a) Base, y b) manómetro instalado

### 3.2 ESQUEMA GENERAL DE LA PRENSA HIDRÁULICA

La figura 3.7 muestra el esquema general de la máquina a construir.

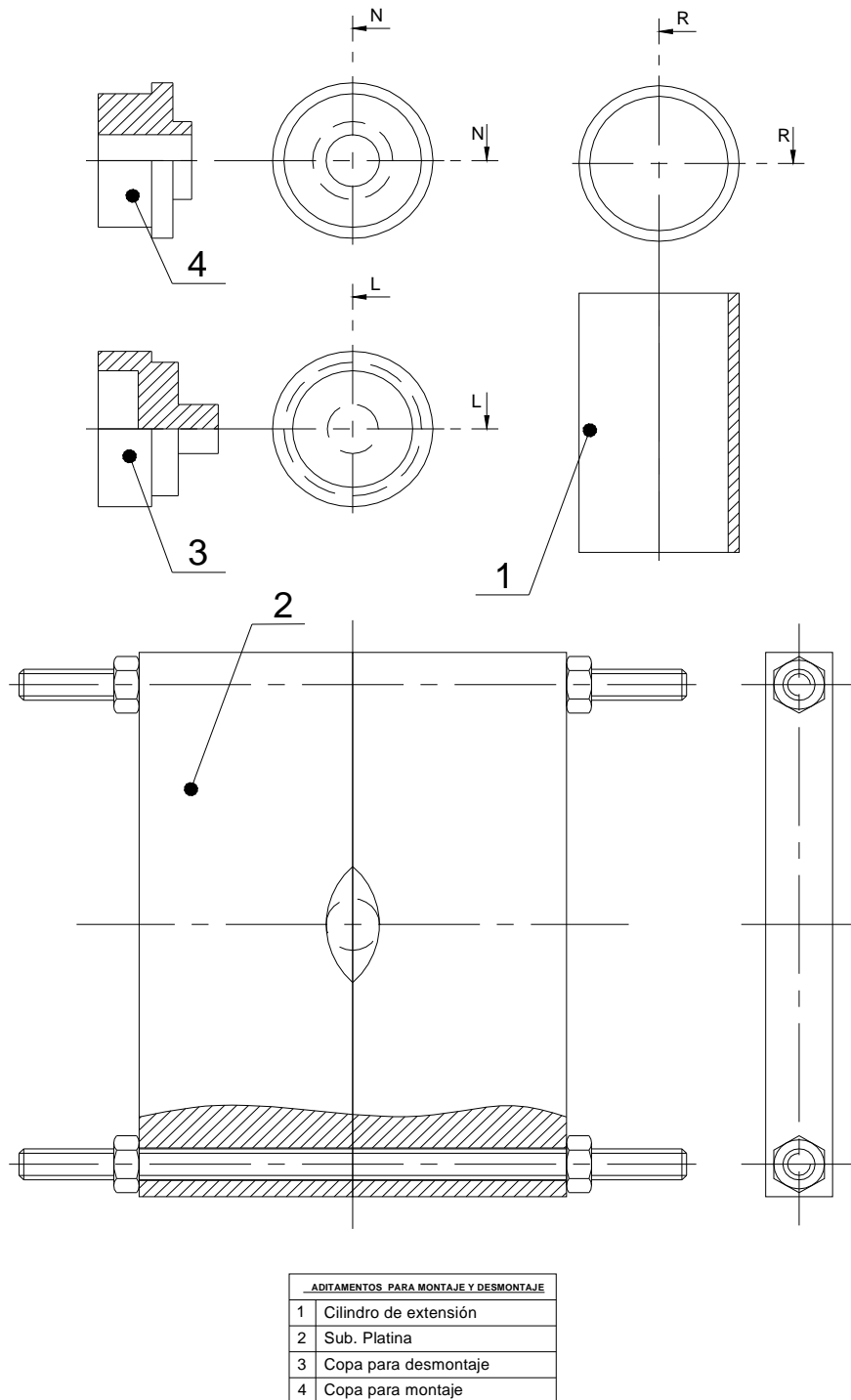


| ELEMENTOS QUE CONFORMAN LA MÁQUINA |                  |    |                    |
|------------------------------------|------------------|----|--------------------|
| 1                                  | Base de apoyo    | 7  | Resorte de retorno |
| 2                                  | Expansor         | 8  | Tapa superior      |
| 3                                  | Columna          | 9  | Pasador-resorte    |
| 4                                  | Pasador de apoyo | 10 | Placa de retorno   |
| 5                                  | Mesa de prensado | 11 | Manómetro          |
| 6                                  | Gato hidráulico  | 12 | Acumulador         |

**Fig. 3.7** Elementos y partes de la prensa hidráulica



La figura 3.8 indica los aditamentos para las operaciones de montaje y desmontaje de rodamientos.



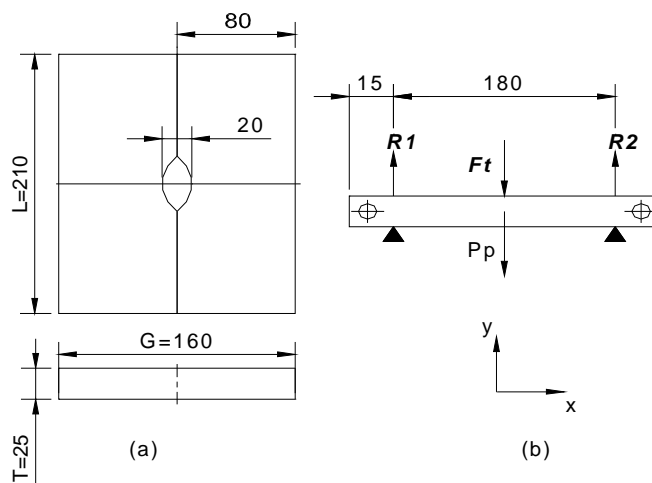
**Fig. 3.8** Aditamentos de la prensa hidráulica manual

### 3.2.1 DETERMINACIÓN DE FUERZAS Y REACCIONES

En la prensa la carga principal se genera desde el gato hidráulico, ésta es transferida hacia la platina de montaje y desmontaje la cual esta apoyada sobre la mesa de prensado y esta su vez sobre las columnas a cual traslada la carga por medio de los pasadores que la sostienen; además la fuerza de trabajo del pistón genera una reacción que debe ser soportada por las tapas superiores que van sujetas a las columnas a través de pernos, formado este conjunto de cargas y reacciones un sistema de fuerzas y equilibrio

#### 3.2.1.1 Cargas en la Platina de Montaje y Desmontaje

El cuerpo en el cual se va trabaja es posicionado sobre la platina que a su vez está colocada sobre la mesa de prensado, en donde por la acción de una fuerza proporcionada por el pistón del gato hidráulico se realiza la operación de montaje o desmontaje del rodamiento, generándose reacciones en los apoyos que sostienen la platina como se muestra en el diagrama de cuerpo libre de la figura 3.9.



**Fig. 3.9** Platina: a) dimensiones, b) diagrama de cuerpo libre

Donde:  $F_t$  = Fuerza de trabajo del pistón.

$R_1$  y  $R_2$  = Reacciones de los apoyos que sostienen la platina.

$P_p$  = Peso de la platina.

### 3.2.1.1.1 *Diseño de la platina*

El peso de la platina es un dato necesario para llevar acabo el cálculo, establecer su valor requiere de la configuración geométrica del cuerpo junto con sus dimensiones para lo cual se hace referencia a la figura 3.9-a. Considerando que el acero tiene una  $\rho = 7850 \text{ Kg/m}^3$  y utilizando la ecuación para planchas de la tabla A3.10, se encuentra que el peso es:

$$P_p = 7.85 * 0.21 * 0.16 * 25$$

$$P_p = 6.59 \text{ Kg}$$

Se toma la carga máxima que proporciona el gato hidráulico como la fuerza de trabajo del pistón, es decir:

$$F_t = 12000 \text{ kg}$$

Remplazando los datos del peso y de la fuerza de trabajo en la ecuación 2 de la tabla A3.1, se determina el valor del cortante máximo que en este caso se origina en los apoyos.

$$R_1 = R_2 = \frac{12000 + 6.59}{2}$$

$$R_2 = 6003.3 \text{ kg}$$

Además, la  $F_t$  y el  $P_p$  producen un momento flector sobre el cuerpo, el mismo que es calculado en base la ecuación 2 de la tabla A3.3, ya que el diagrama de cuerpo libre de la platina coincide con el gráfico de dicha tabla, por lo tanto:

$$M_{\text{máx}} = \frac{(12000 + 6.59) * 18}{4}$$

$$M_{\text{máx}} = 54029.66 \text{ Kg.cm}$$

A continuación se lleva a cabo el cómputo del momento resistente que se lo realiza aplicando la ecuación 7-a de la tabla A3.5, debido a que la fuerza de trabajo que actúa sobre la platina es perpendicular al eje x, obteniendo:

$$W_{xx'} = \frac{16 * (2.5)^2}{6}$$

$$W_{xx'} = 16.67 \text{ cm}^3$$

Una vez calculado el  $M_{\text{máx}}$ , el  $W_{xx'}$ , y teniendo en cuenta que se elige un acero SAE 1045 (ver anexo A5.2) cuyo  $S_y = 3500 \text{ Kg/cm}^2$ , se determina el valor de la tensión de trabajo haciendo uso de la ecuación 2.1:

$$\sigma_t = \frac{54029.66}{16.67}$$

$$\sigma_t = 3241.13 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\therefore 3241.13 \text{ Kg/cm}^2 \leq 3500 \text{ Kg/cm}^2$$

La deformación o flecha se la obtiene mediante la ecuación 2.2, y según la tabla 2.1 no debe exceder de  $L/250$  es decir 0.84mm, entonces:

$$f \cong 0.8 * \left( \frac{32.4113 * (0.21)^2}{25} \right)$$

$$f \cong 0.05 \text{ mm} < 0.84 \text{ mm (flecha aceptable)}$$

Por último el coeficiente de seguridad se calcula empleando la ecuación 2.8:

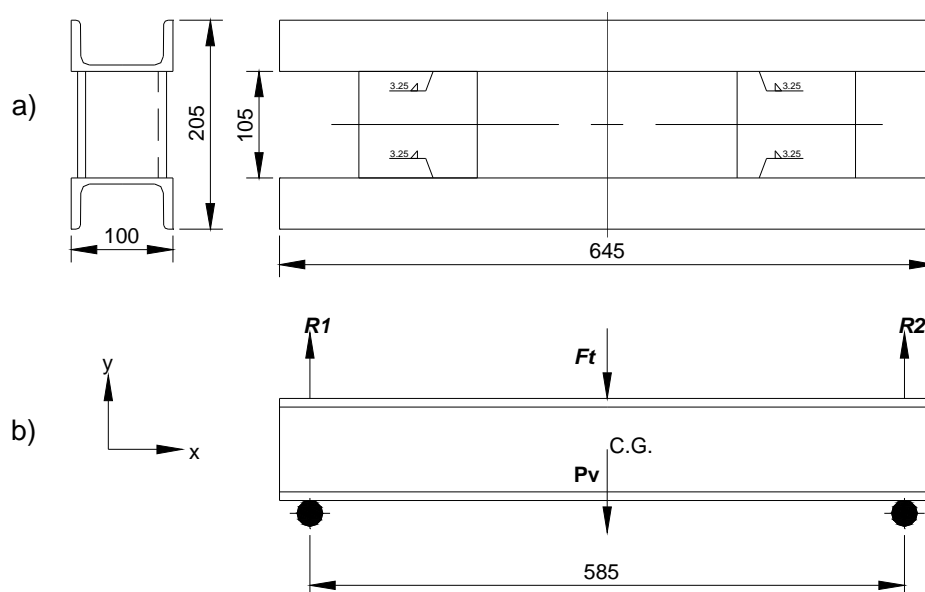
$$n = \frac{S_y}{\sigma_t} = \frac{3500}{3241.13}$$

$$n = 1.1$$

Este factor es debido a que se emplea como fuerza de trabajo la capacidad máxima que tiene el gato hidráulico, la misma que fue sobredimensionada en un 100% de la requerida para instalar o retirar los rodamientos

### 3.2.1.2 Cargas en la Mesa de Prensado

Se compone de dos perfiles UPN-10 que están unidos a través de dos placas de acero, como se observa en la figura 3.10. Cada viga es uno de los apoyos que se encarga de sostener la platina anteriormente mencionada, están soportadas sobre dos pasadores, y generan el sistema de fuerzas representado en el diagrama de cuerpo libre de la figura 3.10-b.



**Fig. 3.10** Mesa de prensado: a) dimensiones, b) diagrama de cuerpo libre.

Donde:  $F_t$  = Fuerza de trabajo que provoca la platina.

$R_1$  y  $R_2$  = Reacciones de los pasadores.

$P_v$  = Peso de la viga.

#### 3.2.1.2.1 Diseño de la Viga

El diagrama de cuerpo libre representado en la figura 3.10-b muestra claramente que la viga es un elemento que está sometido a flexión, por esta razón los pasos para realizar el cálculo son similares al caso anterior cuando se analizaba el comportamiento de la platina.

El peso por cada metro de perfil UPN-10 según la tabla A3.6 es de 10.6 Kg/m, por lo tanto:

$$1\text{m} \text{-----} 10.6\text{Kg}$$

$$0.645\text{m} \text{---} \text{---} \text{---} P_v$$

$$P_v = \frac{0.645 * 10.6}{1} = 6.84 \text{ Kg}$$

La fuerza de trabajo al que está sometida la viga es en valor igual una de las reacciones que se dan sobre la platina, pues como ya explicó cada de ellas es uno de los apoyos, entonces:

$$F_t = 6003.3 \text{ Kg}$$

El cortante máximo se determina mediante la ecuación 2 de la tabla A3.1:

$$R_1 = R_2 = \frac{6003.3 + 6.84}{2}$$

$$R_2 = 3005.07 \text{ kg}$$

Se prosigue con el cálculo del momento flector a través del uso de la ecuación 7-a de la tabla A3.5:

$$M_{\text{máx}} = \frac{(6003.3 + 6.84) * 58.5}{4}$$

$$M_{\text{máx}} = 87898.3 \text{ Kg.cm}$$

El cómputo de momento resistente se lo hace en función al literal 4 del 2.3.1.1, para lo cual se elige un acero A-42 (ver anexo A5.4) con un  $S_y = 2600 \text{ Kg/cm}^2$

$$W_{xx'} = \frac{M_{\text{máx}}}{S_y} = \frac{87898.3}{2600}$$

$$W_{xx'} = 33.81 \text{ cm}^3$$

$$\therefore W_{xx'} = 41.2 \text{ cm}^3 \text{ (según A3.6, UPN-10)}$$

Remplazando  $M_{\text{máx}}$  y  $W_{xx'}$  en la ecuación 2.1, se define el la tensión de trabajo que experimenta el cuerpo bajo la acción de la carga, de donde:

$$\sigma_t = \frac{87898.3}{41.2}$$

$$\sigma_t = 2133.45 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\therefore 2133.45 \text{ Kg/cm}^2 \leq 2600 \text{ Kg/cm}^2$$

La deformación que sufre la viga se la obtiene mediante la ecuación 2.2, la tabla 2.1 advierte que no debe exceder de  $L/250$  es decir 2.58 mm, entonces:

$$f \cong 0.8 * \left( \frac{21.3345 * (0.645)^2}{8} \right)$$

$$f \cong 0.89 \text{ mm} < 2.58 \text{ mm (flecha aceptable)}$$

De igual forma, utilizando la ecuación 2.8 se determina el factor de seguridad que vale:

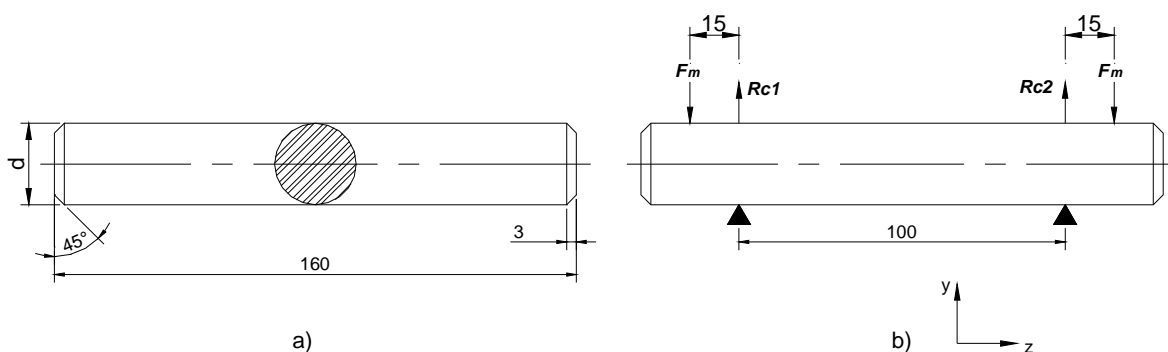
$$n = \frac{S_y}{\sigma_t} = \frac{2600}{2133.45}$$

$$n = 1.2$$

Este valor obtenido garantiza la seguridad de la viga ante la acción de la máxima carga que puede producir el gato hidráulico, con el fin de que no se produzca ninguna deformación permanente en el elemento. Por lo tanto el perfil UPN-10 de acero A-42 es aceptable.

### 3.2.1.3 Cargas en el Pasador

Son dispositivos que se introducen en las caras laterales de las columnas con el fin de sostener a la mesa de prensado, esto origina un sistema de fuerzas y reacciones sobre el cuerpo, las mismas que se muestra en la figura 3.11-b.



**Fig. 3.11 Pasador: a) dimensiones, b) diagrama de cuerpo libre.**

Donde:  $F_m$  = Fuerza de la mesa sobre el pasador

$R_{c1} = R_{c2}$  = Reacciones de la columna

#### 3.2.1.3.1 Diseño del Pasador

El diseño se basará en considerar al pasador como una viga simplemente apoyada con dos cargas puntuales, cuyo peso no es tomado en cuenta por ser menor a 1 Kg; un factor de seguridad de 1.5, y como material un acero SAE 1045 cuyas características se aprecian en el anexo A5.3.

$$S_y = 3700 \text{ Kg/cm}^2$$

El cortante máximo según la tabla A3.2-ecuación 16, dice:

$$R_{c1} = R_{c2} = F_m = 3005.07 \text{ Kg}$$



El momento flector máximo se lo calcula empleando la ecuación 16 de la tabla A3.4, obteniendo:

$$M_f = F_m * L_1$$

$$M_f = 3005.07 * 1.5$$

$$M_f = 4507.6 \text{ Kg.cm}$$

Conociendo el  $S_y$  del material a usar y el factor de seguridad, la tensión de trabajo recomendada es:

$$\sigma_t = \frac{S_y}{N} = \frac{3700}{1.3}$$

$$\sigma_t = 2846.2 \text{ Kg/cm}^2$$

A fin de conocer el diámetro del pasador, se reemplaza el momento resistente de un eje  $W_{xx'} = \frac{\pi * d^3}{32}$  en la ecuación 2.1, resulta:

$$\sigma_t = \frac{M_{\text{máx}}}{W_{xx'}} = \frac{M_{\text{máx}}}{\pi * d^3 / 32}$$

Despejando el diámetro, se tiene:

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_{\text{máx}} * 32}{\pi * \sigma_t}} = \sqrt[3]{\frac{4507.6 * 32}{\pi * 2846.2}}$$

$$d = 2.5 \text{ cm}$$

Por último se calcula la flecha aplicando la ecuación 14 de la tabla A3.8, la cual según la tabla 2.1 no debe exceder de  $130/250 = 0.52 \text{ mm}$ , entonces:

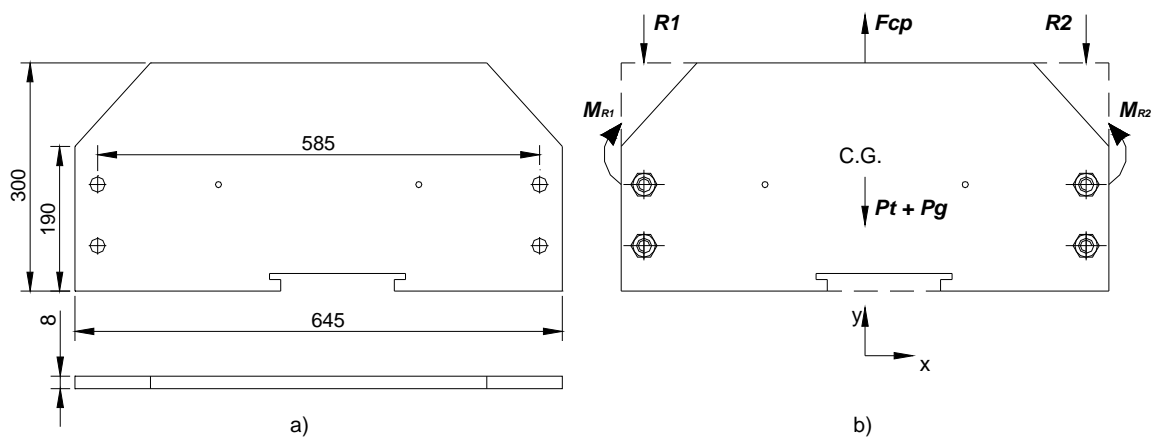
$$f = \frac{F_m * L^2 * L_1}{8 * E * I} = \frac{3005.07 * 10^2 * 1.5}{8 * 2100000 * \left(\frac{\pi * 2.5^4}{64}\right)}$$

$$f = 0.014 \text{ cm} = 0.14 \text{ mm (aceptable)}$$

### 3.2.1.4 Cargas en la Tapa Superior

Son dos placas que conforman la parte superior de la prensa y están representadas en la figura 3.11, van sujetas a las columnas mediante pernos, se encargan de sostener el sistema hidráulico, y por consiguiente son las que soportan la reacción que se genera cuando el pistón ejerce su trabajo.

El sistema de fuerzas que se produce en este cuerpo se muestra en el diagrama de cuerpo libre de la figura 3.12-b



**Fig. 3.11** Tapa superior: a) dimensiones, b) diagrama de cuerpo libre

Donde:  $Fcp$  = Fuerza contra pistón.

$R1$  y  $R2$  = Reacciones de los pernos.

$Pt+Pg$  = Peso de la tapa, más el peso del gato hidráulico.

#### 3.2.1.4.1 Diseño de la Tapa Superior

Con el propósito de facilitar el cálculo, se considera a la tapa como una viga de forma rectangular empotrada en sus extremos y con una carga intermedia.

El peso total que soporta es la sumatoria de: su propio peso, más la mitad del peso del gato ya que éste se sostiene de las dos placas. En el primer caso se

requiere de la configuración geométrica, las dimensiones del cuerpo (Fig. 3.11-a), y aplicar la ecuación para planchas de aceros con  $\rho = 7850 \text{ Kg/m}^3$  de la tabla A3.10; el peso del gato hidráulico según el anexo A5.1 es de 8 Kg:

$$P_T = P_t + P_g$$

$$P_T = (7.85 * 0.585 * 0.3 * 8) + \left(\frac{8}{2}\right)$$

$$P_T = 11.02 + 4$$

$$P_T = 15.02 \text{ Kg}$$

La mayor carga de trabajo a la que esta sometida cada una de las tapas superiores es la mitad del valor de la fuerza máxima del pistón, puesto que el gato hidráulico hace contacto con ambas placas, teniendo:

$$F_t = \frac{12000}{2}$$

$$F_t = 6000 \text{ Kg}$$

A continuación se reemplaza los datos del peso y de la fuerza de trabajo en la ecuación 18 de la tabla A3.2 (tome en cuenta la dirección de las fuerzas). El cortante máximo en este caso se encuentra en los empotramientos.

$$R_1 = R_2 = \frac{F_t - P_T}{2}$$

$$R_2 = \frac{6000 - 15.02}{2}$$

$$R_2 = 2992.5 \text{ kg}$$

El momento flector máximo es calculado mediante la ecuación 18 de la tabla A3.4, que nos da:

$$M_{R1} = M_{R2}$$

$$M_{R2} = \frac{(F_t - P_T) * L}{8} = \frac{(6000 - 15.02) * 58.5}{8}$$

$$M_{R2} = 43765.2 \text{ Kg.cm}$$

Para hallar el momento resistente se acoge la ecuación 7-a de la tabla A3.5, pues la fuerza de trabajo que actúa sobre el cuerpo es perpendicular al eje x, obteniendo:

$$W_{xx'} = \frac{0.8 * (30)^2}{6}$$

$$W_{xx'} = 120 \text{ cm}^3$$

El valor de la tensión de trabajo se establece haciendo uso de la ecuación 2.1. Se opta por un acero A 36 (ver anexo 5.4) cuyo  $S_y = 2530 \text{ Kg/cm}^2$ :

$$\sigma_t = \frac{43765.2}{120}$$

$$\sigma_t = 364.7 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\therefore 364.7 \text{ Kg/cm}^2 \leq 2530 \text{ Kg/cm}^2$$

La flecha según la tabla 2.1 no debe exceder de  $L/250$  es decir para este proceso 2.3 mm. Se establece a través de la ecuación 2.2, y se tiene:

$$f \cong 0.4 * \left( \frac{3.647 * (0.585)^2}{8} \right)$$

$$f \cong 0.06 \text{ mm} < 2.3 \text{ mm (flecha aceptable)}$$

El coeficiente de seguridad se calcula empleando la ecuación 2.8:

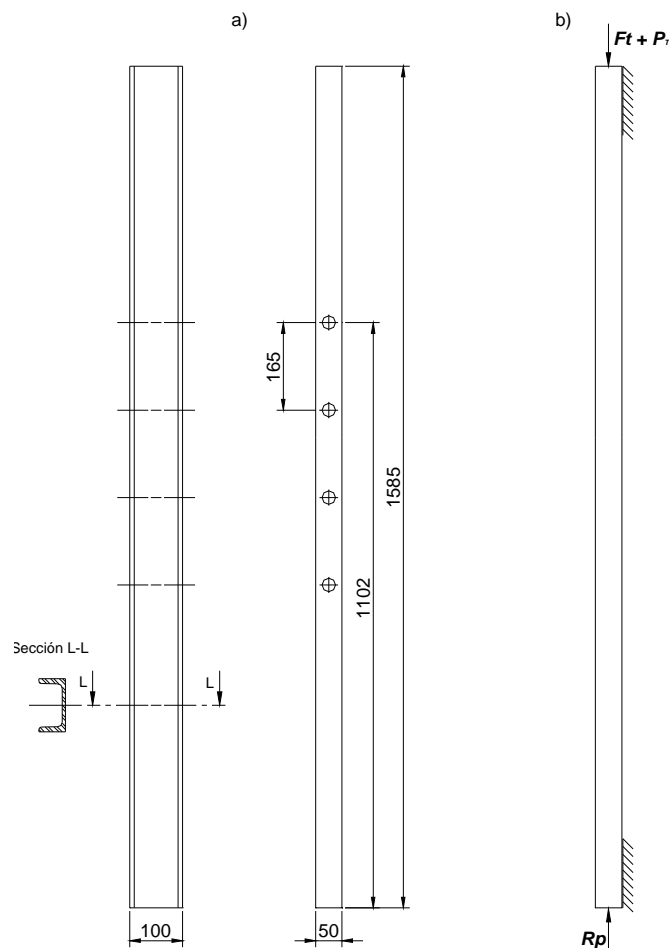
$$n = \frac{S_y}{\sigma_t} = \frac{2530}{364.7}$$

$$n = 6.9 \text{ (factor aceptable)}$$

### 3.2.1.5 Cargas en la Columna

Las columnas son las partes más importantes de la estructura metálica, se encargan de sostener al resto de componentes, mantener la estabilidad de la máquina, y permitir un buen funcionamiento de la misma.

El gráfico 3.12 muestra un esquema del dispositivo, sus dimensiones, y el diagrama de cuerpo libre; dando a conocer también que el elemento empleado como columna es un perfil UPN-10.



**Fig. 3.12** Columna: a) dimensiones, b) diagrama de cuerpo libre

Donde:  $F_t$  = Fuerza de trabajo.

$R_p$  = Reacción del piso

$P_T$  = Peso total que soporta la columna.

### 3.2.1.5.1 *Diseño de la Columna*

Por motivos de facilitar el cálculo se ha desplazado la fuerza de trabajo de su posición normal al extremo superior de la columna (Ver fig. 3.12-b), considerando de esta manera que la longitud total del cuerpo está sometida a compresión axial y por ende al efecto de pandeo; teniendo en cuenta además que sus dos extremos están fijos.

La tabla A3.6 designa los siguientes parámetros para un perfil UPN-10:

$$I_{yy} = 29.3\text{cm}^4 \quad A_{\text{Bruta}} = 13.5\text{cm}^2 \quad i_{yy} = 1.47\text{cm}$$

Al contar con sus dos extremos fijos según 2.3.2 la longitud de pandeo es:

$$l_k = 0.5 * L$$

$$l_k = 0.5 * 158.5$$

$$l_k = 79.3\text{cm}$$

Reemplazando el valor de la longitud de pandeo y el radio de giro en la ecuación 2.5 se obtiene la esbeltez mecánica, es decir:

$$\lambda = \frac{79.3}{1.47}$$

$$\lambda = 53.9$$

Se opta por un perfil de Acero A-42 cuyo  $S_y = 2600 \text{ Kg/cm}^2$  (ver anexo 5.4), para el cual el valor de esbeltez mecánica obtenido representa según la tabla A3.9, un coeficiente de pandeo igual a:

$$w = 1.16$$

A continuación se calcula la carga crítica aplicando la ecuación 2.6:

$$P_{ki} = \frac{2600 * 13.5}{1 + \frac{(79.3)^2 * 13.5}{(53.9)^2 * 29.3}}$$

$$P_{ki} = 17573.5\text{Kg}$$

Aplicando la ecuación 2.7, se determina la tensión de trabajo que se produce por efecto de la carga crítica, de donde:

$$\sigma = \frac{17573.5 * 1.16}{13.5}$$

$$\sigma = 1510\text{kg/cm}^2$$

$$\therefore 1510\text{Kg/cm}^2 \leq 2600\text{Kg/cm}^2$$

En consecuencia el coeficiente de seguridad según la ecuación 2.8 es:

$$n = \frac{S_y}{\sigma_t} = \frac{2600}{1510}$$

$$n = 1.72 \text{ (factor aceptable)}$$

Finalmente, empleando la ecuación 2.9 se obtiene el valor de la carga real que puede soportar la columna, teniendo:

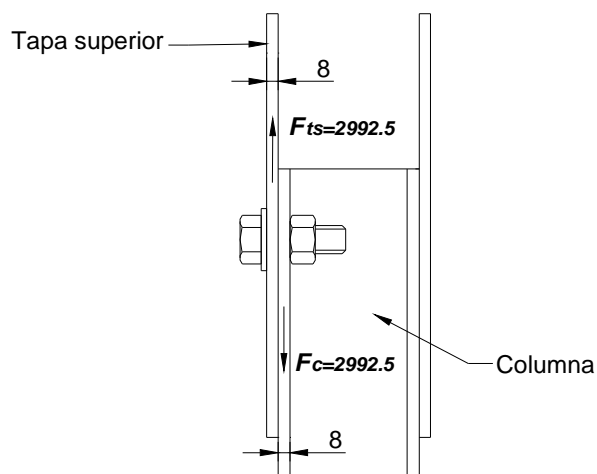
$$P_R = \frac{17573.5}{1.72}$$

$$P_R = 10217.2\text{Kg}$$

El valor de la carga real es mayor que la fuerza de trabajo, lo cual permite aprobar el tipo de perfil utilizado.

### 3.2.1.6 Selección de los Tornillos para la Tapa Superior

Para seleccionar los pernos que unen la tapa superior con las columnas, se sigue el procedimiento establecido en el 2.4.2, para lo cual la figura 3.13 nos muestra la posición del tornillo, el espesor de los materiales a unir, y las cargas que actúan sobre el elemento.



**Fig. 3.13 Unión Tapa superior-Columna**

Donde:  $F_{ts}$  = Fuerza tapa superior.

$F_c$  = Fuerza columna

En primer lugar, se encuentra el diámetro del tornillo, para lo cual se utiliza la ecuación 2.10:

$$d \cong \sqrt{5 * 0.8} - 0.2$$

$$d \cong 1.8 \text{cm}$$

A continuación, se determina la sección resistente del tornillo:



$$F = \frac{\pi * (1.8)^2}{4}$$

$$F = 2.54\text{cm}^2$$

Se elige un tornillo ordinario de grado 4.6 (ver tabla A4.3), que cuenta con:

$$S_y = 2400\text{Kg/cm}^2 \quad K = 0.65 \quad n = 2$$

Con esto la carga máxima resistente a la rotura, aplicando la ecuación 2.11 es:

$$P_{\text{máx}} = 0.65 * 2400 * 1 * 2.54$$

$$P_{\text{máx}} = 3962.4\text{Kg}$$

Finalmente se calcula empleando la ecuación 2.13, el número de tornillos necesarios para soportar la carga que ejerce la tapa superior

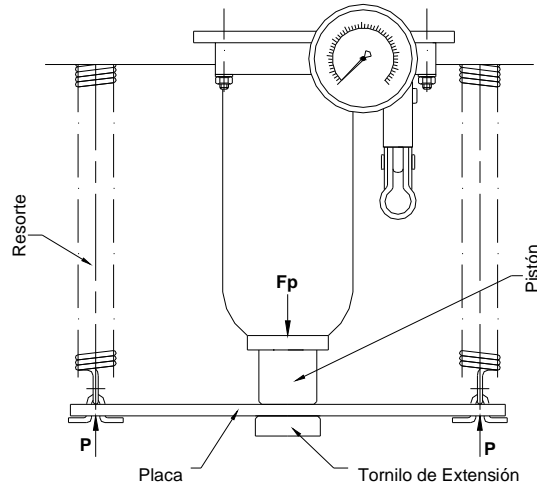
$$N_c = \frac{F_{ts} * n}{P_{\text{máx}}} = \frac{2992.5 * 2}{3962.4}$$

$$N_c = 1.51 \approx 2$$

Las disposiciones constructivas se indican en los planos de taller.

### 3.2.1.7 Selección del Resorte para el Retorno del Émbolo

El retorno del émbolo es realizado por la acción de dos resortes exteriores que se sujetan a una placa, la cual está introducida entre el pistón y el tornillo de extensión como se muestra en la figura 3.14.



**Fig. 3.14 Sistema de Retorno**

El cálculo se basará en los siguientes datos, previo tanteo: se considera  $d=0.35\text{cm}$ , un  $L=13\text{cm}$ , un  $r=1.2\text{cm}$ , y una fuerza necesaria para el retorno del pistón a su posición original obtenida de forma empírica  $F_p=60\text{Kg}$ . El material, acero para resortes templado con un  $R_c=6000\text{Kg/cm}^2$ , un  $G=800000\text{Kg/cm}^2$ .

Al ser dos resortes, la carga de trabajo que soporta cada uno es:

$$P = \frac{F_p}{2} = \frac{60}{2}$$

$$P = 30\text{Kg}$$

Despejando de la ecuación 2.14, la tensión de trabajo admisible  $R_c$ , tenemos:

$$R_c = \frac{P \cdot 16 \cdot r}{\pi \cdot d^3} = \frac{30 \cdot 16 \cdot 1.2}{\pi \cdot 0.35^3}$$

$$R_c = 4276.3\text{Kg/cm}^2 < 6000\text{Kg/cm}^2$$

El número de espiras del resorte se calcula estableciendo una diferencia entre la longitud inicial del resorte y el diámetro del hilo, de donde:

$$n = \frac{L}{d} = \frac{13}{0.35}$$

$$n = 37 \text{ espiras}$$

Finalmente, a través de la ecuación 2.15 se obtiene la flexión del resorte bajo la carga P, de donde:

$$f = \frac{64 * 37 * 30 * 1.2^3}{800000 * 0.35^4}$$

$$f = 10.2\text{cm}$$

El resultado del Rc, nos da conocer que el resorte es apto para el trabajo ya que su valor es menor a la tensión admisible del material, esto ofrece un alto grado de seguridad y evita que el resorte se rompa bajo la acción de la carga de trabajo.

### **3.3 HOJAS DE PROCESOS**

Cada uno de los componentes a construirse requiere de una secuencia de elaboración que permita efectuar un trabajo, ordenado, seguro. Las hojas de procesos proveen al operador la información necesaria para realizar este cometido, agilitando de esta manera la elaboración del elemento.

Para el presente proyecto se han realizado las hojas de procesos de los elementos más importantes y se detallan en el Anexo 7.

### **3.4 PLANOS DE CONSTRUCCIÓN**

Los planos de taller y montaje son necesarios para la construcción y el montaje de cualquier tipo de máquina, en estos se proporciona la información necesaria para el buen funcionamiento de todos los sistemas que forman parte de dicha máquina. El Anexo 8 recopila los planos de conjunto y de taller de la prensa hidráulica.

### **3.5 SISTEMA DE PRUEBAS DE LA MÁQUINA**

Toda clase de máquinas al término de su construcción deben ser sometidas a diferentes tipos de pruebas, la finalidad es asegurar un óptimo funcionamiento de la misma, verificar que cumpla con todas las especificaciones del diseño, y

controlar que tenga un buen acabado estético. A continuación en la tabla 3.1 se describe las pruebas a realizarse en la prensa hidráulica.

**Tabla 3.1 Régimen de pruebas para la Prensa Hidráulica**

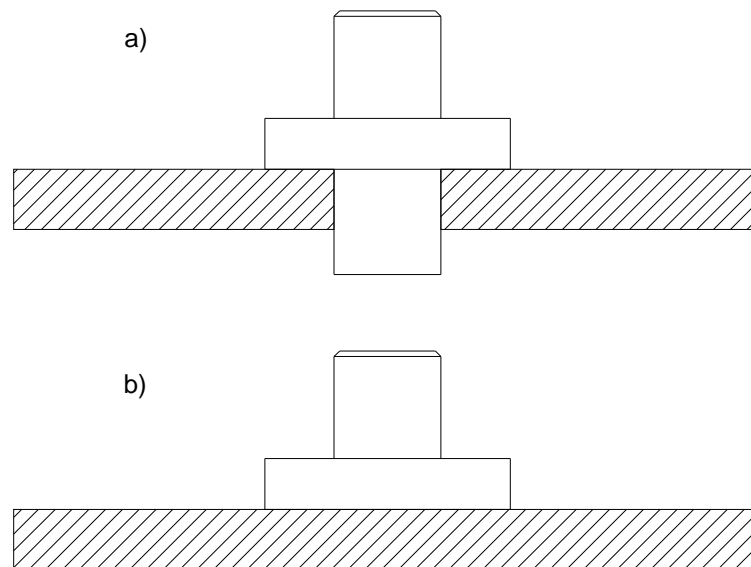
| <b><u>PRUEBA</u></b>                    | <b><u>DESCRIPCIÓN</u></b>   | <b><u>INSTRUMENTO DE CONTROL</u></b>                          |
|---|---|---|
| <b>Control Dimensional</b>              | Verificar que la máquinas cumpla con las medidas nominales establecidas en los planos de taller   | Flexómetro, escudra y nivel                                   |
|   | Inspeccionar paralelismo entre las comunas, de las tapas superiores y la mesa de prensado tomando como referencia el piso   |   |
|   | Controlar perpendicularidad de las columnas con las tapas superiores, mesa de prensado, y el piso   |   |
| <b>Funcionamiento en vacío</b>          | Accionar el sistema hidráulico y constatar que no exista fugas de aceite en las adecuaciones realizadas, que el pistón este centrado y perpendicular a la mesa de prensado, revisar cualquier falla de ensamblaje, y verificar la estabilidad de la máquina,  | Escuadra y flexómetro. Inspección manual, visual, y auditiva. |
| <b>Funcionamiento con carga</b>         | Accionar el sistema hidráulico oprimiendo algún material hasta que el manómetro marque 4000 Psi, constatar que no exista fugas de aceite en las adecuaciones realizadas, así como también revisar cualquier falla en los elementos de sujeción y de apoyo, y examinar la estabilidad de la máquina. | Inspección manual , visual, y auditiva                        |
| <b>Retorno del Pistón</b>               | Comprobar que una vez abierta la llave de descarga del gato hidráulico, el pistón regrese a su posición inicial, y analizar cualquier anomalía en los resortes y la placa de retorno  | Inspección visual, manual                                     |
| <b>Movilidad de la mesa de prensado</b> | Situar la mesa de prensado en sus diferentes posiciones, para asegurar su fácil desplazamiento sobre las columnas   | Inspección manual   |
| <b>Calidad Superficial</b>              | Constatar el acabado superficial de la máquina, dando prioridad a la adherencia de la pintura   | Inspección visual   |

## CAPÍTULO IV

### GUÍA PARA EL MONTAJE Y DESMONTAJE

#### 2.2 MONTAJE RODAMIENTO-EJE

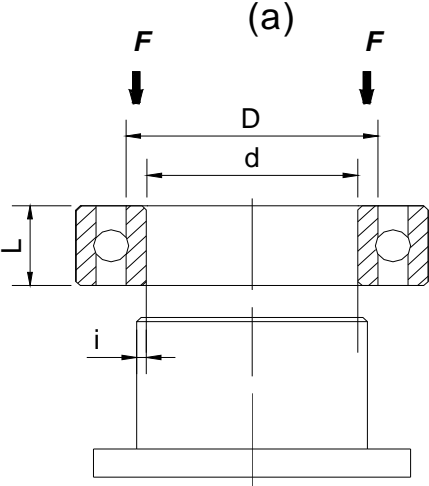
Es una de las dos maneras en como se puede ensamblar un rodamiento, en este caso el eje esta sujeto en la platina, o apoyado sobre la misma, como se observa en la figura 4.1, y es el rodamiento el que oprime a través de una copa de montaje.



**Fig. 4.1** Posición del eje: a) sujeto en la platina, b) apoyado sobre la platina

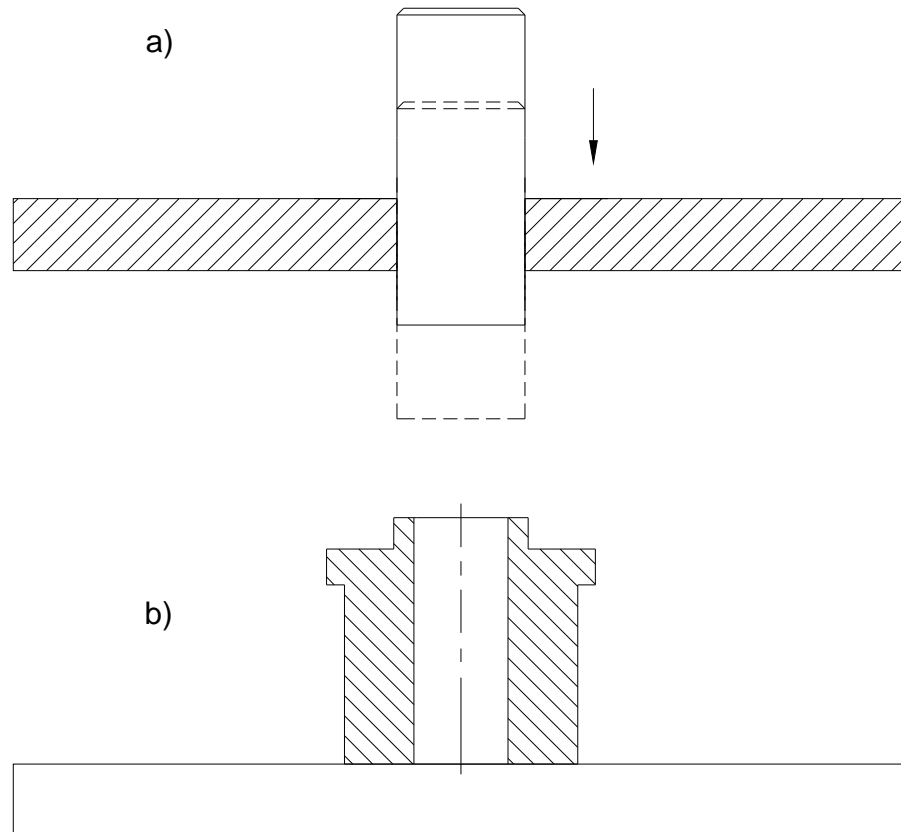
A continuación se define el proceso a seguir en esta clase de montajes, para lo cual se ha hecho uso de un elemento de trabajo muy utilizado en la actualidad por las empresas, este consiste en un documento (HTE) en el cual se describe la secuencia de operaciones a seguir, y se dan recomendaciones de trabajo al operador. El objetivo es conseguir trabajos similares, con la misma calidad, en el mismo tiempo, y sin accidentes de trabajo.

## 4.1.1 HOJAS DE TRABAJO ESTANDARIZADO (HTE-1)

| FORMATO DE CÁLCULO (MONTAJE RODAMIENTO-EJE)  |                       |
|--|-----------------------|
| Tipo de rodamiento   | Diámetro del eje<br>= |
| ESQUEMA  |                       |
|  <p style="text-align: center;">(a)</p> |                       |
| $i = \text{Ø}_{\text{eje}} - d$  | =                     |
| $P_f = \text{Ø}_{\text{sup.}} \cdot P_{f\text{sup}} / D$   | =                     |
| $F = (D-d) \cdot \pi \cdot L \cdot i \cdot P_f / 2$  | =                     |
| $A = 0.785 \cdot (D^2 - d^2)$  | =                     |
| $P = F / A$  | =                     |
| Notas:   |                       |
|  |                       |
|  |                       |
|  |                       |

## 4.2 MONTAJE EJE-RODAMIENTO

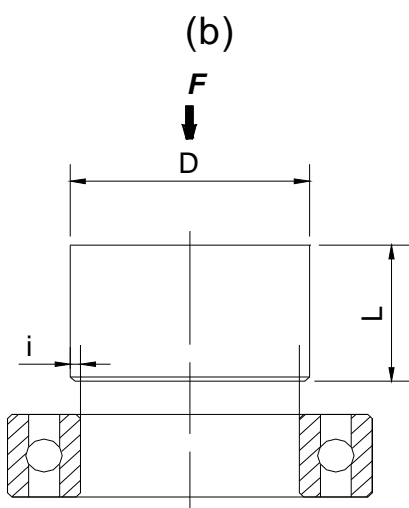
En este tipo de acoplamiento el eje no puede ser sujetado por la platina (ver figura 4.2-a), por esta razón es la copa de montaje la que se apoya sobre la misma (ver figura 4.2-b), y es el mencionado eje el que se oprime.



**Fig. 4.2:** a) eje suelto, b) copa sobre la platina

De igual manera el proceso de trabajo se detalla a continuación en el HTE 2

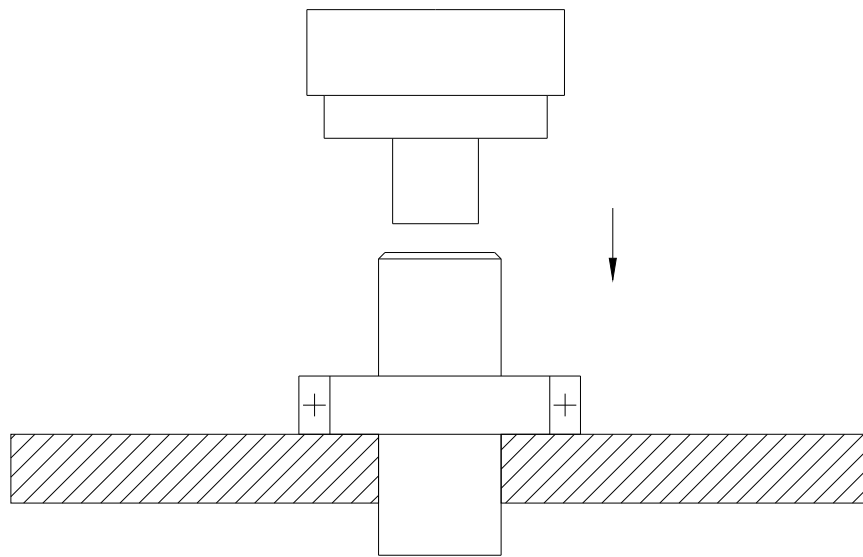
## 4.2.1 HOJAS DE TRABAJO ESTANDARIZADO (HTE-2)

| FORMATO DE CÁLCULO (MONTAJE EJE-RODAMIENTO)  |                       |
|--|-----------------------|
| Diámetro interior del rodamiento<br>=  | Diámetro del eje<br>= |
| ESQUEMA  |                       |
| <p>(b)</p>  |                       |
| $i = \text{Ø}_{\text{eje}} - \text{Ø}_{\text{interior-rod.}}$                                  | =                     |
| $P_f = \text{Ø}_{\text{sup.}} * P_{f\text{sup}} / D$   | =                     |
| $F = D * \pi * L * i * P_f / 2$  | =                     |
| $A = 0.785 * D^2$  | =                     |
| $P = F / A$  | =                     |
| Notas:   |                       |
|  |                       |
|  |                       |
|  |                       |



### 4.3 DESMONTAJE DEL RODAMIENTO

Esta operación permite retirar el rodamiento tratando al máximo de evitar daños o deformaciones al eje, con el propósito de poder utilizarlo nuevamente sin la necesidad de maquinarlo nuevamente. Lo que se hace es aprisionar el conjunto en la platina, presionar al eje mediante la copa de desmontaje. (Ver fig. 4.3), y controlar que el valor de la presión sea igual o aproximado, al del montaje.



**Fig. 4.3** Desmontaje del rodamiento

Para la poner en práctica la operación siga los pasos del HT3, a continuación.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 CONCLUSIONES**

- ◆ Para el desarrollo del presente proyecto, fue necesario llevar acabo una investigación de las formas como en los talleres mecánicos se realiza los trabajos de montaje y desmontaje de rodamientos rígidos de bolas, los cuales dieron un idea de la falta de conocimientos técnicos que hay en la realización de este tipo de trabajos, y la poca importancia que se le da al cuidado de estos elementos de precisión.
- ◆ El conocimiento técnico del rodamiento, sus partes, y las características constructivas con que cuenta, advierten que la vida útil del elemento dependerá mucho de la forma y las condiciones en que se realice el ensamble
- ◆ Realizar la instalación del rodamiento tras un previo cálculo de la presión requerida, permite saber que cuando en la práctica ésta es superada en un alto grado, es porque existen factores que están afectando la operación, y es una alerta para detener el trabajo con el fin de evitar cualquier tipo de averías ya sea en el eje o el cojinete.
- ◆ El diseño de dispositivos de montaje basados en la forma del anillo interior del rodamiento, dan lugar a que la fuerza actúe en la zona correcta y de forma paralela al asiento del rodamiento, de manera que no provoque daños en los elementos rodantes, o fallas de alineamiento.
- ◆ La implementación de los conocimientos técnicos dentro del mantenimiento y reparación de los rodamientos rígidos de bolas, así como el empleo de las herramientas adecuadas, garantizan la correcta realización del trabajo, y la

calidad en las operaciones de montaje y desmontaje, además de asegurar la integridad del operador.

- ◆ La Prensa Hidráulica que proporciona la fuerza de montaje o desmontaje, fue diseñada en base a modelos básicos de este tipo de máquinas, y presenta una gran versatilidad puesto que puede ser empleada en trabajos de: enderezado, punzonado, o embutido de poca profundidad.
  
- ◆ La máquina esta conformada por elementos sencillos, de fácil construcción, y materiales de gran disponibilidad en el mercado local, esto permitirá a futuro establecer una producción en serie de este tipos de máquinas y sus repuestos, mejorando cada vez su diseño, y disminuyendo los costos de construcción.
  
- ◆ Los materiales empleados fueron seleccionados en base a las buenas propiedades mecánicas establecidas en catálogos y que cumplían con las exigencias del diseño, a fin de obtener una máquina de buen rendimiento.
  
- ◆ La combinación de los conocimientos teórico-prácticos adquiridos en el transcurso de la Carrera de Tecnología en PROCESOS DE PRODUCCIÓN MECÁNICA, nos facultan llevar acabo construir aparatos que den solución a problemas cotidianos que se presentan en talleres o empresas, y que sean de bajo costo para facilitar su adquisición.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

- ◆ Cuando la presión de montaje calculada supere los 5000 psi, retire el manómetro antes de efectuar el trabajo, ya que éste elemento no soporta presiones superiores a la indicada, y coloque un tapón NPT de 1/4 “.
  
- ◆ Cuando accione el sistema hidráulico, asegúrese que no existan fugas de aceite, esto disminuye el rendimiento de trabajo y puede ocasionar accidentes durante su manipulación.

- ◆ No sobrepase las 12 Tm establecidas como límite del gato hidráulico, puesto que de hacerlo esto accionará la válvula de seguridad y el sistema quedará deshabilitado.
- ◆ Al utilizar la máquina tenga siempre presente todas las normas de seguridad industrial, particularmente cuando sujete los dispositivos de montaje o desmontaje, para evitar cualquier accidente siga paso a paso el HTE.
- ◆ Sitúe la máquina en un ambiente limpio libre de polvo, lluvia, y vibraciones, para evitar cualquier falla de funcionamiento de la máquina, y en especial del gato hidráulico.
- ◆ Al realizar el ensamblaje de la máquina, ponga especial atención en la correcta posición de los componentes que soportan directamente la carga de trabajo.
- ◆ En el caso de sufrir daños o desgaste de algún componente, replácelos por otros que tengan las mismas características establecidas en los planos de construcción respectivos.

## BIBLIOGRAFÍA

- ACEROS BOHELER; Manual de Aceros Especiales; Quito; 1995
- ESPINOSA, D.; Resistencia de Materiales Mecánicos; EPN-ESFOT; Quito; 2004.
- HABICHT, F. H.; Máquinas Herramientas Modernas; Editorial Continental S.A.; México; 1963.
- INEN; Código de Dibujo Técnico Mecánico; Quito; 1989
- IVAN BOHMAN C.A.; Catálogo de Aceros Especiales; Quito; 2004
- LARBURU, NICOLAS; Prontuario de Máquinas; Editorial Paraninfo S.A.; España; 1990.
- LEÓN de la BARRA, A; Apuntes de Análisis Estructural; España; 1997
- MANUAL de MECÁNICA INDUSTRIAL; Tomo II; Neumática e Hidráulica; Editorial Cultura S.A.; Madrid; España.
- NORMA NBE EA-95; Estructuras de Acero en Edificación; España; 1995.
- STEYR, D. P. AG; Manual Técnico 282 S; Alemania; 1982
- VILORIA, JOSE R.; Prontuario de Mecánica Industrial Aplicada; Editorial Thomson; España.
- [www.ahmsa.com](http://www.ahmsa.com)
- [www.automotriz.net/tecnica/fallas-rodamientos.htm](http://www.automotriz.net/tecnica/fallas-rodamientos.htm)
- [www.campus.fortunecity.com/duquesne/623/home/prensa/prensa.htm](http://www.campus.fortunecity.com/duquesne/623/home/prensa/prensa.htm)


- [www.elprisma.com/apuntes/ingenieria\\_mecanica/valvulashidraulicas/](http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_mecanica/valvulashidraulicas/)
- [www.filtercouncil.org](http://www.filtercouncil.org)
- [www.fis-services.de/gen/en/library/WL80250\\_2SB\\_09\\_05\\_neu2.pdf](http://www.fis-services.de/gen/en/library/WL80250_2SB_09_05_neu2.pdf)
- [www.fluídica.sa.com/](http://www.fluídica.sa.com/)
- [www.infomecanica.com/estructuras.htm](http://www.infomecanica.com/estructuras.htm)
- <http://lorenzoasuservicio.50megs.com/facu/modulo1/modulo1.htm>
- [www.metalunivers.com/Tecnica/Hemeroteca/ArticuloCompleto.asp](http://www.metalunivers.com/Tecnica/Hemeroteca/ArticuloCompleto.asp)
- [www.monografias.com/trabajos13/intsishi/intsishi.shtml](http://www.monografias.com/trabajos13/intsishi/intsishi.shtml)
- [www.monografías.com/trabajos6/dies/dies.shtml](http://www.monografías.com/trabajos6/dies/dies.shtml)
- [www.mega-sa.com](http://www.mega-sa.com)
- [www.nachi-fujikoshi.co.jp/](http://www.nachi-fujikoshi.co.jp/)
- [www.ntnmexico.com.mx/pages/spa](http://www.ntnmexico.com.mx/pages/spa)
- [www.sapiensman.com/neumatica/neumatica\\_hidraulica22.htm](http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica_hidraulica22.htm)
- [www.solomantenimiento.com/articulos/cilindros-hidraulicos.htm](http://www.solomantenimiento.com/articulos/cilindros-hidraulicos.htm)
- [www.tecnicaoleohidraulica.com/h\\_02\\_bombas.htm](http://www.tecnicaoleohidraulica.com/h_02_bombas.htm)
- [www.tecnicaoleohidraulica.com/h\\_07\\_cilindros.htm](http://www.tecnicaoleohidraulica.com/h_07_cilindros.htm)

# **ANEXOS**



**ANEXO 1**  
**DAÑOS EN LOS RODAMIENTOS**



## Síntomas y Medidas Preventivas

|  |  |  |
|--|--|--|
| <p><b>(1) Desconchado:</b> Condición en la que las pistas de rodadura y las superficies están descascarilladas.</p>  |    |  |
| <table border="0"> <tr> <td data-bbox="277 369 581 764"> <p>◆ <b>Causas principales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Carga axial anormal y carga excesiva</li> <li>• Inclinación del rodamiento</li> <li>• Problemas con la precisión del eje y la carcasa</li> <li>• Codo, rascaduras por golpes, rascaduras por inserción</li> <li>• Lubricación inapropiada</li> </ul> </td> <td data-bbox="581 369 889 764"> <p>◆ <b>Medidas preventivas principales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El rodamiento del lado libre deberá poder moverse</li> <li>• Alinee el centro axial del eje y la carcasa</li> <li>• Corrija la configuración del eje y la carcasa</li> <li>• Prevención del óxido cuando el equipo esté parado durante mucho tiempo. Precauciones de manejo y montaje</li> <li>• Cambios en el lubricante, cantidad, y método de lubricación</li> </ul> </td> </tr> </table>   |  | <p>◆ <b>Causas principales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Carga axial anormal y carga excesiva</li> <li>• Inclinación del rodamiento</li> <li>• Problemas con la precisión del eje y la carcasa</li> <li>• Codo, rascaduras por golpes, rascaduras por inserción</li> <li>• Lubricación inapropiada</li> </ul>   |
| <p>◆ <b>Causas principales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Carga axial anormal y carga excesiva</li> <li>• Inclinación del rodamiento</li> <li>• Problemas con la precisión del eje y la carcasa</li> <li>• Codo, rascaduras por golpes, rascaduras por inserción</li> <li>• Lubricación inapropiada</li> </ul>   | <p>◆ <b>Medidas preventivas principales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El rodamiento del lado libre deberá poder moverse</li> <li>• Alinee el centro axial del eje y la carcasa</li> <li>• Corrija la configuración del eje y la carcasa</li> <li>• Prevención del óxido cuando el equipo esté parado durante mucho tiempo. Precauciones de manejo y montaje</li> <li>• Cambios en el lubricante, cantidad, y método de lubricación</li> </ul>   |  |
| <p><b>(2) Agrietamiento:</b> Condición en la que, debido al calor, la pistas de rodadura, la brida, y el elemento de rodamiento cambian de color y desarrollan depósitos y ablandamiento.</p>  |   |  |
| <table border="0"> <tr> <td data-bbox="277 930 581 1220"> <p>◆ <b>Causas principales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Juego interno excesivamente pequeña durante la operación</li> <li>• Operación que sobrepasa la frecuencia de rotación permitida</li> <li>• Propiedades y cantidad de lubricante inapropiadas</li> <li>• Carga axial anormal y contacto en un lado</li> </ul> </td> <td data-bbox="581 930 889 1220"> <p>◆ <b>Medidas preventivas principales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambio del juego interno</li> <li>• Rotación de ahormado precoz, examen de la configuración del rodamiento</li> <li>• Cambio de lubricante, cantidad, o método de lubricación</li> <li>• Reconsideración de las condiciones de carga y corrección del montaje.</li> </ul> </td> </tr> </table>   |  | <p>◆ <b>Causas principales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Juego interno excesivamente pequeña durante la operación</li> <li>• Operación que sobrepasa la frecuencia de rotación permitida</li> <li>• Propiedades y cantidad de lubricante inapropiadas</li> <li>• Carga axial anormal y contacto en un lado</li> </ul>   |
| <p>◆ <b>Causas principales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Juego interno excesivamente pequeña durante la operación</li> <li>• Operación que sobrepasa la frecuencia de rotación permitida</li> <li>• Propiedades y cantidad de lubricante inapropiadas</li> <li>• Carga axial anormal y contacto en un lado</li> </ul>   | <p>◆ <b>Medidas preventivas principales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambio del juego interno</li> <li>• Rotación de ahormado precoz, examen de la configuración del rodamiento</li> <li>• Cambio de lubricante, cantidad, o método de lubricación</li> <li>• Reconsideración de las condiciones de carga y corrección del montaje.</li> </ul>   |  |
| <p><b>(3) Rotura:</b> Rotura de los aros interior y exterior, elemento de rodamiento, o jaula.</p>   |    |  |
| <table border="0"> <tr> <td data-bbox="277 1365 581 1778"> <p>◆ <b>Causas principales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Interferencia excesiva</li> <li>• Redondez excesiva del eje y las esquinas de la carcasa</li> <li>• Golpe durante el manejo o el montaje</li> <li>• Carga de impacto grande durante la operación</li> <li>• Juego interno excesiva durante la operación</li> <li>• Vibración y carga momentánea</li> </ul> </td> <td data-bbox="581 1365 889 1778"> <p>◆ <b>Medidas preventivas principales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambio de interferencia, corrección de la configuración del adaptador</li> <li>• Corrección a un valor más pequeño que las dimensiones de biselado del rodamiento</li> <li>• Manejo y montaje correctos</li> <li>• Reconsideración de las condiciones de carga</li> <li>• Examen del juego precoz (para evitar el juego de las bolas y los rodillos)</li> <li>• Corrección del error de montaje. Cambio del tipo de rodamiento</li> </ul> </td> </tr> </table> |  | <p>◆ <b>Causas principales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Interferencia excesiva</li> <li>• Redondez excesiva del eje y las esquinas de la carcasa</li> <li>• Golpe durante el manejo o el montaje</li> <li>• Carga de impacto grande durante la operación</li> <li>• Juego interno excesiva durante la operación</li> <li>• Vibración y carga momentánea</li> </ul> |
| <p>◆ <b>Causas principales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Interferencia excesiva</li> <li>• Redondez excesiva del eje y las esquinas de la carcasa</li> <li>• Golpe durante el manejo o el montaje</li> <li>• Carga de impacto grande durante la operación</li> <li>• Juego interno excesiva durante la operación</li> <li>• Vibración y carga momentánea</li> </ul>   | <p>◆ <b>Medidas preventivas principales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambio de interferencia, corrección de la configuración del adaptador</li> <li>• Corrección a un valor más pequeño que las dimensiones de biselado del rodamiento</li> <li>• Manejo y montaje correctos</li> <li>• Reconsideración de las condiciones de carga</li> <li>• Examen del juego precoz (para evitar el juego de las bolas y los rodillos)</li> <li>• Corrección del error de montaje. Cambio del tipo de rodamiento</li> </ul> |  |

## Síntomas y Medidas Preventivas

|   |   |  |
|---|---|--|
| <p>(4) <b>Indentación por presión:</b> Condición con pequeños dientes en las pistas de rodadura, bridas, y elementos de rodamiento debido a daños por golpes o la amoladura de suciedad.</p>  |   |  |
| <table border="0"> <tr> <td data-bbox="280 401 581 625"> <p>◆ <b>Causas principales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Golpe durante el manejo o el montaje</li> <li>• Entrada y amoladura de materias extrañas</li> <li>• Carga grande cuando se paran las operaciones</li> </ul> </td> <td data-bbox="581 401 886 625"> <p>◆ <b>Medidas preventivas principales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Manejo y montaje correctos</li> <li>• Mejora del dispositivo de sellado. Cambio en la limpieza de las piezas</li> <li>• Reconsideración de las condiciones de carga.</li> </ul> </td> </tr> </table>   |   | <p>◆ <b>Causas principales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Golpe durante el manejo o el montaje</li> <li>• Entrada y amoladura de materias extrañas</li> <li>• Carga grande cuando se paran las operaciones</li> </ul>                              |
| <p>◆ <b>Causas principales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Golpe durante el manejo o el montaje</li> <li>• Entrada y amoladura de materias extrañas</li> <li>• Carga grande cuando se paran las operaciones</li> </ul>   | <p>◆ <b>Medidas preventivas principales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Manejo y montaje correctos</li> <li>• Mejora del dispositivo de sellado. Cambio en la limpieza de las piezas</li> <li>• Reconsideración de las condiciones de carga.</li> </ul>  |  |
| <p>(5) <b>Corrosión por frotamiento:</b> Condición en la que se desarrollan dientes en la superficie de las pistas de rodadura de los anillos de rodadura interior y exterior a distancia del elemento de rodamiento. Esta palabra también se utiliza al referirse a la corrosión acastañada que ocurre en las superficies de contacto entre el eje y el aro interior, y entre la carcasa y el aro exterior.</p>  |    |  |
| <table border="0"> <tr> <td data-bbox="280 835 581 1003"> <p>◆ <b>Causas principales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vibración mientras las operaciones están paradas o durante el transporte</li> <li>• Movimiento de oscilación con amplitud pequeña</li> </ul> </td> <td data-bbox="581 835 886 1003"> <p>◆ <b>Medidas preventivas principales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prevención de la vibración</li> <li>• Fijación temporal de los rodamientos durante el transporte/Cambio del aceite lubricante, etc.</li> </ul> </td> </tr> </table>   |   | <p>◆ <b>Causas principales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vibración mientras las operaciones están paradas o durante el transporte</li> <li>• Movimiento de oscilación con amplitud pequeña</li> </ul>   |
| <p>◆ <b>Causas principales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Vibración mientras las operaciones están paradas o durante el transporte</li> <li>• Movimiento de oscilación con amplitud pequeña</li> </ul>  | <p>◆ <b>Medidas preventivas principales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Prevención de la vibración</li> <li>• Fijación temporal de los rodamientos durante el transporte/Cambio del aceite lubricante, etc.</li> </ul>   |  |
| <p>(6) <b>Arrastramiento:</b> Condición con rascaduras en la superficie cuando ocurre contacto de metal entre los ejes y la brida, el elemento de rodamiento y las jaula cuando desaparece la película de aceite.</p>   |   |  |
| <table border="0"> <tr> <td data-bbox="280 1150 581 1430"> <p>◆ <b>Causas principales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lubricación inadecuada</li> <li>• Mascadura de materias extrañas</li> <li>• Inclinación de los rodamientos. Carga axial excesiva</li> <li>• Aceleración repentina al arrancar</li> </ul> </td> <td data-bbox="581 1150 886 1430"> <p>◆ <b>Medidas preventivas principales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambio de lubricante, cantidad, y método de lubricación</li> <li>• Mejora del dispositivo de sellado y limpieza de las piezas</li> <li>• Corrección del error de montaje, reconsideración de las condiciones de carga</li> <li>• Cambio a una aceleración más gradual</li> </ul> </td> </tr> </table> |   | <p>◆ <b>Causas principales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lubricación inadecuada</li> <li>• Mascadura de materias extrañas</li> <li>• Inclinación de los rodamientos. Carga axial excesiva</li> <li>• Aceleración repentina al arrancar</li> </ul> |
| <p>◆ <b>Causas principales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lubricación inadecuada</li> <li>• Mascadura de materias extrañas</li> <li>• Inclinación de los rodamientos. Carga axial excesiva</li> <li>• Aceleración repentina al arrancar</li> </ul>  | <p>◆ <b>Medidas preventivas principales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambio de lubricante, cantidad, y método de lubricación</li> <li>• Mejora del dispositivo de sellado y limpieza de las piezas</li> <li>• Corrección del error de montaje, reconsideración de las condiciones de carga</li> <li>• Cambio a una aceleración más gradual</li> </ul> |  |
| <p>(7) <b>Deterioro por frotamiento:</b> Acumulación de quemaduras diminutas como piel rugosa que ocurre en las pistas de rodadura, las bridas, y los elementos de rodamiento cuando desaparece la película de aceite.</p>  |   |  |
| <table border="0"> <tr> <td data-bbox="280 1577 581 1801"> <p>◆ <b>Causas principales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lo mismo que para mascadura</li> </ul> </td> <td data-bbox="581 1577 886 1801"> <p>◆ <b>Medidas preventivas principales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrección del error de montaje, reconsideración de las condiciones de carga</li> <li>• Cambio de lubricante, cantidad, y método de lubricación</li> <li>• Cambio del juego de operación donde el elemento de rodamiento no se desvíe</li> </ul> </td> </tr> </table>   |   | <p>◆ <b>Causas principales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lo mismo que para mascadura</li> </ul>   |
| <p>◆ <b>Causas principales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lo mismo que para mascadura</li> </ul>  | <p>◆ <b>Medidas preventivas principales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrección del error de montaje, reconsideración de las condiciones de carga</li> <li>• Cambio de lubricante, cantidad, y método de lubricación</li> <li>• Cambio del juego de operación donde el elemento de rodamiento no se desvíe</li> </ul>                                 |  |

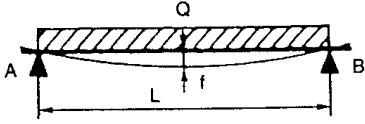
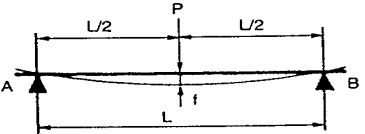
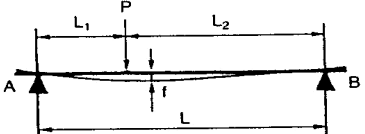
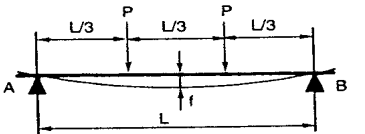
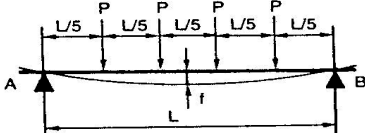
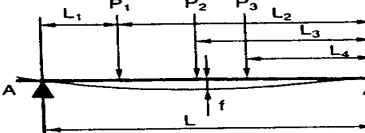
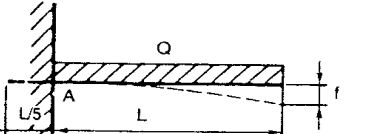
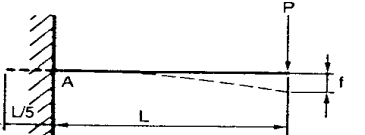
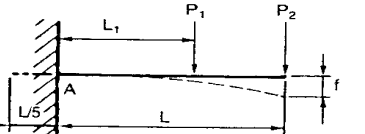
## Síntomas y Medidas Preventivas

|   |   |
|---|---|
| <p>(8) <b>Desgaste anormal:</b> Condiciones de desgaste excesivo que ocurren en las pistas de rodadura, las bridas, los elementos de rodamiento, y las jaulas.</p>  |   |
| <p>◆ <b>Causas principales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Efecto de envoltura de óxido y materias extrañas</li> <li>• Lubricante insuficiente o inapropiado</li> </ul>  | <p>◆ <b>Medidas preventivas principales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mejora del dispositivo de sellado. Prevención de herrumbre</li> <li>• Cambio de cantidad y tipo de lubricante</li> </ul>   |
| <p>(9) <b>Oxidación, corrosión:</b> Condición en la que ocurre oxidación y corrosión</p>  |    |
| <p>◆ <b>Causas principales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Lugar de almacenamiento inapropiado de los rodamientos y dispositivos</li> <li>• Agente de limpieza inapropiado o insuficiente protección contra la oxidación</li> <li>• Entrada de gases corrosivos, líquidos, o agua</li> <li>• Manejo con las manos desnudas</li> <li>• Generación de gas corrosivo a partir del lubricante</li> </ul> | <p>◆ <b>Medidas preventivas principales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Elección de un lugar con fluctuación mínima de temperatura</li> <li>• Cambio del agente de limpieza. Protección contra la oxidación</li> <li>• Mejora del dispositivo de sellado</li> <li>• Manejo correcto</li> <li>• Cambio de lubricante</li> </ul> |
| <p>(10) <b>Desplazamiento:</b> Situación en la que ocurre deslizamiento en las superficies de montaje entre el eje y el aro interior, y entre la carcasa y el aro exterior.</p>   |   |
| <p>◆ <b>Causas principales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Interferencia insuficiente</li> <li>• Cantidad insuficiente de inserción del manguito, tuerca floja</li> <li>• Dureza insuficiente del eje y la carcasa, problemas de precisión</li> </ul>  | <p>◆ <b>Medidas preventivas principales</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambio de interferencia</li> <li>• Corrección de la cantidad de inserción del manguito y la condición de fijación</li> <li>• Reconsideración del grosor y los materiales. Corrección de la configuración</li> </ul>                                    |

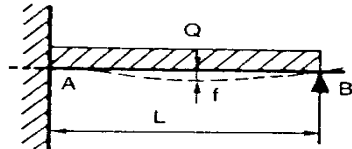
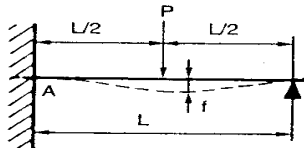
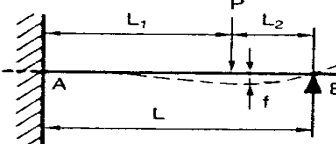
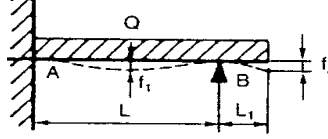
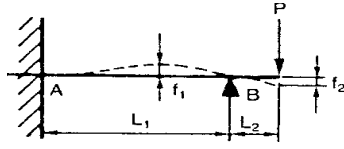
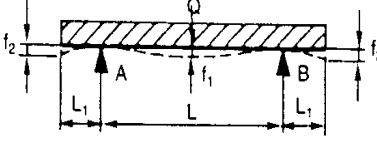
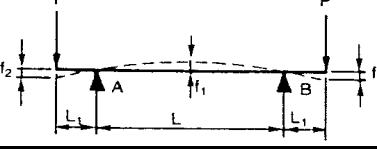
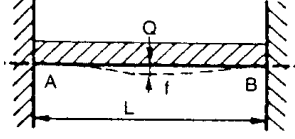
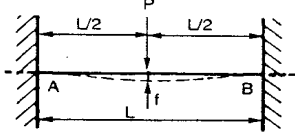
**ANEXO 2**  
**MÉTODOS DE MONTAJE Y DESMONTAJE SEGÚN EL TIPO DE**  
**RODAMIENTOS**

**ANEXO 3**  
**TABLAS COMPLEMENTARIAS PARA EL ESTUDIO DE PIEZAS**  
**SOMETIDAS A FLEXIÓN, Y PANDEO**

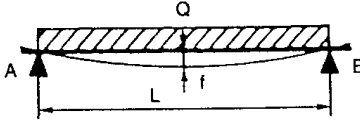
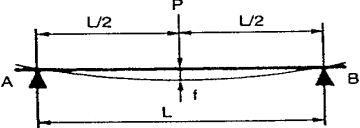
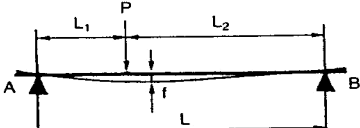
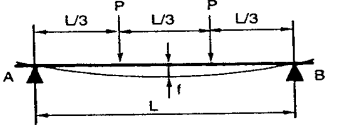
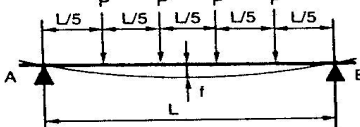
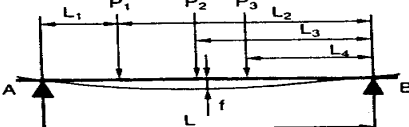
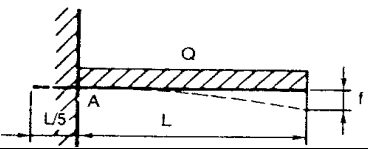
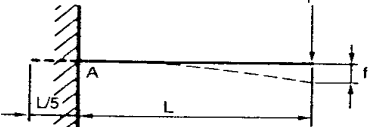
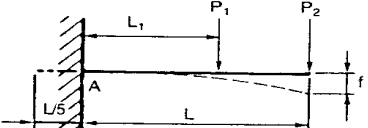
**Tabla A3.1 Cortante Máximo**

| REACCIONES DE LOS APOYOS   |  |
|--|--|
| Diagrama   | Ecuación   |
| 1)    | $A = B = \frac{Q}{2}$  |
| 2)    | $A = B = \frac{P}{2}$  |
| 3)    | $A = \frac{P \cdot L_2}{L} \quad B = \frac{P \cdot L_1}{L}$                                |
| 4)    | $A = B = P$  |
| 5)  | $A = B = \frac{3P}{2}$   |
| 6)  | $A = \frac{P_1 \cdot L_2 + P_2 \cdot L_3 + P_3 \cdot L_4}{L}$<br>$B = P_1 + P_2 + P_3 - A$ |
| 7)  | $A = Q$  |
| 8)  | $A = P$  |
| 9)  | $A = P_1 + P_2$  |

**Tabla A3.2 Cortante Máximo**

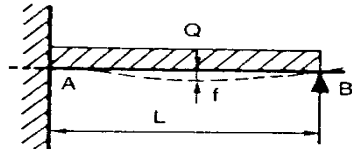
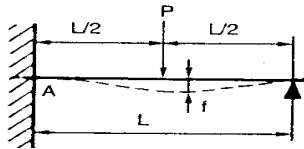
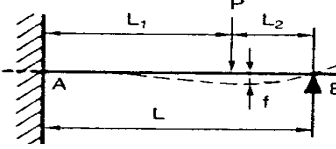
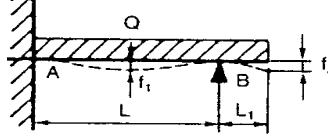
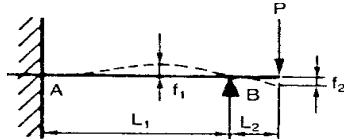
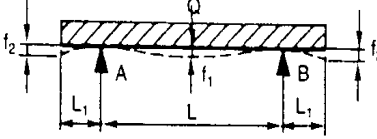
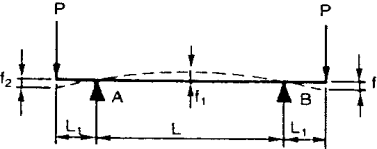
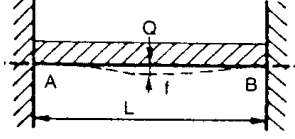
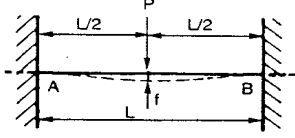
|     |   |  |
|-----|---|--|
| 10) |    | $A = \frac{5Q}{8}$ $B = \frac{3Q}{8}$  |
| 11) |    | $A = \frac{11P}{16}$ $B = \frac{5P}{16}$                                       |
| 12) |    | $A = \frac{P \cdot L_1^2}{2 \cdot L^3} \cdot (L_2 + 2 \cdot L)$<br>$B = P - A$ |
| 13) |    | $B = \frac{Q}{8L(L+L_1)} \cdot (6L_1^2 + 8L \cdot L_1 + 3L^2)$<br>$A = Q - B$  |
| 14) |   | $B = \frac{0,5P}{L} \cdot (2L + 3L_1)$<br>$A = -\frac{1,5P \cdot L_1}{L}$      |
| 15) |  | $A = B = \frac{Q}{2}$  |
| 16) |  | $A = B = P$  |
| 17) |  | $A = B = \frac{Q}{2}$  |
| 18) |  | $A = B = \frac{P}{2}$  |

**Tabla A3.3 Momento Flector Máximo**

| TECNOLOGÍA MECÁNICA  |   |
|--|---|
| Diagrama   | Ecuación  |
| 1)    | $M_f = \frac{Q \cdot L}{8}$   |
| 2)    | $M_f = \frac{P \cdot L}{4}$   |
| 3)    | $M_f = \frac{P \cdot L_1 \cdot L_2}{L}$   |
| 4)    | $M_f = \frac{P \cdot L}{3}$   |
| 5)  | $M_f = \frac{P \cdot L}{2}$   |
| 6)  | $M_{f_{P_1}} = R_A \cdot L_1$ $M_{f_{P_2}} = R_A (L - L_3) - P_1 (L_2 - L_3)$ $M_{f_{P_3}} = R_A (L - L_4) - P_1 (L_2 - L_4) - P_2 (L_3 - L_4)$ |
| 7)  | $M_f = \frac{Q \cdot L}{2}$   |
| 8)  | $M_f = P \cdot L$   |
| 9)  | $M_{f_A} = P_2 \cdot L + P_1 \cdot L_1$   |



**Tabla A3.4 Momento Flector Máximo**

|     |   |   |
|-----|---|---|
| 10) |    | $Mf_A = \frac{Q \cdot L}{8}$ $Mf_B = \frac{9 \cdot Q \cdot L}{128}$   |
| 11) |    | $Mf_A = \frac{3 P \cdot L}{16}$ $Mf_P = \frac{5 P \cdot L}{32}$   |
| 12) |    | $Mf_A = \frac{P \cdot L_2 \cdot (L_2 - L_2^2)}{2 \cdot L^2}$<br>$Mf_P = \frac{P \cdot L_2}{2} \cdot \left( 2 - \frac{3 \cdot L_2}{L} + \frac{L_2^3}{L^3} \right)$   |
| 13) |    | $Mf_A = -\frac{Q(L_1 + L)}{2} + R_B \cdot L$ $Mf_B = -\frac{Q \cdot L_1^2}{2(L_1 + L)}$<br>$Mf_{f_1} = \frac{Q \cdot L^2}{128(L_1 + L)} \cdot \left( \frac{36 \cdot L_1^4}{L^4} - \frac{28 \cdot L_1^2}{L^2} \right)$ |
| 14) |   | $Mf_A = 0,5 P \cdot L_1$<br>$Mf_B = -(P \cdot L_1)$   |
| 15) |  | $Mf_A = \frac{Q \cdot L_1^2}{2L_2}$ $Mf_B = Mf_A$   |
| 16) |  | $Mf = P \cdot L_1$  |
| 17) |  | $Mf_A = -\frac{Q \cdot L}{12}$ $Mf_B = Mf_A$  |
| 18) |  | $Mf_A = -\frac{P \cdot L}{8}$ $Mf_B = Mf_A$   |

**Tabla A3.5 Momento Resistente de Superficies básicas**

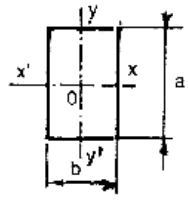
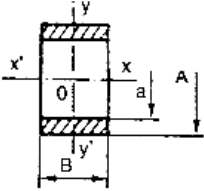
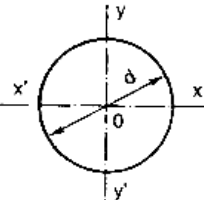
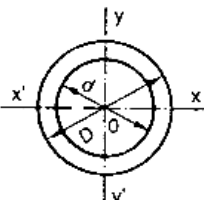
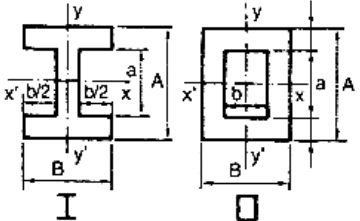
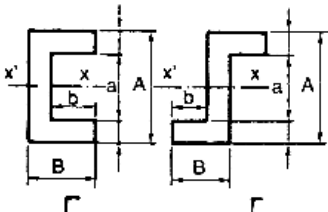
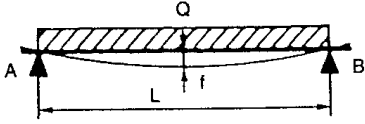
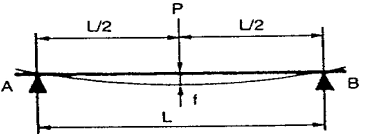
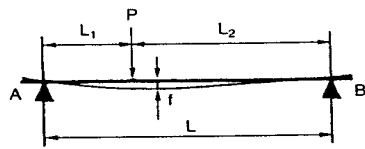
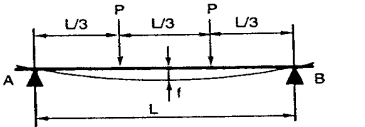
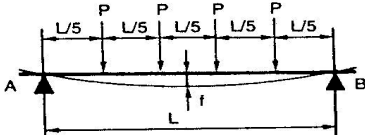
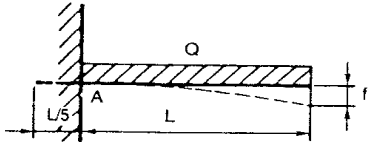
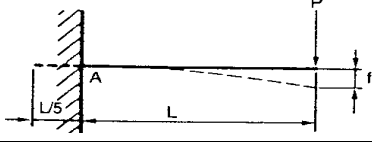
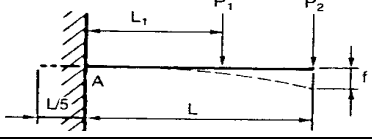
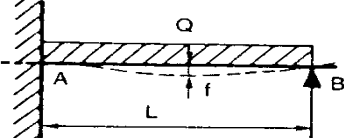
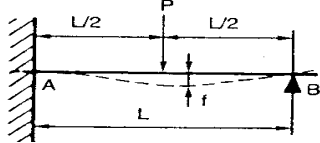
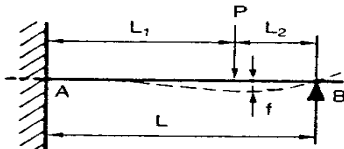
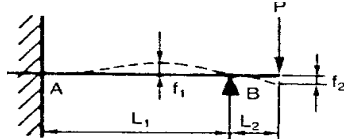
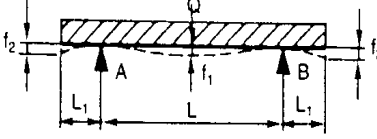

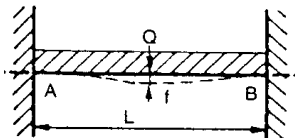
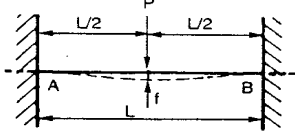
| MOMENTOS DE INERCIA Y RESISTENCIA   |  |  |
|---|--|--|
| SUPERFICIE  | INERCIA  | RESISTENTE   |
|    | 1.<br>a) $I_{xx'} = \frac{ba^3}{12}$<br>b) $I_{yy'} = \frac{ab^3}{12}$                 | 7.<br>a) $W_{xx'} = \frac{ba^2}{6}$<br>b) $W_{yy'} = \frac{ab^2}{6}$                 |
|    | 2.<br>a) $I_{xx'} = \frac{B}{12} (A^3 - a^3)$<br>b) $I_{yy'} = \frac{B^3}{12} (A - a)$ | 8.<br>a) $V_{xx'} = \frac{B}{6} (A^3 - a^3)$<br>b) $W_{yy'} = \frac{B^2}{6} (A - a)$ |
|    | 3.<br>$I_{xx'} = I_{yy'} = \frac{\pi d^4}{64}$   | 9.<br>$W_{xx'} = W_{yy'} = \frac{\pi d^3}{32}$                                       |
|  | 4.<br>$I_{xx'} = I_{yy'} = \frac{\pi (D^4 - d^4)}{64}$                                 | 10.<br>$W_{xx'} = W_{yy'} = \frac{\pi (D^4 - d^4)}{32 D}$                            |
|  | 5.<br>$I_{xx'} = \frac{BA^3 - ba^3}{12}$   | 11.<br>$W_{xx'} = \frac{BA^3 - ba^3}{6 A}$   |
|  | 6.<br>$I_{xx'} = \frac{BA^3 - ba^3}{12}$   | 12.<br>$W_{xx'} = \frac{BA^3 - ba^3}{6 A}$   |



Tabla A3.7 Flecha

| TECNOLOGÍA MECÁNICA  |   |
|--|---|
| Diagrama   | Ecuación  |
| 1)    | $f = \frac{5 \cdot Q \cdot L^3}{384 \cdot E \cdot I}$   |
| 2)    | $f = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I}$  |
| 3)    | <p>Para <math>L_1 &lt; L_2</math></p> $f = \frac{P \cdot L_1}{27 \cdot E \cdot I \cdot L} \cdot \sqrt{3(L^2 - L_1^2)^3}$ <p>Para <math>L_1 &gt; L_2</math></p> $f = \frac{P \cdot L_2}{27 \cdot E \cdot I \cdot L} \cdot \sqrt{3(L^2 - L_2^2)^3}$ |
| 4)  | $f = \frac{23 \cdot P \cdot L^3}{648 \cdot E \cdot I}$  |
| 5)  | $f = \frac{19 \cdot P \cdot L^3}{384 \cdot E \cdot I}$  |
| 6)  | $f = \frac{Q \cdot L^3}{8 \cdot E \cdot I}$   |
| 7)  | $f = \frac{P \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I}$   |
| 8)  | $f = \frac{P_2 \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{P_1 \cdot L_1^3}{3 \cdot E \cdot I}$   |

**Tabla A3.8 Flecha**

|  |  |
|--|--|
| <p>9)</p>     | $f = \frac{Q \cdot L^3}{185 \cdot E \cdot I}$  |
| <p>10)</p>    | $f = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot \sqrt{5} \cdot E \cdot I}$  |
| <p>11)</p>    | <p>Para <math>L_2 \leq 0,414 L</math></p> $f = \frac{P \cdot L_2 \cdot L_1^2}{6 \cdot E \cdot I} \sqrt{\frac{L_2}{L_2 + 2 \cdot L}}$ <p>Para <math>L_2 &gt; 0,414 L</math></p> $f = \frac{P \cdot L_2}{3 \cdot E \cdot I} \cdot \frac{(L^3 - L_2^3)^3}{(3 \cdot L^2 - L_2^2)^2}$ |
| <p>12)</p>   | $f_1 = \frac{P \cdot L_1 \cdot L_2}{27 \cdot E \cdot I}$ $f_2 = \frac{P \cdot L_1^2}{12 \cdot E \cdot I} \cdot (3L + 4L_1)$  |
| <p>13)</p>  | $f = \frac{Q \cdot L_2^3}{24 \cdot E \cdot I} \cdot \left[ \frac{5}{16} - \frac{5L_1}{2L_2} + 6 \left( \frac{L_1}{L_2} \right)^2 - 4 \left( \frac{L_1}{L_2} \right)^3 - \left( \frac{L_1}{L_2} \right)^4 \right]$  |
| <p>14)</p>  | $f = \frac{P \cdot L^2 \cdot L_1}{8 \cdot E \cdot I}$  |
| <p>15)</p>  | $f = \frac{Q \cdot L^3}{384 \cdot E \cdot I}$  |
| <p>16)</p>  | $f = \frac{P \cdot L^3}{192 \cdot E \cdot I}$  |

**Tabla A3.9 Coeficiente de Pandeo del Acero**

| W   | Coeficiente de pandeo $\omega$ para acero tipo A 42 |      |      |      |      |       |       |       |       |       | $\lambda$ |
|-----|---|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|
|     | 0   | 1    | 2    | 3    | 4    | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     |           |
| 20  | 1,02  | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,02 | 1,03  | 1,03  | 1,03  | 1,03  | 1,04  | 20        |
| 30  | 1,04  | 1,04 | 1,04 | 1,05 | 1,05 | 1,05  | 1,06  | 1,06  | 1,07  | 1,07  | 30        |
| 40  | 1,07  | 1,08 | 1,08 | 1,09 | 1,09 | 1,10  | 1,10  | 1,11  | 1,12  | 1,12  | 40        |
| 50  | 1,13  | 1,14 | 1,14 | 1,15 | 1,16 | 1,17  | 1,18  | 1,19  | 1,20  | 1,21  | 50        |
| 60  | 1,22  | 1,23 | 1,24 | 1,25 | 1,26 | 1,27  | 1,29  | 1,30  | 1,31  | 1,33  | 60        |
| 70  | 1,34  | 1,36 | 1,37 | 1,39 | 1,40 | 1,42  | 1,44  | 1,46  | 1,47  | 1,49  | 70        |
| 80  | 1,51  | 1,53 | 1,55 | 1,57 | 1,60 | 1,62  | 1,64  | 1,66  | 1,69  | 1,71  | 80        |
| 90  | 1,74  | 1,76 | 1,79 | 1,81 | 1,84 | 1,86  | 1,89  | 1,92  | 1,95  | 1,98  | 90        |
| 100 | 2,01  | 2,03 | 2,06 | 2,09 | 2,13 | 2,16  | 2,19  | 2,22  | 2,25  | 2,29  | 100       |
| 110 | 2,32  | 2,35 | 2,39 | 2,42 | 2,46 | 2,49  | 2,53  | 2,56  | 2,60  | 2,64  | 110       |
| 120 | 2,67  | 2,71 | 2,75 | 2,79 | 2,82 | 2,86  | 2,90  | 2,94  | 2,98  | 3,02  | 120       |
| 130 | 3,06  | 3,11 | 3,15 | 3,19 | 3,23 | 3,27  | 3,32  | 3,36  | 3,40  | 3,45  | 130       |
| 140 | 3,49  | 3,54 | 3,58 | 3,63 | 3,67 | 3,72  | 3,77  | 3,81  | 3,86  | 3,91  | 140       |
| 150 | 3,96  | 4,00 | 4,05 | 4,10 | 4,15 | 4,20  | 4,25  | 4,30  | 4,35  | 4,40  | 150       |
| 160 | 4,45  | 4,51 | 4,56 | 4,61 | 4,66 | 4,72  | 4,77  | 4,82  | 4,88  | 4,93  | 160       |
| 170 | 4,99  | 5,04 | 5,10 | 5,15 | 5,21 | 5,26  | 5,32  | 5,38  | 5,44  | 5,49  | 170       |
| 180 | 5,55  | 5,61 | 5,67 | 5,73 | 5,79 | 5,85  | 5,91  | 5,97  | 6,03  | 6,09  | 180       |
| 190 | 6,15  | 6,21 | 6,27 | 6,34 | 6,40 | 6,46  | 6,53  | 6,59  | 6,65  | 6,72  | 190       |
| 200 | 6,78  | 6,85 | 6,91 | 6,98 | 7,05 | 7,11  | 7,18  | 7,25  | 7,31  | 7,38  | 200       |
| 210 | 7,45  | 7,52 | 7,59 | 7,66 | 7,72 | 7,79  | 7,86  | 7,93  | 8,01  | 8,08  | 210       |
| 220 | 8,15  | 8,22 | 8,29 | 8,36 | 8,44 | 8,51  | 8,58  | 8,66  | 8,73  | 8,80  | 220       |
| 230 | 8,88  | 8,95 | 9,03 | 9,11 | 9,18 | 9,26  | 9,33  | 9,41  | 9,49  | 9,57  | 230       |
| 240 | 9,64  | 9,72 | 9,80 | 9,88 | 9,96 | 10,04 | 10,12 | 10,20 | 10,28 | 10,36 | 240       |
| 250 | 10,44   |      |      |      |      |       |       |       |       |       | 250       |

| W   | Coeficiente de pandeo $\omega$ para acero tipo A 52 |       |       |       |       |       |       |       |       |       | $\lambda$ |
|-----|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|
|     | 0   | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     |           |
| 20  | 1,02  | 1,02  | 1,03  | 1,03  | 1,03  | 1,04  | 1,04  | 1,04  | 1,05  | 1,05  | 20        |
| 30  | 1,05  | 1,06  | 1,06  | 1,07  | 1,07  | 1,08  | 1,08  | 1,09  | 1,10  | 1,10  | 30        |
| 40  | 1,11  | 1,12  | 1,13  | 1,13  | 1,13  | 1,15  | 1,16  | 1,17  | 1,18  | 1,19  | 40        |
| 50  | 1,20  | 1,22  | 1,23  | 1,24  | 1,25  | 1,27  | 1,28  | 1,30  | 1,31  | 1,33  | 50        |
| 60  | 1,35  | 1,37  | 1,39  | 1,41  | 1,43  | 1,45  | 1,47  | 1,49  | 1,51  | 1,54  | 60        |
| 70  | 1,56  | 1,59  | 1,61  | 1,64  | 1,66  | 1,69  | 1,72  | 1,75  | 1,78  | 1,81  | 70        |
| 80  | 1,84  | 1,87  | 1,90  | 1,94  | 1,97  | 2,01  | 2,04  | 2,08  | 2,11  | 2,15  | 80        |
| 90  | 2,18  | 2,22  | 2,26  | 2,30  | 2,34  | 2,38  | 2,42  | 2,46  | 2,50  | 2,54  | 90        |
| 100 | 2,59  | 2,63  | 2,67  | 2,72  | 2,76  | 2,81  | 2,85  | 2,90  | 2,95  | 2,99  | 100       |
| 110 | 3,04  | 3,09  | 3,14  | 3,19  | 3,24  | 3,29  | 3,34  | 3,39  | 3,44  | 3,49  | 110       |
| 120 | 3,55  | 3,60  | 3,65  | 3,71  | 3,76  | 3,82  | 3,87  | 3,93  | 3,98  | 4,04  | 120       |
| 130 | 4,10  | 4,16  | 4,22  | 4,27  | 4,33  | 4,39  | 4,45  | 4,52  | 4,58  | 4,64  | 130       |
| 140 | 4,70  | 4,76  | 4,83  | 4,89  | 4,95  | 5,02  | 5,08  | 5,15  | 5,22  | 5,28  | 140       |
| 150 | 5,35  | 5,42  | 5,48  | 5,55  | 5,62  | 5,69  | 5,76  | 5,83  | 5,90  | 5,97  | 150       |
| 160 | 6,04  | 6,12  | 6,19  | 6,26  | 6,34  | 6,41  | 6,48  | 6,56  | 6,63  | 6,71  | 160       |
| 170 | 6,79  | 6,86  | 6,94  | 7,02  | 7,09  | 7,17  | 7,25  | 7,33  | 7,41  | 7,49  | 170       |
| 180 | 7,57  | 7,65  | 7,73  | 7,82  | 7,90  | 7,98  | 8,07  | 8,15  | 8,24  | 8,32  | 180       |
| 190 | 8,40  | 8,49  | 8,58  | 8,66  | 8,75  | 8,84  | 8,93  | 9,02  | 9,10  | 9,19  | 190       |
| 200 | 9,28  | 9,37  | 9,47  | 9,56  | 9,65  | 9,74  | 9,83  | 9,92  | 10,02 | 10,11 | 200       |
| 210 | 10,21   | 10,30 | 10,40 | 10,49 | 10,59 | 10,69 | 10,78 | 10,88 | 10,98 | 11,08 | 210       |
| 220 | 11,18   | 11,27 | 11,36 | 11,48 | 11,57 | 11,68 | 11,78 | 11,88 | 11,98 | 12,09 | 220       |
| 230 | 12,19   | 12,29 | 12,40 | 12,50 | 12,61 | 12,72 | 12,82 | 12,93 | 13,03 | 13,14 | 230       |
| 240 | 13,25   | 13,36 | 13,47 | 13,58 | 13,69 | 13,80 | 13,91 | 14,02 | 14,13 | 14,25 | 240       |
| 250 | 14,36   |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 250       |

Fuente: Larbuo, Nicolás; Prontuario de Máquinas, pág. 201




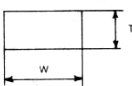
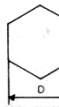
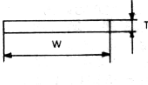

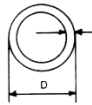
**Tabla A3.10 Pesos Teóricos de los aceros**

**Fórmulas para calcular los pesos teóricos**

**INFORMACIÓN**

De acuerdo a las distintas necesidades de diferentes productos se ha formado los siguientes 3 grupos:

- Aceros inoxidables basados con una densidad de 800 Kg/m<sup>3</sup>
- Aceros rápidos basados con una densidad de 8200 Kg/m<sup>3</sup>
- Otros aceros basados con una densidad de 7850 Kg/m<sup>3</sup>

| SECCION  | FORMULA   | FIGURAS DE CALCULO   |  |  |
|--|---|--|--|--|
|  |   | ACERO INOXIDABLE   | ACERO RAPIDO                               | OTROS                                      |
| BARRA MACIZA<br>      | $\frac{D \times D \times \pi \times \rho}{4}$               | $= \frac{6.28 \times D \times D}{1000}$<br>D en mm, da el peso en kg/m             | $\frac{6.44 \times D \times D}{1000}$      | $\frac{6.16 \times D \times D}{1000}$      |
| BARRA HUECA<br>       | $\frac{(D^2 - d^2) \times \pi \times \rho}{4}$              | $= \frac{6.28 \times (D^2 - d^2)}{1000}$<br>D en mm, da el peso en kg/m            | $\frac{6.44 \times (D^2 - d^2)}{1000}$     | $\frac{6.16 \times (D^2 - d^2)}{1000}$     |
| BARRA CUADRADA<br>   | $D \times D \times \rho$                                    | $= \frac{8.0 \times D \times D}{1000}$<br>D en mm, da el peso en kg/m              | $\frac{8.2 \times D \times D}{1000}$       | $\frac{7.85 \times D \times D}{1000}$      |
| PLATINA<br>         | $W \times T \times \rho$                                    | $= \frac{8.0 \times W \times T}{1000}$<br>W y T en mm, da el peso en kg/m          | $\frac{8.2 \times W \times T}{1000}$       | $\frac{7.85 \times W \times T}{1000}$      |
| BARRA HEXAGONAL<br> | $\frac{D \times D \times \pi \times \rho \times 1.1027}{4}$ | $= \frac{6.45 \times D \times D}{1000}$<br>D en mm, da el peso en kg/m             | $\frac{6.61 \times D \times D}{1000}$      | $\frac{6.33 \times D \times D}{1000}$      |
| LAMINAS<br>         | $W \times T \times \rho$                                    | $= 0.8 \times W \times T$<br>W y T en mm, da el peso en kg/100m                    | $0.82 \times W \times T$                   | $0.785 \times W \times T$                  |
| PLANCHAS<br>        | $L \times W \times T \times \rho$                           | $= 8.0 \times L \times W \times T$<br>L, W en m y T en mm, da el peso en kg/pedazo | $8.2 \times L \times W \times T$           | $7.85 \times L \times W \times T$          |
| TUBERIAS<br>        | $\frac{C \times (D-T) \times T}{4}$<br>C = Constante        | $= \frac{25.04 \times (D-T) \times T}{1000}$<br>D y T en mm, da el peso en kg/m    | $\frac{25.66 \times (D-T) \times T}{1000}$ | $\frac{24.66 \times (D-T) \times T}{1000}$ |

**Abreviaturas:**

D = diámetro    L = largo  
 ρ = densidad    W = ancho  
 π = 3.1416    T = espesor

**Tabla A3.11 Fuerza de montaje**

| L= 2"             |                    |                    | Interferencia (Pulg.) |       |       |       |       |
|-------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|
|                   |                    |                    | 0,002                 | 0,003 | 0,004 | 0,005 | 0,006 |
| Factor de presión | Diámetro (D) Pulg. | Diámetro (d) Pulg. | Fuerza (Tm)           |       |       |       |       |
| 448               | 1,102              | 0,787              | 1,257                 | 1,885 | 2,514 | 3,142 | 3,770 |
| 375               | 1,299              | 0,984              | 0,990                 | 1,484 | 1,979 | 2,474 | 2,969 |
| 325               | 1,496              | 1,181              | 0,827                 | 1,241 | 1,655 | 2,068 | 2,482 |

(a)

**Tm(promedio) = 3,1**

**Rodamientos:**

- 1) 6204 - 2RS
- 2) 6205 - 2RSC3
- 3) 6206 - 2RS

| L= 2"             |                    | Interferencia (Pulg.) |       |       |       |       |
|-------------------|--------------------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|
|                   |                    | 0,002                 | 0,003 | 0,004 | 0,005 | 0,006 |
| Factor de presión | Diámetro (d) Pulg. | Fuerza (Tm)           |       |       |       |       |
| 448               | 0,787              | 3,140                 | 4,710 | 6,280 | 7,850 | 9,420 |
| 375               | 0,984              | 3,091                 | 4,710 | 6,183 | 7,728 | 9,274 |
| 325               | 1,181              | 3,102                 | 4,653 | 6,203 | 7,754 | 9,305 |

(b)

**Tm(promedio) = 9,3**

**Rodamientos:**

- 1) 6204 - 2RS
- 2) 6205 - 2RSC3
- 3) 6206 - 2RS

**FUERZA PROMEDIO = 6,2 Tm**



**ANEXO 4**  
**TABLAS PARA TORNILLOS:**  
**ORDINARIOS, CALIBRADOS, Y DE ALTA RESISTENCIA**

**Tabla A4.4 Tornillos y tuercas con rosca métrica.**

| DIMENSIONES TORNILLO Y TUERCA (mm) |      |           |          | TORNILLO TUERCA | Ø BROCA TUERCA (mm) |         | Ø AGUJERO PASANTE (mm) |      |
|------------------------------------|------|-----------|----------|-----------------|---------------------|---------|------------------------|------|
| Ø nominal                          | Paso | Ø Flancos | Ø Núcleo |                 | Profund. (mm)       | Serie I | Serie II               | Fino |
| 2                                  | 0,4  | 1,74      | 1,48     | 0,26            | 1,5                 | 1,6     | 2,2                    | 2,4  |
| 2,5                                | 0,45 | 2,208     | 1,948    |                 |                     |         |                        |      |
| 3                                  | 0,5  | 2,675     | 2,35     | 0,325           | 2,4                 | 2,5     | 3,2                    | 3,6  |
| 3,5                                | 0,6  | 3,11      | 2,72     | 0,39            | 2,8                 | 2,9     | 3,7                    | 4,2  |
| 4                                  | 0,7  | 3,545     | 3,09     | 0,455           | 3,2                 | 3,3     | 4,3                    | 4,8  |
| 5                                  | 8    | 4,48      | 3,96     | 0,52            | 4,1                 | 4,2     | 5,2                    | 5,8  |
| 6                                  | 1    | 5,35      | 4,7      | 0,65            | 4,8                 | 5       | 6,4                    | 7    |
| 8                                  | 1,25 | 7,188     | 6,376    | 0,812           | 6,5                 | 6,7     | 8,4                    | 9,8  |
| 10                                 | 1,5  | 9,026     | 8,052    | 0,974           | 8,2                 | 8,4     | 10,5                   | 11,5 |
| 12                                 | 1,75 | 10,863    | 9,726    | 1,137           | 9,9                 | 10      | 13                     | 14   |
| 14                                 | 2    | 12,701    | 11,402   | 1,299           | 11,5                | 11,75   | 15                     | 16   |
| 16                                 | 2    | 14,701    | 13,402   | 1,299           | 13,5                | 13,75   | 17                     | 18   |
| 18                                 | 2,5  | 16,376    | 14,752   | 1,624           | 15                  | 15,25   | 19                     | 20   |
| 20                                 | 2,5  | 18,376    | 16,752   | 1,624           | 17                  | 17,25   | 21                     | 23   |
| 22                                 | 2,5  | 20,376    | 18,752   | 1,624           | 19                  | 19,25   | 23                     | 25   |
| 24                                 | 3    | 22,051    | 20,102   | 1,949           | 20,5                | 20,75   | 25                     | 27   |
| 27                                 | 3    | 25,051    | 23,102   | 1,949           | 23,5                | 23,75   | 29                     | 30   |
| 30                                 | 3,5  | 27,727    | 25,454   | 2,273           | 25,75               | 26      | 32                     | 33   |
| 33                                 | 3,5  | 30,727    | 28,454   | 2,273           | 28,75               | 29      | 35                     | 36   |
| 36                                 | 4    | 33,402    | 30,804   | 2,598           | 31                  | 31,5    | 38                     | 40   |
| 39                                 | 4    | 36,402    | 33,804   | 2,598           | 34                  | 34,5    | 40                     | 42   |
| 42                                 | 4,5  | 39,077    | 36,154   | 2,923           | 36,5                | 37      | 44                     | 45   |
| 45                                 | 4,5  | 42,077    | 39,154   | 2,923           | 39,5                | 40      | 47                     | 48   |
| 48                                 | 5    | 44,752    | 41,504   | 3,248           | 42                  | 42,5    | 50                     | 52   |
| 52                                 | 5    | 48,752    | 45,504   | 3,248           | 46                  | 46,5    | 54                     | 56   |

**Fuente:** Vilorio, José; *Prontuario de Mecánica Industrial Aplicada*, pág. 235

**Tabla A4.3 Propiedades Mecánicas de los tornillos**

| Clase tornillo Norma NBE EA-95                           |           | Ordinarios |      |     |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |  |
|--|-----------|------------|------|-----|------|------|------------------|------|------|------|------|------|------|--|
|  |           | calibrados |      |     |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |  |
|  |           |            |      |     |      |      | Alta resistencia |      |      |      |      |      |      |  |
| Clase de resistencia Norma DIN267                        | nueva     | 3,6        | 4,6  | 4,8 | 5,6  | 5,8  | 6,6*             | 6,8* | 6,9* | 8,8* | 10,9 | 12,9 | 14,9 |  |
|  | anterior  | 4A         | 4D   | 4S  | 5D   | 5S   | 6D               | 6S   | 6G   | 8G   | 10K  | 12K  | —    |  |
| Resistencia a la tracción $\sigma_t$ Kp/mm <sup>2</sup>  | mín.      | 34         | 40   |     | 50   |      |                  | 60   |      | 80   | 100  | 120  | 140  |  |
|  | Máx.      | 49         | 55   |     | 70   |      |                  | 80   |      | 100  | 120  | 140  | 160  |  |
| Limite de fluencia $S_y$ Kp/mm <sup>2</sup>              | mín.      | 20         | 24   | 32  | 30   | 40   | 36               | 48   | —    | —    | —    | —    | —    |  |
|  |           |            |      |     |      |      |                  |      | 54   | 64   | 90   | 108  | 126  |  |
| Limite de alargamiento $\sigma_{0,2}$ Kp/mm <sup>2</sup> | mín.      | —          | —    | —   | —    | —    | —                | —    | 54   | 64   | 90   | 108  | 126  |  |
|  |           |            |      |     |      |      |                  |      |      |      |      |      |      |  |
| Tensión de ensayo $\sigma_{ZL}$ Kp/mm <sup>2</sup>       |           | 18,8       | 22,6 | 29  | 28,2 | 36,4 | 33,9             | 43,7 | 47,5 | 58,2 | 79,2 | 95   | 111  |  |
| Alargamiento de rotura $\delta_s$ Kp/mm <sup>2</sup>     |           | 25         | 25   | 14  | 20   | 10   | 16               | 8    | 12   | 12   | 9    | 8    | 7    |  |
| Dureza Rockwell  | HRB mín.  | 47         | 63   |     | 78   |      | 88               |      | —    | —    | —    | —    | —    |  |
|  | máx.      | 82         | 80   |     | 97   |      | 102              |      | —    | —    | —    | —    | —    |  |
| Dureza HRC   | mín.      | —          | —    |     | —    |      | —                |      | 18   | 27   | 34   | 40   | —    |  |
|  | máx.      |            |      |     |      |      |                  |      | 31   | 38   | 44   | 49   | —    |  |
| Dureza Brinell   | HB mín.   | 90         | 110  |     | 140  |      | 170              |      | 225  | 280  | 330  | 390  | —    |  |
|  | HB máx.   | 150        | 170  |     | 215  |      | 245              |      | 300  | 365  | 425  | —    | —    |  |
| Dureza Vickers   | HV30 mín. | 90         | 110  |     | 140  |      | 170              |      | 225  | 280  | 330  | 400  | —    |  |
|  | HV30 máx. | 150        | 170  |     | 215  |      | 245              |      | 300  | 370  | 440  | 510  | —    |  |
| Resiliencia Kp/cm <sup>2</sup> mín.                      |           | —          |      |     | 5    | —    | 4                | —    | 3    | 6    | 4    | 3    | 3    |  |

Las clases de resistencia sirven incluso para tuercas, en el caso de los tornillos de alta resistencia solo los que están marcados con el asterisco (\*)

**Fuente:** Vitoria, José; *Prontuario de Mecánica Industrial Aplicada*, pág. 53

**Tabla A4.1** Longitudes de apretadura de los tornillos Ordinarios y Calibrados

| Long.<br>del<br>vástago<br>l mm | Límites de la longitud de apretadura t, en mm, del tipo: |         |              |              |              |              |              |              |              |              |
|---------------------------------|--|---------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                                 | T 10   | T 12    | T 16         | T 20         | T 22         | T 24         | T 27         | T 30         | T 33         | T 36         |
|                                 | TC 10  | TC 12   | TC 16        | TC 20        | TC 22        | TC 24        | TC 27        | TC 30        | TC 33        | TC 36        |
| 30                              | 6 a 10   | 4 a 8   |              | -            | -            | -            | -            | -            | -            | -            |
| 35                              | 11 a 15  | 9 a 13  | 5 a 9        | -            | -            | -            | -            | -            | -            | -            |
| 40                              | 16 a 20  | 14 a 18 | 10 a 14      | 6 a 10       | 5 a 9        | -            | -            | -            | -            | -            |
| 45                              | 21 a 25<br>a   | 19 a 23 | 15 a 19      | 11 a 15      | 10 a 14      | 8 a 12       | -            | -            | -            | -            |
| 50                              | 26 a 30  | 24 a 28 | 20 a 24      | 16 a 20      | 15 a 19      | 13 a 17      | -            | -            | -            | -            |
| 55                              | 31 a 35  | 29 a 33 | 25 a 29      | 21 a 25      | 20 a 24      | 18 a 22      | -            | -            | -            | -            |
| 60                              | 36 a 40  | 34 a 38 | 30 a 34      | 26 a 30      | 25 a 29      | 23 a 27      | 20 a 24      | -            | -            | -            |
| 65                              | 41 a 45  | 39 a 43 | 35 a 39      | 31 a 35      | 30 a 34      | 28 a 32      | 25 a 29      | -            | -            | -            |
| 70                              | 46 a 50  | 44 a 48 | 40 a 44      | 36 a 40      | 35 a 39      | 33 a 37      | 30 a 34      | -            | -            | -            |
| 75                              | 51 a 55  | 49 a 53 | 45 a 49      | 41 a 45      | 40 a 44      | 38 a 42      | 35 a 39      | -            | -            | -            |
| 80                              | -  | 54 a 58 | 50 a 54      | 46 a 50      | 45 a 49      | 43 a 47      | 40 a 44      | 38 a 42      | -            | -            |
| 90                              | -  | 64 a 68 | 60 a 64      | 56 a 60      | 55 a 59      | 53 a 57      | 50 a 54      | 48 a 52      | -            | -            |
| 95                              | -  | 69 a 73 | 65 a 69      | 61 a 65      | 60 a 64      | 58 a 62      | 55 a 59      | 53 a 57      | -            | -            |
| 100                             | -  | 74 a 78 | 70 a 74      | 66 a 70      | 65 a 69      | 63 a 67      | 60 a 64      | 58 a 62      | 55 a 59      | 52 a 56      |
| 105                             | -  | 79 a 83 | 75 a 79      | 71 a 75      | 70 a 74      | 68 a 72      | 65 a 69      | 63 a 67      | 60 a 64      | 57 a 61      |
| 110                             | -  | 84 a 88 | 80 a 84      | 76 a 80      | 75 a 79      | 73 a 77      | 70 a 74      | 68 a 72      | 65 a 69      | 62 a 66      |
| 115                             | -  | 89 a 93 | 85 a 89      | 81 a 85      | 80 a 84      | 78 a 82      | 75 a 79      | 73 a 77      | 70 a 74      | 67 a 71      |
| 120                             | -  | 94 a 98 | 90 a 94      | 86 a 90      | 85 a 89      | 83 a 87      | 80 a 84      | 78 a 82      | 75 a 79      | 72 a 76      |
| 125                             | -  | -       | 95 a 99      | 91 a 95      | 90 a 94      | 88 a 92      | 85 a 89      | 83 a 87      | 80 a 84      | 77 a 81      |
| 130                             | -  | -       | 100 a<br>104 | 96 a<br>100  | 95 a 99      | 93 a 97      | 90 a 94      | 88 a 92      | 85 a 89      | 82 a 86      |
| 135                             | -  | -       | 110 a<br>114 | 101 a<br>105 | 100 a<br>104 | 98 a<br>102  | 95 a 99      | 93 a 97      | 90 a 94      | 87 a 91      |
| 140                             | -  | -       | 115 a<br>119 | 106 a<br>110 | 105 a<br>109 | 103 a<br>107 | 100 a<br>104 | 98 a 102     | 95 a 99      | 92 a 96      |
| 145                             | -  | -       | 120 a<br>124 | 111 a<br>115 | 110 a<br>114 | 108 a<br>112 | 105 a<br>109 | 103 a<br>107 | 100 a<br>104 | 97 a<br>101  |
| 150                             | -  | -       | -            | 116 a<br>120 | 115 a<br>119 | 113 a<br>117 | 110 a<br>114 | 108 a<br>112 | 105 a<br>109 | 102 a<br>106 |

**Fuente:** Norma Básica de la Edificación EA-95, págs. 49 y 50

**Tabla A4.2** Longitudes de apretadura de los tornillos de Alta Resistencia

| Long.<br>del<br>vástago<br>l mm | Límites de la longitud de apretadura, t, en<br>mm de los tornillos del tipo |       |       |       |         |         |
|---------------------------------|---|-------|-------|-------|---------|---------|
|                                 | TR 12   | TR 16 | TR 20 | TR 22 | TR 24   | TR 27   |
| 30                              | 6-10  | -     | -     | -     | -       | -       |
| 35                              | 11-14   | -     | -     | -     | -       | -       |
| 40                              | 15-19   | 10-14 | -     | -     | -       | -       |
| 45                              | 20-24   | 15-19 | -     | -     | -       | -       |
| 50                              | 25-29   | 20-23 | 15-19 | -     | -       | -       |
|                                 |   |       |       |       |         |         |
| 55                              | 30-34   | 24-28 | 20-24 | 19-23 | -       | -       |
| 60                              | 35-38   | 29-33 | 25-29 | 24-28 | 22-26   | -       |
| 65                              | 39-43   | 34-38 | 30-34 | 29-33 | 27-31   | -       |
| 70                              | 44-48   | 39-43 | 35-39 | 34-37 | 32-36   | 27-31   |
| 75                              | -   | 44-48 | 40-44 | 38-42 | 37-41   | 32-36   |
|                                 |   |       |       |       |         |         |
| 80                              | -   | 49-52 | 45-49 | 43-47 | 42-46   | 37-41   |
| 85                              | -   | 53-57 | 50-53 | 48-52 | 47-50   | 42-46   |
| 90                              | -   | 58-62 | 54-58 | 53-57 | 51-55   | 47-51   |
| 95                              | -   | 63-67 | 59-63 | 58-62 | 56-60   | 52-56   |
| 100                             | -   | 68-72 | 64-68 | 63-67 | 61-65   | 57-61   |
|                                 |   |       |       |       |         |         |
| 105                             | -   | 73-77 | 69-73 | 68-72 | 66-70   | 62-66   |
| 110                             | -   | -     | 74-78 | 73-77 | 71-75   | 67-71   |
| 115                             | -   | -     | 79-83 | 78-82 | 76-80   | 72-76   |
| 120                             | -   | -     | 84-88 | 83-86 | 81-85   | 77-80   |
| 125                             | -   | -     | 89-92 | 87-91 | 86-89   | 81-85   |
|                                 |   |       |       |       |         |         |
| 130                             | -   | -     | 93-97 | 92-96 | 90-94   | 86-90   |
| 135                             | -   | -     | -     | -     | 95-99   | 91-95   |
| 140                             | -   | -     | -     | -     | 100-104 | 96-100  |
| 145                             | -   | -     | -     | -     | 105-109 | 101-105 |
| 150                             | -   | -     | -     | -     | 110-114 | 106-110 |
|                                 |   |       |       |       |         |         |
| 155                             | -   | -     | -     | -     | -       | 111-115 |
| 160                             | -   | -     | -     | -     | -       | 116-120 |

**Fuente:** Norma Básica de la Edificación EA-95, págs. 65 y 66


**ANEXO 5**  
**CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES UTILIZADOS**

**Tabla A5.1 Dimensiones de Gatos Hidráulicos tipo botella**

### GATOS HIDRÁULICOS DE BOTELLA


La base, el cilindro y el depósito forman un bloque compacto que proporciona mayor robustez y seguridad.

Absorben el esfuerzo lateral que produce la inclinación del eje del vehículo al ser elevado, sin que exista posibilidad de girarse porque no hay roce metálico entre el pistón y el cilindro, aunque el gato se incline. (ver pág. 6)  
De mantenimiento fácil y rápido.  
Con asa de transporte a partir del MG-20.




Los modelos MGD-50 y MGD-100 disponen de dos bombas (aproximación y trabajo).


### GATOS HIDRÁULICOS DE BOTELLA




Sobredimensionado espesor de base. Gran robustez y estabilidad.




Husillo de aproximación rápida a la carga.




**MG-50**




**MG-20**



**MG-15**

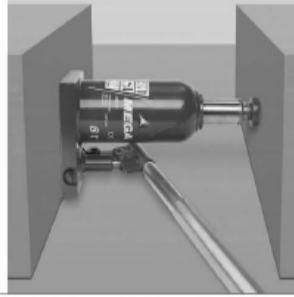


**MG-30**

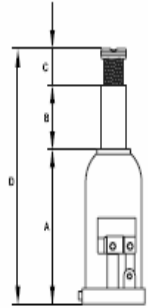


Válvula de seguridad. Hasta 5t, opcional.

Los gatos MEGA pueden ser utilizados para trabajos en horizontal, colocando la bomba hacia abajo, según la figura.



Válvula de seguridad. Limitador hidráulico de recorrido.



| Capacidad (t) | 2    | 3    | 3     | 5    | 8    | 10    | 12    | 15    | 20    | 25    | 30    | 40    | 50    | 50     | 100     |
|---------------|------|------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|
| A             | 160  | 168  | 210   | 212  | 219  | 219   | 226   | 228   | 234   | 240   | 242   | 246   | 252   | 270    | 300     |
| B             | 100  | 105  | 150   | 150  | 150  | 150   | 150   | 150   | 150   | 150   | 150   | 150   | 150   | 150    | 150     |
| C             | 50   | 65   | 65    | 75   | 75   | 75    | 75    | 75    | 75    | 75    | 75    | -     | -     | -      | -       |
| D             | 310  | 338  | 425   | 437  | 444  | 444   | 451   | 453   | 459   | 465   | 467   | 396   | 402   | 420    | 450     |
| Peso (kg)     | 3,6  | 3,9  | 4,2   | 5    | 5,9  | 6,5   | 8     | 9     | 12,1  | 15    | 15,5  | 23,5  | 28,5  | 40     | 87      |
| Referencias   | MG-2 | MG-3 | MG-3A | MG-5 | MG-8 | MG-10 | MG-12 | MG-15 | MG-20 | MG-25 | MG-30 | MG-40 | MG-50 | MGD-50 | MGD-100 |

Fuente: [www.mega-sa.com](http://www.mega-sa.com), Catálogo Mega págs. 20 y 21

**Tabla A5.2 Propiedades del acero SAE 1045**

**Aceros  
ESPECIALES**



**ASSAB 760 = AISI C 1045**  
Acero para construcción de maquinaria

**ANÁLISIS TÍPICO**

|             | C          | Si    | Mn         | P        | S        |
|-------------|------------|-------|------------|----------|----------|
| Assab 760   | 0.50%      | 0.30% | 0.60%      | --       | 0.04%    |
| Aisi C 1045 | 0.43-0.50% | --    | 0.60-0.90% | ≤ 0.040% | ≤ 0.050% |

**PROPIEDADES MECANICAS A 200 BRINELL**

|                                |                        |
|--------------------------------|------------------------|
| Resistencia a la tracción (Rm) | 640 N/mm2 = 65 kgf/mm2 |
| Punto de cedencia (Rp 0.2)     | 340 N/mm2 = 35 kgf/mm2 |
| Elongación A5                  | 20%                    |
| Estricción a la rotura Z       | 40%                    |
| Módulo de elasticidad          | 19980 kgf/mm2          |

**TRATAMIENTO TERMICO**

**Recocido blando:** Proteger el acero y calentarlo en toda su masa a 700°C. Enfriarlo en el horno 25°C por hora hasta 600°C y después libremente al aire.

**Alivio de tensiones:** Después del desbastado en máquina, debe calentarse la pieza en toda su masa a 650°C durante 2 horas. Enfriar lentamente hasta 500°C y luego libremente al aire.

**TEMPLE**

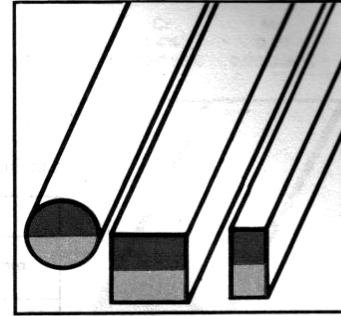
Temperatura de precalentamiento 650°C  
 Temperatura de austenización 820°C - 870°C  
 Proteger la pieza contra decarburización y oxidación durante el proceso de temple.  
 Enfriamiento: agua-aceite.

**GENERALIDADES**

Assab 760 es un acero al carbono, que se caracteriza por tener: excelente maquinabilidad, buena resistencia a la abrasión y buena resistencia mecánica. Dureza de suministro del material, sin recocer a aprox. 200 Brinell.

**APLICACIONES**

Está destinado principalmente para ser usado en su estado de suministro. Únicamente en ciertos casos, requerirá de un tratamiento térmico posterior. Se lo utiliza en: portapunzones, portadados, placas de guía, placas de respaldo, bastidores y guías para herramientas, dados dobladores simples y componentes estructurales simples.



Código de color  
**ROJO/ALUMINIO**

**EQUIVALENCIAS**

|                        |               |
|------------------------|---------------|
| AISI                   | C1045 - C1148 |
| SAE                    | 1045 - 1148   |
| WERKSTOFF              | 1.1820        |
| DIN                    | C55WS C45     |
| SKF                    | 047A          |
| <b>UDDEHOLM UHB 11</b> |               |

| REDONDO |                 |                  |
|---------|-----------------|------------------|
| mm      | APROX. PULGADAS | PESO APROX. kg/m |
| 140     | 5 1/2           | 120.1            |
| 170     | 6 11/16         | 177.2            |
| 180     | 7 1/8           | 198.6            |
| 190     | 7 1/2           | 221.3            |
| 200     | 7 7/8           | 247.1            |
| 230     | 9               | 324.3            |
| 250     | 9 7/8           | 383.1            |
| 305     | 12 1/64         | 573.0            |
| 350     | 13 25/32        | 754.6            |


| CUADRADO    |                 |           |                  |
|-------------|-----------------|-----------|------------------|
| mm          | APROX. PULGADAS |           | PESO APROX. kg/m |
| 12 x 12     | 15/32           | x 15/32   | 1.1              |
| 16 x 16     | 5/8             | x 5/8     | 2.0              |
| 18 x 18     | 23/32           | x 23/32   | 2.5              |
| 20 x 20     | 25/32           | x 25/32   | 3.1              |
| 25 x 25     | 1               | x 1       | 4.9              |
| 30 x 30     | 1 3/16          | x 1 3/16  | 7.1              |
| 35 x 35     | 1 3/8           | x 1 3/8   | 9.6              |
| 38.1 x 38.1 | 1 1/2           | x 1 1/2   | 11.4             |
| 40 x 40     | 1 9/16          | x 1 9/16  | 12.6             |
| 43 x 43     | 1 11/16         | x 1 11/16 | 14.5             |
| 45 x 45     | 1 3/4           | x 1 3/4   | 15.9             |
| 55 x 55     | 2 5/32          | x 2 5/32  | 23.7             |
| 70 x 70     | 2 3/4           | x 2 3/4   | 38.5             |
| 85 x 85     | 3 11/32         | x 3 11/32 | 56.7             |

| PLATINA  |                 |                  |
|----------|-----------------|------------------|
| mm       | APROX. PULGADAS | PESO APROX. kg/m |
| 6 x 30   | 7/32 x 15/32    | 1.4              |
| 6 x 35   | 1/4 x 1 3/8     | 1.6              |
| 6 x 40   | 1/4 x 1 9/16    | 1.9              |
| 6 x 45   | 1/4 x 1 3/4     | 2.1              |
| 6 x 50   | 1/4 x 1 31/32   | 2.4              |
| 6 x 60   | 1/4 x 2 3/8     | 2.8              |
| 8 x 30   | 5/16 x 1 3/16   | 1.9              |
| 8 x 40   | 5/16 x 1 9/16   | 2.5              |
| 8 x 60   | 5/16 x 2 3/8    | 3.8              |
| 8 x 69   | 5/16 x 2 11/16  | 4.3              |
| 10 x 30  | 3/8 x 1 3/16    | 2.4              |
| 10 x 35  | 3/8 x 1 3/8     | 2.7              |
| 10 x 40  | 3/8 x 1 9/16    | 3.1              |
| 10 x 57  | 3/8 x 2 1/4     | 4.5              |
| 10 x 60  | 3/8 x 2 3/8     | 4.7              |
| 10 x 90  | 3/8 x 3 17/32   | 7.1              |
| 10 x 110 | 3/8 x 4 5/16    | 8.6              |
| 10 x 120 | 3/8 x 4 3/4     | 9.4              |
| 12 x 30  | 15/32 x 1 3/16  | 2.8              |
| 12 x 40  | 15/32 x 1 9/16  | 3.8              |
| 12 x 57  | 15/32 x 2 7/32  | 5.4              |
| 12 x 90  | 15/32 x 3 17/32 | 8.5              |
| 12 x 170 | 15/32 x 6 11/16 | 16.0             |
| 15 x 30  | 19/32 x 1 3/16  | 3.5              |
| 15 x 40  | 19/32 x 1 9/16  | 4.7              |
| 15 x 60  | 19/32 x 2 3/8   | 7.1              |

Continúa ASSAB 760



**Tabla A5.3 Propiedades del acero SAE 1045**



V 945  
H

AISt: - 1045  
DIN: CK 45  
WN<sup>o</sup> 1.1191

Tipo de aleación: C 0.45 Si 0.3 Mn 0.7 %  
 Color de identificación: Rojo - Blanco - Rojo  
 Estado de suministro: Dureza natural 193 HB

**ACERO FINO AL CARBONO DE ALTA CALIDAD**  
 Gran pureza lograda con un proceso especial de fabricación y estricto control de calidad

**APLICACIONES:** Partes de maquinaria y repuestos sometidos a esfuerzos normales. Arboles de transmisión, ejes, pernos, tuercas, ganchos, pines de sujeción, pasadores, cuñas, chavetas, etc. También para herramientas de mano, portamatrices, etc.

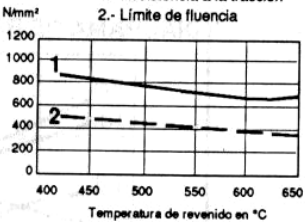
**INSTRUCCIONES PARA EL TRATAMIENTO**

**Forjar:** 1100 - 850 °C  
**Normalizar:** 840 - 870 °C  
**Recocer:** 650 - 700 °C  
 Enfriamiento lento en el horno  
**Temple:** al agua 820 - 850 °C  
**Dimensiones menores:** al aceite 830 - 860 °C  
**Revenido:** según el uso 100 - 300 °C  
 ó 550 - 660 °C  
**Nitrurado:** en baño de sal 580 °C

**SOLDADURA:** Con soldadura especial de alta resistencia. Según tamaño y complejidad del trabajo, se recomienda en pre-calentamiento. (FOX EV 50, FOX EV 63)

| Estado   | CARACTERÍSTICAS MECANICAS |  |  |                            |                    |
|----------|---------------------------|--|--|----------------------------|--------------------|
|          | Diámetro mm.              | Límite de fluencia min. kg/mm <sup>2</sup> | Resistencia a la tracción kg/mm <sup>2</sup> | Alargamiento (L=5d) min. % | Contracción min. % |
| Natural  | —                         | 37   | 65   | 15                         | 35                 |
| Recocido | 16 - 100                  | 34   | 60 - 75                                      | 17                         | 35                 |
|          | 100 - 250                 | 33   | 60 - 73                                      | 18                         | —                  |

1.- Resistencia a la tracción  
2.- Límite de fluencia



**RECOMENDACIONES PARA EL TORNEADO CON PASTILLAS SOLDADAS**

| Estado     | Prof. de corte m.m. | Avance mm/Rev. | Calidad BOHLERIT | ° | Velocidad de corte m/min. |
|------------|---------------------|----------------|------------------|---|---------------------------|
| Bonificado | 1 a 4               | 0.2 a 0.4      | SB 10 EB 10      | + | 210 a 150                 |
|            | 4 a 8               | 0.3 a 0.6      | SB 30 EB 20      | + | 160 a 110                 |
| Templado   | 1 a 4               | 0.2 a 0.4      | HB 10            | — | 50 a 30                   |
|            | 3 a 6               | 0.3 a 0.6      |                  |   | 35 a 15                   |

**Tabla A5.4** Propiedades del acero ASTM A-36 y A-42

**Características químicas y propiedades físicas**

| Especificación | Composición química % en peso (máximo) |           |       |       |           |    |   | Límite elástico<br>KSI mín. | Última tensión<br>KSI mín. | % de elong. en<br>8" mín. | Rango de<br>dimensión |
|----------------|--|-----------|-------|-------|-----------|----|---|-----------------------------|----------------------------|---------------------------|-----------------------|
|                | C                                      | Mn        | P     | S     | Si        | Cb | V |                             |                            |                           |                       |
| ASTMA-283-A    | 0.14                                   | 0.90      | 0.035 | 0.040 | 0.40      | -  | - | 24                          | 45 - 60                    | 27                        | 1                     |
| ASTMA-283-B    | 0.17                                   | 0.90      | 0.035 | 0.040 | 0.40      | -  | - | 27                          | 50 - 65                    | 25                        | 1                     |
| ASTMA-283-C    | 0.24                                   | 0.90      | 0.035 | 0.040 | 0.40      | -  | - | 30                          | 55 - 75                    | 22                        | 1                     |
| ASTMA-36       | 0.27                                   | 1.20      | 0.040 | 0.050 | 0.40      | -  | - | 36                          | 58 - 80                    | 20                        | 1                     |
| ABS A          | 0.23                                   | 1.35      | 0.035 | 0.040 | -         | -  | - | 34                          | 58 - 71                    | 21                        | 1                     |
| ABS B          | 0.21                                   | 0.80-1.10 | 0.035 | 0.040 | 0.35      | -  | - | 34                          | 58 - 71                    | 21                        | 1                     |
| ABS D          | 0.21                                   | 0.70-1.35 | 0.035 | 0.040 | 0.10-0.35 | -  | - | 34                          | 58 - 71                    | 21                        | 1                     |
| ABS E          | 0.18                                   | 0.70-1.35 | 0.035 | 0.040 | 0.10-0.35 | -  | - | 34                          | 58 - 71                    | 21                        | 1                     |

Fuente: [WWW.AHMSA.COM](http://WWW.AHMSA.COM), HandabookAHASA.pdf

| Tipo de acero (1) | Límite elástico(2) $\sigma_e$ kg/cm <sup>2</sup> |
|-------------------|--|
| A37               | 2400   |
| A42               | 2600   |
| A52               | 3600   |

(1) Para los aceros contemplados en la norma UNE 36 080 (EN 10 025) se tomarán los valores de límite elástico indicados en la citada norma.

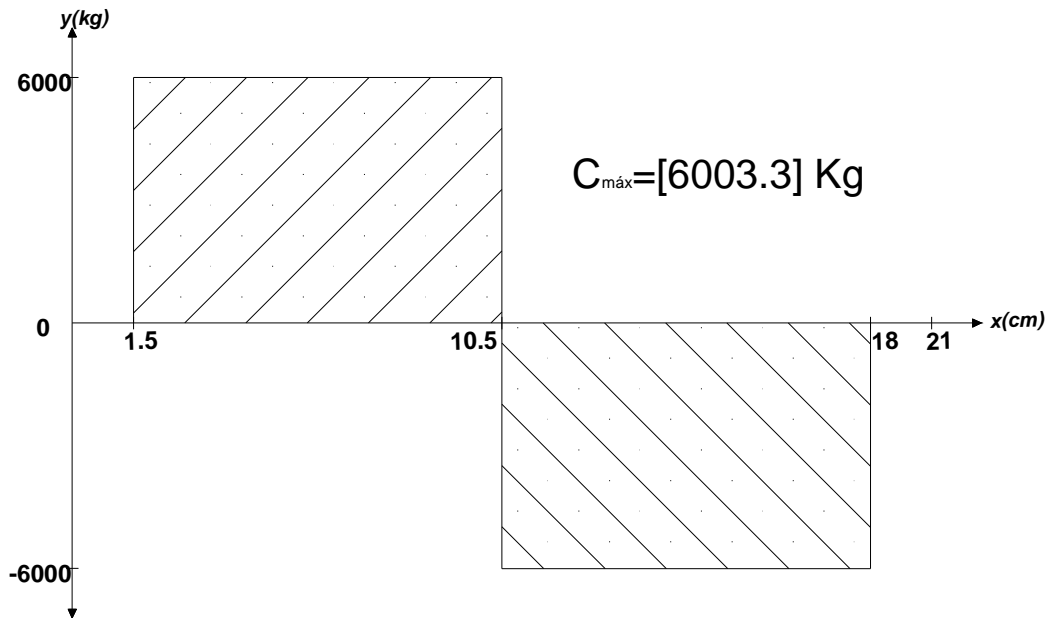
(2) Estos valores se aplicarán hasta espesores de 40 mm en acero A37 y acero A42.

Fuente: Norma Básica de la Edificación EA-95, pág. 84

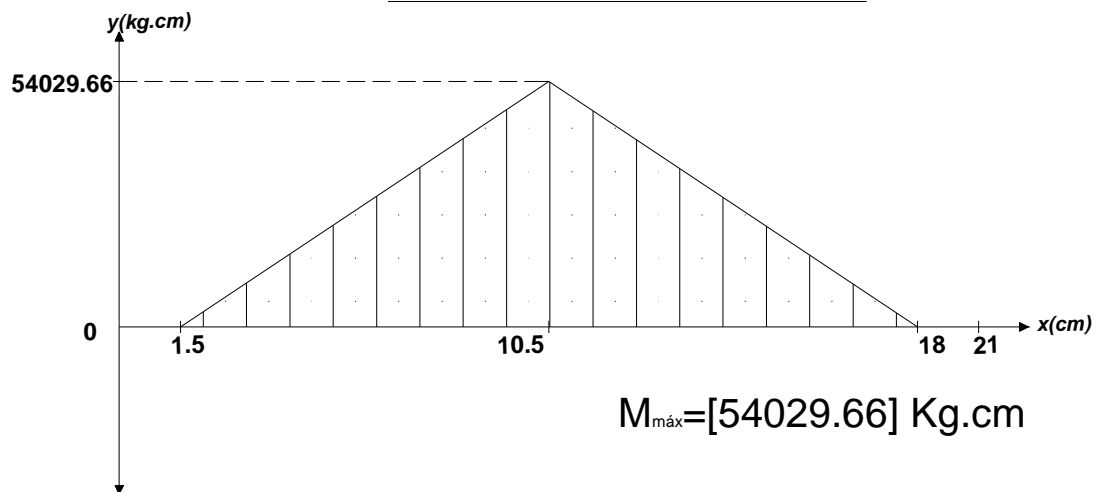
**ANEXO 6**  
**GRAFICAS DEL CORTANTE MÁXIMO Y MOMENTO FLECTOR, DE**  
**LOS COMPONENTES SOMETIDOS A FLEXIÓN**

## Platina de Montaje y Desmontaje

### Cortante Máximo

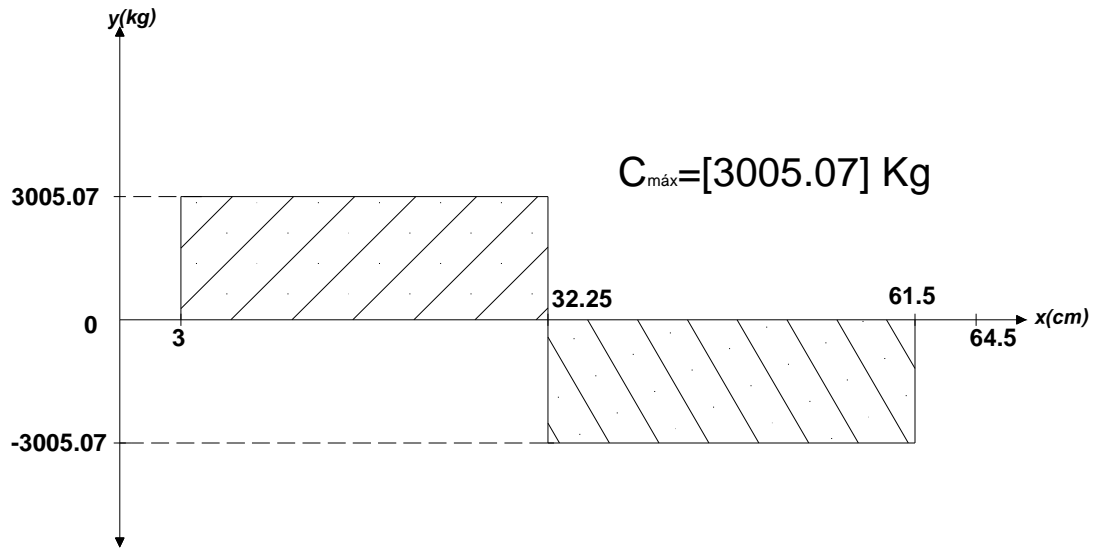


### Momento flector Máximo

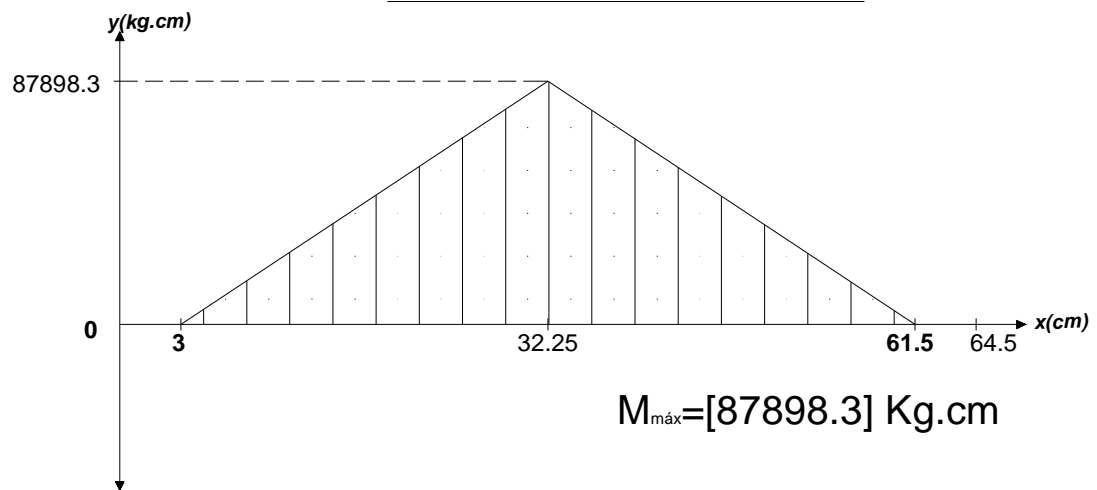


## Mesa de Prensado

### Cortante Máximo

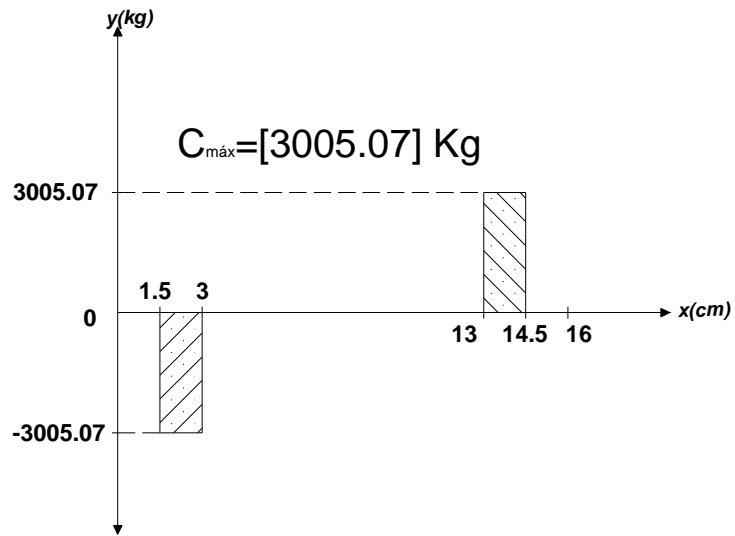


### Momento flector Máximo

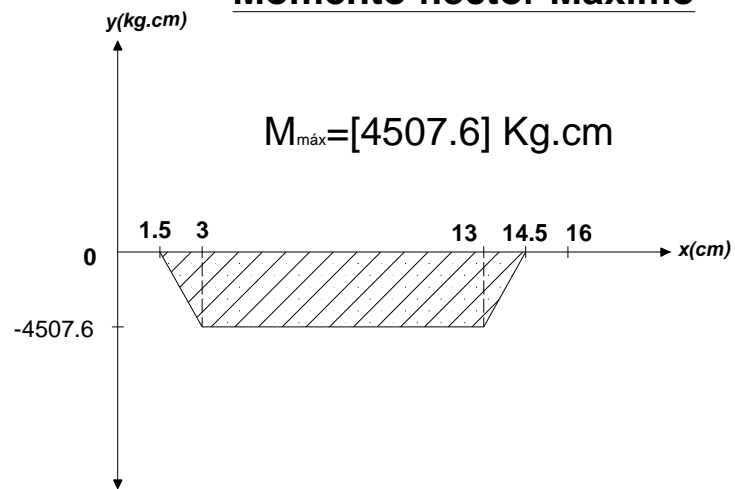


## *Pasador de apoyo*

### Cortante Máximo

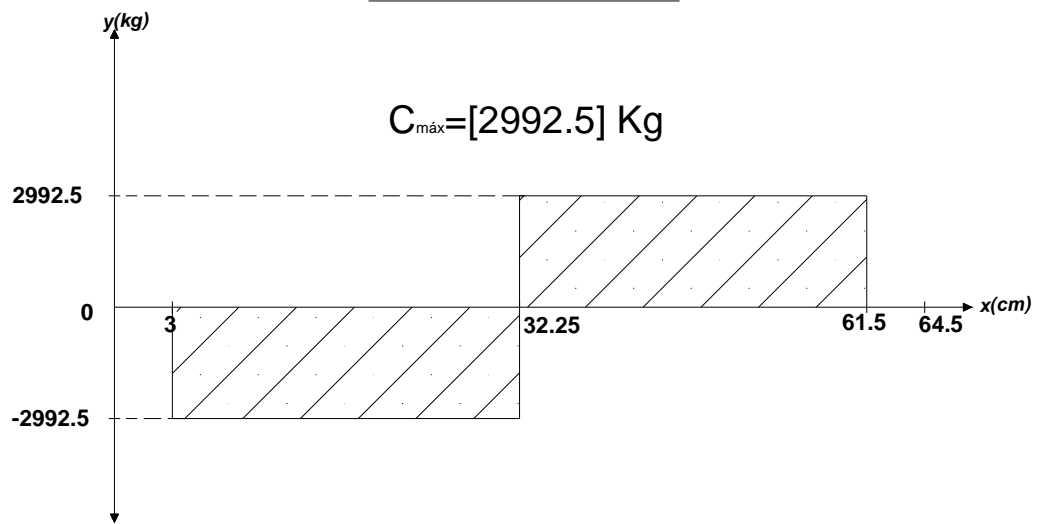


### Momento flector Máximo

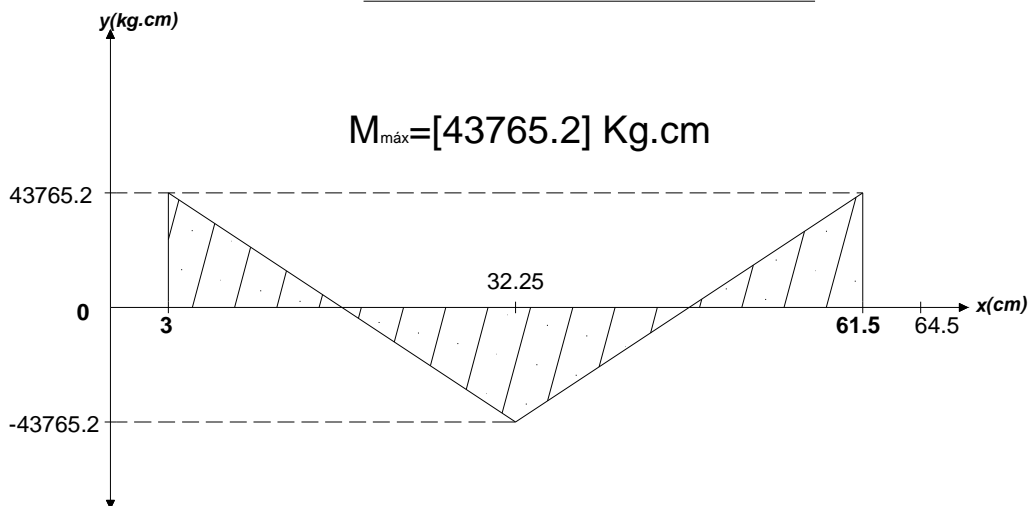


## ***Pasador de apoyo***

### **Cortante Máximo**



### **Momento flector Máximo**



**ANEXO 7**  
**HOJAS DE PROCESOS DE LOS COMPONENTES DE LA**  
**PRENSA HIDRÁULICA**



**ANEXO 8**  
**PLANOS DE CONSTRUCCIÓN**